СБОРНИК ДОКЛАДОВ

КОМПЬЮТЕРНЫЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ, ИНЖЕНЕРИИ И УПРАВЛЕНИИ

Материалы Всероссийской научно- технической конференции с международным участием имени профессора О.Н. Пьявченко «КомТех-2021»

Том 2

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ В.И. ЛЕНИНА
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИЭТ»
МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
КОМПАНИЯ «ГЭНДАЛЬФ»

Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении

«КомТех-2021»

Материалы Всероссийской научно-технической
конференции с международным участием

В двух томах

Том 2

Ростов-на-Дону – Таганрог
Издательство Южного федерального университета
2021

УДК 004:[001+62+005](063)
ББК 32.973-018.2+32.81я43
К63

Ответственный редактор С. И. Клевцов

К63 Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении «КомТех-2021»: материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием : в 2 т. / Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2021.
ISBN 978-5-9275-3881-2
Т. 2. – 354 с.
ISBN 978-5-9275-3883-6 (Т. 2)

В настоящее издание вошли доклады по материалам Всероссийской научно-технической конференции с международным участием имени профессора О. Н. Пьявченко «Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении», рекомендованные к опубликованию Оргкомитетом.

Во второй том материалов конференции вошли доклады участников конференции, посвященные авиационным системам, технологиям беспилотных летательных аппаратов, локальным и распределенным системам мониторинга и управления, современным микро- и наноэлектронным системам и технологиям, системам связи и навигации, моделированию физических процессов, контролю и управлению в технических системах, системам диагностики состояния биологических и технических объектов, вопросам промышленного дизайна и аддитивным технологиям, компьютерным технологиям в инженерной подготовке, методам, системам и средствам обработки физических сигналов, проблемам мехатроники и робототехники.

Доклады могут быть интересны научным работникам, преподавателям, инженерам и студентам, специализирующимся в применении компьютерной обработки информации в различных областях деятельности человека.

УДК 004:[001+62+005](063)
ББК 32.973-018.2+32.81я43

ISBN 978-5-9275-3883-6 (Т. 2)
ISBN 978-5-9275-3881-2

© Южный федеральный университет, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

Секция – **АВИАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ, ТЕХНОЛОГИИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Апнасиров Артём Геннадьевич, Гужвенко Елена Ивановна
ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ ВЫПОЛНЕНИЯ ПОВСЕДНЕВНЫХ И СЛУЖЕБНО-БОЕВЫХ ЗАДАЧ …… 10

Романов Руслан Олегович, Гужвенко Елена Ивановна
СПЕЦИАЛЬНОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕТОМ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ…….. 16

Секция – **ЛОКАЛЬНЫЕ И РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ**

Удод Евгений Васильевич
ФОРМИРОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ В ЦИФРОВЫХ ДАТЧИКАХ ДАВЛЕНИЯ……. 22

Ярцев Александр Сергеевич
МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОРОДСКОЙ ЭЛЕКТРОСЕТИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ……. 28

Капуста Наталия Александровна
ЛОКАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ АППАРАТАМИ ПАРОВОЙ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА КОТЛА……. 33

Лавриков Александр Николаевич, Заргарян Юрий Артурович
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ РАБОТЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И СБОРА ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ…… 38

Задорова Ксения Александровна, Лукин Дмитрий Сергеевич
ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПЛАНОВ……. 43

Гисцов Владислав Геннадьевич, Волощенко Юрий Петрович
РАСЧЁТ И ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛОГО ЗАГОРОДНОГО ДОМА…. 49

Анферова Маргарита Сергеевна, Белевцев Андрей Михайлович
ОБЩАЯ КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПОИСКА ИНФОРМАЦИИ В СЕТЯХ ОБЩЕГО И СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ……. 56

Секция – **СОВРЕМЕННЫЕ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ**

Науменко Данил Валерьевич
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИ-СТИК ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА…….. 62

Гелдаш Андрей Александрович
ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ БЫСТРОГО ТЕРМИЧЕСКОГО ОТЖИГА НА ПАРАМЕТРЫ ПЛЁНОК ZNO:GA, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ……... 68

Малохатко Софья Владимировна, Бакшевников Даниил Антонович
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРА КОН НА ПРОЦЕСС АНИЗОТРОПНОГО ЖИДКОСТНОГО ТРАВЛЕНИЯ КРЕМНИЯ…... 74

Сарыев Артур Владимирович, Гусев Евгений Юрьевич
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАПАЗОНОВ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТ-РОВ МАЛОИНВАЗИВНОГО КРЕМНИЕВОГО МИКРОЗОНДА…….. 78

Малыхин Анатолий Юрьевич, Мараховский Михаил Алексеевич, Парфёнов Александр Алексеевич
СПОСОБЫ ОПТИМИЗАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА ПКП-12... 84

Калмыков Рустам Мухамедович, Кармоков Ахмед Мацевич
К ВОПРОСУ ОБ ОБРАЗОВАНИИ НАНОРАЗМЕРНЫХ ФАЗ В СПЛАВАХ PbTe С ПРИМЕСЯМИ CdSe…….. 90

Богатов Николай Маркович, Володин Владимир Сергеевич, Григорьян Леонтий Рустемович, Коваленко Максим Сергеевич
ВРЕМЯ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ КРЕМНИЕВЫХ СТРУКТУР С N-P ПЕРЕХОДОМ, ОБЛУЧЕННЫХ ПРОТОНАМИ…….. 98

Жук Алексей Андреевич, Титов Алексей Евгеньевич, Чумаков Владислав Евгеньевич, Прокопенко Николай Николаевич
ВХОДНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ КАСКАД НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ НА КОМПЛЕМЕНТАРНЫХ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРАХ С УПРАВЛЯЮЩИМ P-N ПЕРЕХОДОМ…… 104

Секция – **СИСТЕМЫ СВЯЗИ И НАВИГАЦИИ**

Сытенький Василий Дмитриевич,
Аль-Мусави Висам Мохаммедтаки М. Джавади
ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ АМПЛИТУДНО-ГИПЕРБОЛИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ПАССИВНОЙ ЛОКАЦИИ……. 111
Темрин Денис Владимирович, Яцемирская Виктория Сергеевна
ЗАЩИЩЕННАЯ ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА СВЯЗИ С ГРУППОЙ ДРОНОВ…….. 118
Плаксиенко Владимир Сергеевич, Плаксиенко Нина Евгеньевна
ОСОБЕННОСТИ КОМБИНИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ ПРИ МНОГОЛУЧЕВОМ ПРИЕМЕ…… 124
Плаксиенко Владимир Сергеевич, Плаксиенко Нина Евгеньевна
АЛГОРИТМЫ КОМБИНИРОВАНИЯ ПРИ ПРИЕМЕ СИГНАЛОВ… 130
Федосов Валентин Петрович, Пацюк Тимур Тимофеевич
АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ MIMO-OFDM В УСЛОВИЯХ АКТИВНЫХ ПОМЕХ…… 136
Сафарьян Ольга Александровна, Пилипенко Ирина Александровна, Сахаров Иван Александрович
ВАРИАЦИОННО-СТАТИСТИЧЕСКОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ…… 142

Секция – **МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Деркачев Владимир Александрович
МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ.. 148
Асовский Валерий Павлович, Кузьменко Алла Сергеевна
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АВИАЦИОННОГО ОПРЫСКИВАНИЯ НА НЕТРАДИЦИОННЫХ РЕЖИМАХ ОБРАБОТОК…… 153
Коломийцев Антон Юрьевич
МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИБРИДНОГО АВТОМОБИЛЯ НА СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЯХ…… 159
Самарин Александр Сергеевич, Кисель Наталья Николаевна
ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ CSRR-РЕЗОНАТОРА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОПОЛОСКОВОЙ АНТЕННЫ НА ОСНОВЕ SIW-ТЕХНОЛОГИИ……. 165

Секция – **КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

Бондаренко Анатолий Борисович
КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ НА ПРОИЗВОДСТВЕ……..... 172
Геложе Юрий Андреевич, Максимов Александр Викторович
АВТОМАТИЧЕСКАЯ СЛЕДЯЩАЯ СИСТЕМА С ЦИФРОВЫМ РЕГУЛЯТОРОМ……. 178
Воронков Олег Юрьевич
СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ АСТАТИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ «ЛЕТАЮЩЕЙ ПЛАТФОРМЫ» 183
Клименко Юрий Алексеевич, Преображенский Андрей Петрович
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАБОТЫ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ PLC В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 0,4 кВ……. 188
Хлуденев Александр Владимирович
КОНТРОЛЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ И АСИММЕТРИЯ НАПРЯЖЕНИЙ ПОЛЮСОВ В СОПТ…….. 195
Чжан Екатерина Анатольевна
НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ДУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ СТОХАСТИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ ДЛЯ СЛУЧАЯ ИНТЕРВАЛЬНЫХ ЗАДАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ……. 201
Чистофор Роман Александрович
ТИПОВАЯ СТРУКТУРА АСУТП…… 206
Маныч Александр Сергеевич, Заргарян Елена Валерьевна
АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДОЗИРОВАНИЯ СЫРЬЯ……. 209
Касимов Дмитрий Валерьевич, Заргарян Юрий Артурович
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕГУЛЯТОРА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТНЫМ РЕЖИМОМ…… 213
Соловской Александр Сергеевич
РАЗРАБОТКА НЕЙРОМОДЕЛИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АНТРОПО-ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ…….. 218
Витушинский Дмитрий Сергеевич
РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЕМ ВОДЫ В ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ…… 223

Еремочкин Сергей Юрьевич, Дорохов Данил Валерьевич
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ ОДНОФАЗНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ТРЕХФАЗНЫМ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ…….. 228
Еремочкин Сергей Юрьевич, Дорохов Данил Валерьевич, Жуков Алексей Андреевич
РЕВЕРСИВНОЕ УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ ТРЕХФАЗНЫМ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ДВИГАТЕЛЕМ ПРИ ПИТАНИИ ОТ ОДНОФАЗНОЙ СЕТИ…… 234
Ногин Иван Андреевич, Волощенко Юрий Петрович
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАБОТЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЛОКА ЗАЩИТЫ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ…… 241
Секция – **СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**
Проскуряков Александр Викторович
РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРОЦЕССА ОБУЧЕНИЯ ВЕРИФИКАЦИИ СОСТОЯНИЯ МЕДИЦИНСКИХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПОДСИСТЕМОЙ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ…… 248
Проскуряков Александр Викторович
РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОЛОГИИ ВЕРИФИКАЦИИ СОСТОЯНИЯ ФРАГМЕНТОВ МЕДИЦИНСКИХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПО КОМПЬЮТЕРНО-ТОМОГРАФИЧЕСКИМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ ПОДСИСТЕМОЙ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ…….. 258
Панычев Андрей Иванович, Максимов Александр Викторович, Панычев Сергей Андреевич, Тройченков Илья Николаевич, Максимов Дмитрий Александрович
ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ БОРТОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ…… 268
Крамм Михаил Николаевич, Бодин Андрей Юрьевич
Бодин Олег Николаевич
ПОСТРОЕНИЕ МЕДИЦИНСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МУЛЬТИАГЕНТНОХ ТЕХНОЛОГИЙ И ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ…… 279

Секция – **ПРОМЫШЛЕННЫЙ ДИЗАЙН И АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Ятченко Яна Владимировна, Аббасов Ифтихар Балакишиевич
ФИРМЕННЫЙ СТИЛЬ СТУДЕНЧЕСКОГО КЛУБА «ОМЕГА»…….. 287

Орехов Вячеслав Валентинович, Барвенко Виктория Ивановна
РАЗРАБОТКА ДЕТСКОГО ОБУЧАЮЩЕГО МУЛЬТИМЕДИЙНОГО КОМПЛЕКСА…….. 292

Секция – **КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИНЖЕНЕРНОЙ ПОДГОТОВКЕ**

Лызь Наталья Александровна, Истратова Оксана Николаевна
СЦЕНАРИИ И СПОСОБЫ СОПРОВОЖДЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТУДЕНТОВ В ИНТЕРНЕТ-ПРОСТРАНСТВЕ……. 297

Секция – **МЕТОДЫ, СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА ОБРАБОТКИ ФИЗИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ**

Губарев Дмитрий Егорович, Андрианов Артур Валерьевич, Зикий Анатолий Николаевич, Зламан Павел Николаевич
МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ШЛЕЙФОВОГО ФИЛЬТРА НА СТУПЕНЧАТЫХ РЕЗОНАТОРАХ……... 304

Удовика Юлия Дмитриевна, Тарасова Ирина Александровна
НЕЧЕТКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ЗАКУПОК НА КОММЕРЧЕСКОМ ПРЕДПРИЯТИИ…… 313

Секция – **МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИКА**

Денисенко Никита Сергеевич, Береснев Алексей Леонидович
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ДАВЛЕНИЯ В ЦИЛИНДРЕ …….. 320

Бережная Анастасия Вячеславовна
ПЕРСПЕКТИВА РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ АДАПТИВНОГО ОСВЕЩЕНИЯ В АВТОМОБИЛЯХ…….. 325

Иванова Наталья Александровна, Пьянков Павел Алексеевич, Удовиченко Серафим Евгеньевич
СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ…….. 330

Дони Владлен Олегович
АВТОНОМНЫЕ МОНОБЛОЧНЫЕ ЭЛЕКТРОГИДРОСТАТИЧЕСКИЕ ПРИВОДЫ КАК ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МОДУЛИ ПОЛНОСТЬЮ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ…… 334
Калашникова Татьяна Григорьевна
ПРОЕКТНЫЙ ИНТЕНСИВ: КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ДИЗАЙН МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО САМОЛЕТА-АМФИБИИ……. 340
Лунева Елена Викторовна, Гривцов Владимир Владиславович
РАЗРАБОТКА АНИМАЦИОННОГО КЛИПА «13 MOONS»…… 347

Секция – **АВИАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ, ТЕХНОЛОГИИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

УДК 528.71

Апнасиров Артём Геннадьевич, Гужвенко Елена Ивановна

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ ВЫПОЛНЕНИЯ ПОВСЕДНЕВНЫХ И СЛУЖЕБНО-БОЕВЫХ ЗАДАЧ

Рассматриваются варианты применения подразделений БЛА в современных условиях ведения боевых действий и повседневной жизнедеятельности Вооруженных сил Российской Федерации. Предложены методические рекомендации для проведения занятий по тематике БЛА, раскрываются специфические особенности задач, связанных с применением БЛА подразделениями в современных условиях.

Беспилотный летательный аппарат, дрон, подавление.

Apnasirov Artyom Gennadievich, Guzhvenko Elena Ivanovna

APPLICATION OF UNMANNED AIRCRAFT UNDER MODERN CONDITIONS OF PERFORMANCE OF DAILY AND SERVICE-COMBAT TASKS

Variants of the use of UAV units in modern conditions of combat operations and daily life of the Armed Forces of the Russian Federation are considered. Methodological recommendations for conducting exercises on the topic of UAVs are proposed, and the specific features of the tasks associated with the use of UAVs by subdivisions in modern conditions are revealed.

Unmanned aerial vehicle, drone, suppression.

Опыт применения Российских беспилотных летательных аппаратов в Сирии

После присоединения к участию в военных действиях на территории Сирийской Арабской Республики (САР) российскими военными был использован широкий спектр средств вооружения и военной техники, в том числе беспилотных авиационных систем. Так, например, в феврале 2016 года в Сирии, по официальным данным Министерства обороны России, было задействовано около 70 российских беспилотников.

Среди беспилотных летательных аппаратов (БЛА) мини-класса здесь, в частности, были использованы БЛА «Элерон-3СВ» разработки компании «Эникс». Это портативная система с малоразмерными БЛА ближнего радиуса действия, активно закупаемая и эксплуатируемая МО РФ. Оснащенный электродвигателем БЛА может решать задачи разведки и наблюдения, выполняя полеты продолжительностью более 1,5 часа. О наличии этого БЛА на сирийском театре военных действий стало известно после появления в СМИ данных об обнаружении упавшего беспилотника в зоне, контролируемой боевиками антиправительственных сил.

Еще одна система с БЛА малого класса ближнего радиуса действия, используемая российскими военными в Сирии, – «Тахион», созданная компанией «Ижмаш – Беспилотные системы» (позже переименована в «Ижевские беспилотные системы»). Беспилотный летательный аппарат выполнен по аэродинамической схеме «летающее крыло». Его размах составляет около 2 м. Комплекс состоит из планера с системой автоматического управления автопилотом, органов управления и силовой установки, бортовой системы питания, системы посадки на парашюте и съемных блоков целевой нагрузки. БЛА может выполнять полеты длительностью до 2 часов, решая задачи наблюдения, целеуказания, корректировки огня, оценки ущерба на удалении до 40 км от наземной станции управления.

Нельзя не отметить, что в ходе сирийской кампании подразделениями российских ВС были задействованы не только серийно производимые, но и новые образцы, некоторые из которых, очевидно, еще находились на различных этапах испытаний. Так, здесь, вероятно, был апробирован в боевой обстановке перспективный тактический БЛА «Корсар», создаваемый входящим в состав концерна «Вега» КБ «Луч». Выполненный по двухбалочной схеме, БЛА взлетной массой около 200 кг является в некотором смысле аналогом американского БЛА Shadow для российских военных.

Действия на территории САР наглядно продемонстрировали, что Россия, имевшая 10–15 лет назад серьезное отставание в развитии тематики систем БЛА, за прошедшие годы сумела в значительной степени улучшить ситуацию как в части создания новых систем, так и в части оснащения системами БЛА частей и подразделений ВС. Нет сомнений, что опыт, полученный в Сирии, будет в дальнейшем использован как военными, так и промышленностью. Кроме того, применение беспилотников в Сирии позволило определить то направление, в котором необходимо двигаться далее в создании перспективных беспилотных систем для российских ВС,

расставить приоритеты для закупок, а также сформулировать задания на разработку новых систем.

Порядок применения подразделений БЛА при ведении боевых действий

Началом выполнения боевой задачи подразделения БпА считается взлет БпЛА на выполнение поставленной боевой задачи. Подразделение может выполнять одну или несколько боевых задач. Управление подразделениями в ходе выполнения боевой задачи командир подразделения осуществляет с ПУ.

Основными задачами подразделений при ведении воздушной разведки является поиск: средств ядерного и химического нападения; аэродромов; участков автострад, используемых для взлета и посадки самолетов и вертолетов; оборонительных рубежей; узлов обороны и опорных пунктов; железнодорожных, автомобильных, воздушных и речных (морских) перевозок; ПУ и радиоэлектронных средств; сил и средств ПВО; военно-промышленных объектов; кораблей (судов) в море и военно-морских баз; разведка местности; погоды и радиационной обстановки; контрольная воздушная разведка результатов ударов своих ракет и авиации. В общем случае выполнение боевой задачи подразделением (расчетом) БПЛА включает: пуск БПЛА; пролет ЛБС; полет по маршруту в заданном режиме управления до района разведки (выполнения специальной задачи); действия в районе; полет по обратному маршруту; выход на площадку посадки, предпосадочный маневр БПЛА и его посадка.

В процессе полета телеметрическая и разведывательная информация, передаваемая с борта БПЛА, принимается и регистрируется на НПУ (НСУ).

Оператор управления БПЛА (полезной нагрузки БПЛА), наблюдая текущее видеоизображение, осуществляет обработку (дешифрирование) разведывательной информации (осуществляет поиск объектов разведки). По результатам дешифрирования оператор управления БПЛА (полезной нагрузки БПЛА) подготавливает разведывательное донесение (делает устный доклад).

Применение подразделений БПЛА в интересах тактического воздушного десанта

Задачи тактических воздушных десантов в ходе боя зависят от задач, выполняемых общевойсковыми соединениями (подразделениями), от характера действий противника и видов применяемого оружия (ядерного или

обычного). Основными задачами тактических воздушных десантов могут быть:

– уничтожение средств ядерного нападения; пунктов управления и других объектов противника;

– захват и удержание аэродромов, важных рубежей, узлов дорог, переправ, мостов в тактической глубине обороны;

– воспрещение подхода резервов противника.

Задача расчета КБПЛА, главным образом, сводится к разведке огневых средств противника в полосе пролета и районе высадки десанта, а также выдаче данных для целеуказания группам ударных вертолетов, выделенным для их уничтожения (подавления).

При подготовке к десантированию, в ходе ведения боя, воздушная разведка расчетом КБПЛА в интересах вертолётного подразделения проводится в два этапа:

– предварительная воздушная разведка;

– доразведка (контрольная разведка) непосредственно перед десантированием и в ходе поддержки десанта ударными вертолетами.

Ведение предварительной воздушной разведки

Ведение предварительной воздушной разведки включает в себя:

– вскрытие средств ПВО и объектов противника в полосе пролёта и в районах (основном и запасном) высадки десанта;

– определение состояния площадок в районах десантирования; их реальных размеров, конфигураций; наличия препятствий и их высоты; наличия характерных ориентиров в непосредственной близости от площадок.

При воздушной разведке полосы пролета десанта оператор управления БПЛА выявляет войсковые средства ПВО противника. Анализ тактической зоны обороны показывает, что противодействие вертолетным подразделениям могут оказывать ЗРК средней и малой дальности типа «НАСАМС», «Эвенджер», ЗСУ типа «Гепард», ПЗРК типа «Стингер», а также стрелковое оружие войск. При разведке районов десантирования выявляется наличие мотопехотных подразделений противника в опорных пунктах и на марше вблизи площадок десантирования.

ОБУ или ПАН, получая информацию от оператора наблюдения (управления) БПЛА, или наблюдая за ходом ведения воздушной разведки на НСУ (НПУ), может корректировать действия операторов по управлению БПЛА, обращая особое внимание на наиболее важные участки раз-

ведки. После выполнения задания БПЛА выводится в район площадки посадки.

По результатам предварительной воздушной разведки командиром подразделения БПЛА составляется разведывательное донесение, один экземпляр которого (вместе с информацией, записанной на электронном носителе) представляется на ПУ разведкой соединения (части), другой – на ПУ вертолетного подразделения.

В штабе соединения (части) разведывательная информация, полученная расчетом КБПЛА в ходе предварительной воздушной разведки, может быть использована при планировании обеспечивающих действий по уничтожению средств ПВО и подразделений противника в полосе пролета и района высадки тактического воздушного десанта.

Такие действия могут вестись силами подразделений ракетных войск и артиллерии. Во взаимодействии с ними к выполнению этой задачи привлекаются ударные вертолеты.

С учетом материалов предварительной воздушной разведки и поставленной боевой задачи, командиры общевойскового и вертолетного подразделения принимают решение на боевые действия.

Порядок применения подразделений БЛА в учебном процессе

В ходе учебного процесса подразделения занимаются согласно программеы боевой подготовки подразделений БпЛА и курса летной подготовки расчетов БпЛА малой дальности и ближнего действия.

На занятиях отрабатываются практические навыки в наземной отработке действий расчетов БпЛА, нормативы согласно сборнику нормативов по боевой подготовке, а также практические полеты согласно курса летной подготовки.

Подразделения БпЛА участвуют согласно планам боевой подготовки штабов ВДВ и соединений в следующих мероприятиях:

- подготовка и участие к действиям в составе отдельных расчетов и сводных групп с учетом опыта, полученного в ходе выполнения специальных задач в САР. При этом основное внимание уделить повышению автономности действия расчетов и сводных групп и отработке группового полета БпЛА;

- подготовка и участие в составе соединений в крупномасштабных учениях на уровне Вооруженных Сил РФ;

- подготовка и участие к выполнению задач в составе миротворческих контингентов войск (сил);

- подготовка и участие в мероприятиях по плану подготовки коллективных сил оперативного реагирования ОДКБ;

- подготовка и участие в дивизионных (бригадных) тактических учениях;

-проведение комплексных тактико-строевых занятий с ротами БпЛА под руководством начальников служб соединений.

Таким образом, на основании теоретического исследования по анализу материала из указанных источников было определено, что внедрение новых методов обучения личного состава, порядку работы с беспилотниками сегодня занимает очень важное место в современных реалиях ведения боевых действий. Данная тематика весьма обширна и должна занимать определённое место в обучении действительно квалифицированных специалистов в данном профиле.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Дмитриенко А. Г.* Воздушная разведка в интересах артиллерии [Текст]: учеб. Пособие / А.Г. Дмитриенко. – Пенза.: ПАИИ, 2010
2. *Карпович А.В* Выполнение разведывательно-огневых задач с БпЛА [Текст] : учеб. пособие / Ю.М. Чернышев, А.В. Карпович. – СПб.: МВАА, 2015.
3. *Карпович А.В.* Обслуживание стрельбы артиллерии с помощью комплекса воздушной разведки [Текст]: учеб. пособие / Ю.М. Чернышев, А.В. Карпович. – СПб.: МВАА. 2017.
4. Правила стрельбы и управления огнем артиллерии. Дивизион, батарея, взвод, орудие. Часть 1. – М.: Воениздат, 2011.
5. *Харисов В.Н.* Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС. – М.:1998.
6. *Фетисов В.С.* Беспилотная авиация: терминология, классификация, современное развитие [Текст] / В.С. Фетисов [и др.]. – Уфа.: НПО «Фотон», 2014.

Апнасиров Артём Геннадьевич, Рязанское гвардейское высшее воздушно-десантное командное училище имени генерала армии В. Ф. Маргелова,курсант 1 взвода 11 роты курсантов ВО СпН; 390031 г. Рязань, пл. генерала армии В. Ф. Маргелова, д. 1; тел. +7(915)614-02-96; e-mail:Aapnasirov@bk.ru.

Apnasirov Artyom Gennadievich, The Ryazan the Guards Higher Airborne Command School, the Associate Professor at the cadet 1 platoon 11 company VO

SpN; 1 Army General V.F. Margelov sq1., Ryazan City, the Russian Federation, 390031; Phone: 8(910)610-69-11.; e-mail: Aapnasirov@bk.ru.

УДК 629.7.02

Романов Руслан Олегович, Гужвенко Елена Ивановна

СПЕЦИАЛЬНОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕТОМ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ

Анализ современных локальных войн и конфликтов в различных регионах мира показал, что современные комплексы специального программного обеспечения требуют постоянного развития и совершенствования и современной гонке вооружением.

Беспилотный летательный аппарат; специальное программное обеспечение; разведка, военная промышленность.

Romanov Ruslan Olegovich, Apnasirov Artyom Gennadievich,
Guzhvenko Elena Ivanovna

SPECIAL UNMANNED AIRCRAFT FLIGHT CONTROL SOFTWARE

The analysis of modern local wars and conflicts in various regions of the world has shown that modern complexes of special software require constant development and improvement in the modern arms race.

Unmanned aerial vehicle; special software; intelligence, military industry.

Специалисты военно-промышленного комплекса и промышленности Российской Федерации пришли к утверждению: важнейшей составляющей управления беспилотными летательными аппаратами (БЛА) для задания маршрута, мониторинга текущей позиции и состоянии бортовых систем БЛА, а также управления питанием полезной нагрузки. Такое понимание основано прежде всего на ведущей роли БЛА в вооружении и его специфических разведывательных свойствах. К основным из них относятся: высокая возможность ведения разведки; мобильность; малая заметность летательных аппаратов; возможность нести вооружение; мощная поражающая способность боевых частей; унифицированность ракет и других составных частей авиационного комплекса по носителям; малое подлетное время.

Тенденция развития специального программного обеспечения такова: внедрение перспективных технологий программного обеспечения, ра-

диоэлектроники в комплексы, принятые на вооружение ВС РФ, повышение боевых характеристик, расширение их оперативно-тактических возможностей, адаптация к военно-политическим условиям.

Специальное программное обеспечение функционирует в среде операционной системы семейства Windows. В качестве основного инструментального средства разработки программного обеспечения (ПО) использован язык VisualBasic. Одной из специальных программ для обеспечения работы БЛА используется программа «2DNPU-V» предназначена для выполнения следующих функций:

- создания маршрута полета БЛА с учетом рельефа местности (создания точек взлета/посадки точек выполнения аэрофотосъемки, точек с проходом по высоте);
- выполнения предстартовой подготовки и перевода БЛА в режим взлета;
- оперативного изменения маршрута полета БЛА, оперативного задания высоты и скорости полета БЛА;
- отслеживания текущего положения БЛА, контроля параметров полета;
-управления аэрофотосъемкой, видеосъемкой и питанием полезных нагрузок;
- активация аварийных режимов при возникновении нештатных ситуаций.

После запуска программы автоматически выполняется загрузка параметров программы, загрузка карты и производится попытка установления связи с бортом. Попытки установить связь продолжаются до тех пор, когда связь будет установлена. Далее выполняется проверка бортового оборудования и, в случае обнаружения неисправностей, осуществляются попытки их автоматического исправления. После этого выполняется процесс подготовки к взлету БЛА. В случае неудачного взлета весь процесс повторяется, начиная с проверки бортового оборудования. После удачного взлета и набора высоты, выполняется циклический контроль работоспособности БЛА. В случае обнаружения критической неисправности выполняется посадка в автоматическом режиме.

После успешного выполнения задания выполняется автоматическая посадка и программа готова к следующему запуску БЛА – алгоритм повторяется с проверки бортового оборудования. Если следующий запуск

БЛА не требуется, то выполняется сохранение полетных данных и настроек программы, программа закрывается.

Разработка СПО осуществляется на основе метода объективно ориентированного программирования, характеризующегося тремя основными свойствами:

- инкапсулирование – комбинирование записей с процедурами и функциями, манипулирующими полями этих записей, что обеспечивает формирование нового типа данных – объекта;

- наследование – определение объекта и его дальнейшее использование для построения иерархии порожденных объектов, с возможностью доступа каждого порожденного объекта, относящегося к иерархии, к коду и данным каждого порождающих объектов. Ориентированное на объекте программирование в большой степени является процессом построения генеалогического дерева для структурных данных, предоставляется механизм, с помощью которого типы данных могут наследовать характеристики более простых, более общих типов.

Данные программе «2DNPU-M» передаются и принимаются специальным программным обеспечением, которое осуществляет коммуникацию с наземным модемом для последующей отправки/приема данных на/с БЛА.

Для устойчивой работы БЛА в состав специального программного обеспечения входит командно-телеметрическая командно-телеметрическая радиолиния (КТР), предназначенная для низкоскоростной системы передачи данных. Для организации устойчивой радиосети передачи данных необходим один мастер-модуль и некоторое количество слэйв-модулей. Количество слэйв-модулей ограничивается пропускной способностью КТР и в зависимости от задачи может быть различным.

Автоматизация модулей в сети происходит следующим образом. Главный модуль производит построение списка модулей-слэйвов. Эта функция производится мастер-станцией автоматически и реализуется за счет автоматического определения модулей в сети. Данная процедура, собственно, является процедурой синхронизации, в результате которой между главным модулем и слэйвом производится обмен и подтверждение параметров радиосети с положительным результатом.

Данная система специального программного обеспечения позволяет оператору избежать главной уязвимости БЛА при ведении боевых действий – обнаружение и идентификация. Как и всякий материальный объ-

ект, БЛА несет в себе демаскирующие признаки. Степень заметности определяется величиной его сигнатур в радиочастотном, инфракрасном и видимом спектрах, а также сигнатуры акустической. Коммерческие БЛА имеют сигнатуры небольшой величины: их делают из композитных материалов и пластика со специальной окраской и с особой комбинацией слоев, их небольшие бензиновые и тем более электрические двигатели мало излучают тепла и работают почти бесшумно.

Тактика применения БЛА разнообразна и включает в себя не только полет на предельно малых высотах, в складках местности, применение активных и пассивных помех, снижение радиозаметности, уровня инфракрасного излучения и акустического шума, но и высочайшую маневренность вплоть до остановки БЛА в складах местности.

На современном этапе развития БЛА ученым военно-промышленного сектора приходится бороться с перспективным оружием против летательных аппаратов – «микроволновый излучатель». Это оружие способно «сжигать» электронику летательного аппарата. Современные БЛА характеризуются широким использованием в конструкции планера композиционных материалов, применением в конструкции планера композиционных материалов, применение которых приводит к существенному снижению радиолокационной заметности. Вместе с тем, данное техническое решение делает возможным прохождение электромагнитного излучения через корпус БЛА и воздействие на его электронное оборудование. Многочисленные проводники, входящие в состав аппаратуры БЛА можно рассматривать как паразитные антенны, принимающие или излучающие электромагнитные поля.

При обнаружении БЛА в его сторону осуществляется ориентация излучающей антенны и осуществляется генерация электромагнитного излучения, в результате чего на его паразитных антеннах появляются наведенные токи, которые вызовут отказы в работе электронного оборудования бортовой системы управления БЛА, следствием чего станет падение аппарата.

Кроме этого, в западных странах на разных стадиях испытаний находятся испытания средств радиоэлектронной борьбы. Основные способы взлома БЛА:

- взлом шифровального канала или подмена данных авторизации и получение за счет этого доступ к управлению;

- использование уязвимостей программного обеспечения, в том числе переполнение буфера;

- использование интерфейсов и каналов данных оригинального программного обеспечения для «протаскивания» стороннего кода.

Для существенного повышения автономности (снижения зависимости от внешних систем разведки и целеуказания) и, как следствие, помехозащищенности комплексы БЛА планируется дополнительно оснастить различными системами специального программного обеспечения на всем маршруте траектории полета. Считается, что это наряду с малым временем устаревания данных разведки позволит существенно повысить вероятность обнаружения в первую очередь маневренных наземных целей, улучшить точностные характеристики и обеспечить высокую избирательность при обнаружении выбранной цели или в заданной области сложноструктурированной цели.

Во всех ведущих странах НАТО проводятся интенсивные работы с целью создания новых образцов следующего поколения специального программного обеспечения с системами высокой защищенности, обеспечивающими высококачественную селекцию целей разведки, увеличенную скорость обработки данных и повышенную помехозащищенность.

Рассматриваются две концепции построения активной системы специального программного обеспечения в БЛА нового поколения: одна базируется на использовании повышения помехозащищенности и зашифрованности самой системы, другая основана на применении современных композитных материалов в конструкции БЛА.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Фетисов В.С.* Беспилотная авиация: терминология, классификация, современное развитие [Текст] / В.С. Фетисов – Уфа: НПО «Фотон», 2014. – 217 с.
2. *Моисеев В.С.* Методы формирования типовых траекторий полетов БЛА артиллерийской разведки [Текст]/ А.В. Карпович // Актуальные проблемы защиты и безопасности. Труды XVII ВНПК. – Том № 6 . СПб.: НПО «СПЕЦМАТЕРИАЛЫ», 2014. – С. 217-222.
3. *Харисов В.Н.* Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС. – М.: 199*8. – 400 с.*
4. Дмитренко А.Г. Воздушная разведка в интересах артиллерии [Текст]: учебное пособие / А.Г. Дмитриенко. Пенза.: ПАИИ, 2010. – 166 с.

Романов Руслан Олегович, Рязанское гвардейское высшее воздушно-десантное командное училище имени генерала армии В. Ф. Маргелова, курсант; 390031 г. Рязань, пл. генерала армии В. Ф. Маргелова, д. 1; тел. 8(910)610-69-1 e-mail: Ruslan-roma2013@ya.ru.

Гужвенко Елена Ивановна, доктор педагогических наук, доцент, доцент, Рязанское гвардейское высшее воздушно-десантное командное училище имени генерала армии В. Ф. Маргелова, Россия, 390031 г. Рязань, пл. генерала армии В. Ф. Маргелова, д. 1. Телефон: 8-920-975-00-60, e-mail: Elena_guj@list.ru

Romanov Ruslan, The Ryazan the GuardsHigherAirborne Command School, cadet; 1 Army General V.F. Margelov sq1., Ryazan City, the Russian Federation, 390031; Phone: 8(910)610-69-11, e-mail: Ruslan-roma2013@ya.ru.

Guzhvenko Elena Ivanovna, Doctor of Pedagogy, Associate Professor, Associate Professor, Ryazan Guards Higher Airborne Command School named after General of the Army V.F.Margelov, Russia, 390031 Ryazan, pl. General of the Army V.F.Margelov, d. 1; Phone: 8-920-975-00-60, e-mail: Elena_guj@list.ru.

Секция – **ЛОКАЛЬНЫЕ И РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ**

УДК 681.33

Удод Евгений Васильевич

ФОРМИРОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ В ЦИФРОВЫХ ДАТЧИКАХ ДАВЛЕНИЯ

В данной работе рассмотрены составляющие суммарной погрешности цифровых датчиков давления. Проанализирована схема формирования погрешностей при обработке данных в таких датчиках. Показано на примере дополнительной погрешности из-за влияния температуры на тензорезистивный чувствительный элемент, что при верном системном подходе к проектированию цифровых датчиков давления суммарная погрешность измерения давления будет значительно меньше суммарной погрешности аналогового датчика.

Цифровой датчик, погрешность, суммирование погрешностей, система сбора данных, обработка информации.

Udod Evgeniy Vasilyevich

FORMATION OF ERRORS IN DIGITAL PRESSURE SENSORS

In this paper, the components of the total error digital pressure sensors are considered. The scheme of formation errors in data processing in such sensors is analyzed. It is shown using the example of an additional error due to the effect of temperature on the strain-resistive sensitive element, that with the correct system approach to the design of digital pressure sensors, the total pressure measurement error will be significantly less than the total error of the analog sensor.

Digital sensor, error, error summation, data collection system, information processing.

Введение

Точность – это основная характеристика любого датчика. Следует учитывать, что когда говорят о точности датчика, подразумевают его неточность или погрешность измерений. Под погрешностью измерений, как правило, понимают величину максимального расхождения между показаниями реального и идеального датчиков [1].

Производители цифровых датчиков давления делят погрешности на два типа: основную [2,4], которую ещё называют базовой погрешностью системы [5] и дополнительную [2] или по другой классификации погрешностью из-за влияния дополнительных факторов [3-5].

Хотя встречаются расхождения в терминологии, основная погрешность датчиков по определению фирм производителей состоит из [2-5]:

– нелинейности, под которой понимается максимальное отклонение реальной передаточной функции от аппроксимирующей прямой линии [1];

– воспроизводимости – способности датчика при соблюдении одинаковых условий выдавать идентичные результаты [1];

– вариации – случайной составляющей погрешности средства измерений от гистерезиса – разности между двумя математическими ожиданиями информативного параметра выходного сигнала средства измерений, получающимися при измерениях величины, имеющей одно и то же значение, с плавным медленным подходом к этому значению со стороны меньших и больших значений [6].

На рис. 1 представлена схема формирования погрешности цифрового датчика давления в виде многомодульной структуры, состоящей из чувствительного элемента (ЧЭ), прецизионного аналогового преобразователя (ПАП), аналого-цифрового преобразователя (АЦП), центрального микроконтроллера (ЦМК) и интерфейса выдачи сигнала (ИВС). Погрешность на выходе каждого модуля состоит из трансформации погрешности на входе данного модуля и собственной погрешности модуля. Трансформацию погрешности при прохождении модуля можно оценить с помощью коэффициента трансформации ($K_{МОДУЛЯ}$). В идеальном случае все коэффициенты не должны превышать единицу. Так же желательно чтобы собственная погрешность модуля ($\delta\varepsilon_{МОДУЛЯ}$) была значительно меньше погрешности чувствительного элемента ($\delta\varepsilon_{ЧЭ}$).

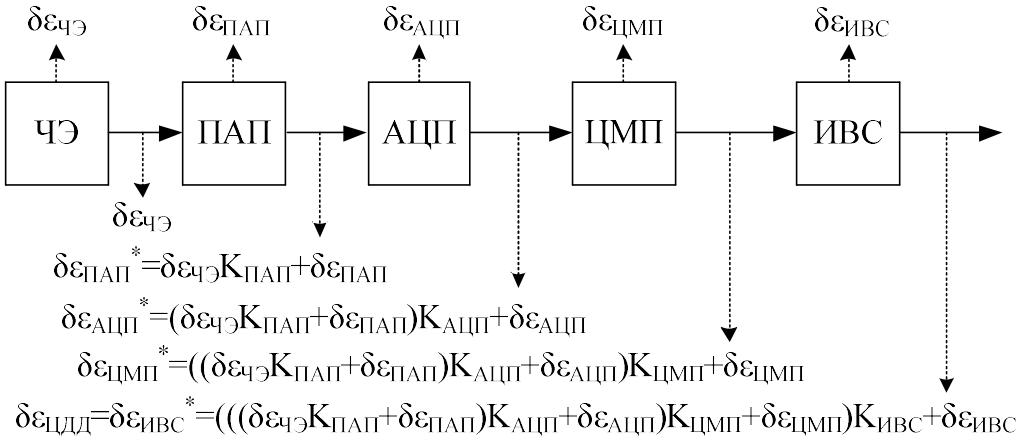


Рис. 1. Схема формирования погрешности на выходе цифрового датчика давления

Основная погрешность современных цифровых датчиков давления лежит, в диапазоне от 0,0625% до 1% от верхнего предела измеряемой величины.

В реальных условиях на цифровые датчики давления оказывают влияние внешние факторы, под воздействием которых возникает дополнительная погрешность, суммирующуюся с основной погрешностью. Наибольший вклад в дополнительную погрешность современного цифрового датчика давления вносит погрешность из-за изменения температуры. Типичное значение данной погрешности, при изменении температуры в пределах рабочего диапазона, лежит в диапазоне от 1% до 2%, что превышает основную погрешность [2-5]. Кроме того, влияние электромагнитных полей и других воздействий окружающей среды может привести к появлению дополнительной погрешности примерно равной основной погрешности цифрового датчика давления [2, 5].

Рассмотрим более подробно причины возникновения температурной погрешности, как наиболее значимой среди дополнительных погрешностей, и способы её компенсации.

В результате воздействия температуры на ЧЭ цифрового датчика давления возникает температурная погрешность, состоящая из аддитивной и мультипликативной составляющей.

Аддитивная составляющая (температурный дрейф начального сигнала), определяемая разностью температурных коэффициентов сопротивления тензорезисторов в смежных плечах моста, в тензопреобразователе на основе «кремния на сапфире» в основном связана с температурными напряжениями сапфировой подложки, возникающими

из-за разности коэффициентов температурного расширения сапфира и титана. Эта составляющая не зависит от выходного сигнала тензопреобразователя [9].

Мультипликативная составляющая (температурный дрейф чувствительности) связана с температурной зависимостью коэффициента тензочувствительности тензопреобразователя, упругих параметров титана и сапфира; ее относительная величина не зависит от выходного сигнала ЧЭ. Аддитивная составляющая температурной погрешности превосходит мультипликативную составляющую более чем в два раза [9].

Изменение температуры во всём рабочем диапазоне датчика давления без применения температурной компенсации может привести к изменению выходного напряжения на 36%. [7].

Согласно этому и рис. 1 на выходе блока ЧЭ присутствует погрешность $\delta\varepsilon_{ЧЭ}$ равная сумме основной погрешности ($\delta\varepsilon_{ОСН}$) и дополнительной температурной ($\delta\varepsilon_{ТЕМП}$) погрешности. Так как на этом участке, не производилось обработка сигнала, то ведущую роль в формировании погрешности на выходе ЧЭ играет погрешность из-за влияния температуры. Следовательно, при построении остальных блоков цифрового датчика давления необходимо реализовать компенсацию данной погрешности. Погрешность ЧЭ можно оценить как:

$$\delta\varepsilon_{ЧЭ}=\delta\varepsilon_{ОСН}+\delta\varepsilon_{ТЕМП}.$$

После ЧЭ идёт модуль ПАП. При построении данного модуля можно выделить три основных группы методов уменьшения температурной погрешности: конструктивную, схемную и конструктивно-схемную. Конструктивные методы основаны на создании равенства усредненных температур для ЧЭ первичных преобразователей. Схемные методы основаны на применении управляемого регулятора сигнала, на который поступает управляющий сигнал, полученный сравнением показателей двух терморезисторов находящихся в различных температурных условиях. Конструктивно-схемные методы основаны на применении возможностей конструктивных и схемных методов [8].

В результате применения данных методов компенсации можно добиться снижения аддитивной составляющей температурной погрешности в 20–25 раз, мультипликативной составляющей в 3–5 раза, а суммарной температурной погрешности цифрового датчика давления примерно в 10 раз. В результате чего коэффициент трансформации дополнительной температурной погрешности ($\delta\varepsilon_{ТЕМП}$) модуля ПАП ($K_{ПАП}$)

примерно равен 0,1. То есть при изменении температуры во всём рабочем диапазоне погрешность из-за влияния температуры будет лежать в диапазоне от 1% до 3,6% в зависимости от первоначальной термо чувствительности ЧЭ [7, 9]. При верном системном подходе к конструированию цифровых датчиков давления собственная погрешность ПАП будет значительно меньше основной погрешности ЧЭ ($\delta\varepsilon_{ОСН}$), а коэффициент трансформации модулем ПАП основной погрешности ($\delta\varepsilon_{ОСН}$) примерно равен 1. Погрешность на выходе ПАП можно представить в виде:

$$\delta\varepsilon_{ПАП}^{*}=\delta\varepsilon_{ЧЭ}K_{ПАП}+\delta\varepsilon_{ПАП}=\delta\varepsilon_{ОСН}+0,1\delta\varepsilon_{ТЕМП}.$$

При правильном выборе разрядности цифро-аналогового преобразования коэффициент трансформации погрешности блока АЦП ($K_{АЦП}$) будет примерно равен 1. Так как:

$$\delta\varepsilon_{ПАП}^{*}\ K_{АЦП} >> \delta\varepsilon_{АЦП},$$

то погрешность на выходе модуля АЦП можно оценить как:

$$\delta\varepsilon_{АЦП}^{*}=(((\delta\varepsilon_{ЧЭ}K_{ПАП}+\delta\varepsilon_{ПАП})K_{АЦП}+\delta\varepsilon_{АЦП}= \delta\varepsilon_{ОСН}+0,1\delta\varepsilon_{ТЕМП}.$$

Дополнительные возможности компенсации температурной погрешности даёт применение математических методов реализованных на микропроцессорной технике, встроенной в цифровой датчик давления.

Снижение чувствительности ЧЭ, а также дрейф начального сигнала из-за температурного влияния приводят к неверному определению давления при применении для расчёта давления передаточной функции, построенной для температуры не соответствующей текущим условиям. Компенсировать влияние данного фактора позволит выбор соответствующей текущей температуре, передаточной функции.

Широкое применение нашёл способ коррекции датчиков по температуре, при котором характеристика датчика давления аппроксимируется полиномом, коэффициенты которого являются полиномами от температуры. Коэффициенты полиномов определяются по результатам экспериментов. Применение данного метода позволяет компенсировать погрешность, из-за влияния температуры, так что бы её значение не превышало 0,5% [7].

При верном выборе разрядности микроконтроллера и апроксимирующего полинома коэффициент трансформации температурной погрешности блока ЦМП ($K_{ЦМП}$) будет меньше 0,2. Собственную погрешность модуля ЦМП, состоящая из методической и инструментально погрешности преобразования можно представить в виде:

$$\delta\varepsilon_{АЦП}^{*} K_{ЦМП} > \delta\varepsilon_{ЦМП}.$$

Поэтому погрешность на выходе модуля ЦМП можно оценить как:

$$\delta\varepsilon_{ЦМП}^{*}=((\delta\varepsilon_{ЧЭ}K_{ПАП}+\delta\varepsilon_{ПАП})K_{АЦП}+\delta\varepsilon_{АЦП})K_{ЦМП}+\delta\varepsilon_{ЦМП}=$$
$$= \delta\varepsilon_{ОСН}+0,02\delta\varepsilon_{ТЕМП}+ \delta\varepsilon_{ЦМП} \leq 0,5\%.$$

Модуль интерфейса выдачи сигнала не внесёт дополнительных погрешностей, в результате чего погрешность цифровой датчик давления составит:

$$\Delta\varepsilon_{ЦДД} = \delta\varepsilon_{ОСН}+0,02\delta\varepsilon_{ТЕМП}+ \delta\varepsilon_{ЦМП} \leq 0,5\%.$$

Следует помнить, что аналогичным образом трансформируются на выход цифрового датчика давления остальные дополнительные погрешности.

Из всего выше сказанного можно сделать следующие выводы:

– при верном системном подходе к проектированию цифрового датчика давления суммарная суммарная погрешность измерения давления будет значительно меньше суммарной погрешности аналогового датчика;

– ошибка при проектировании любого модуля цифрового датчика давления может свести к минимуму преимущества достигнутые применением микропроцессорной техники;

– необходимо применять и совершенствовать математические и алгоритмические методы компенсации влияния внешних факторов в виде температурного воздействия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Фрайден. Дж.* Современные датчики. Справочник – Москва: Техносфера, 2005. – 592 с.
2. *Аш Ж. и др*. Датчики измерительных систем: В 2-х книгах. Кн. 2. Пер с франц. М.: Мир, 1992.
3. Мокров Е.А. Создание датчиковой измерительной аппаратуры для ракетно-космической техники // Вестник Поволжского регионального отделения академии космонавтики. Самара, 1998. С. 65√70.
4. Датчики давления серии метран.// URL:http://www.medteh.info/_fr/14/metran_nastr.pdf (дата обращения: 05.05.2021).
5. Датчики давления Honeywell.// URL: http://electrik.info/obzor/1699-datchiki-davleniya-honeywell.html (дата обращения: 05.05.2021).
6. ГОСТ 8.009-84
7. *Слива Е.* Коррекция по температуре измерительных преобразователей физических величин на базе микроконтроллера MSP430F149 фирмы Texas

Instruments.// URL: http://chipinfo.ru/literature/chipnews/200105/3.html (дата обращения: 05.05.2021).
8. *Васильев В.А.* Методы уменьшения температурной погрешности датчиков давления.// Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2002. – №4–5. – С. 50–54.
9. *Мартынов Д.Б.* Стучебников В.М. Температурная коррекция тензопреобразователей давления на основе КНС.// Датчики и Системы. – 2002. – №10. С. 6–12.

Удод Евгений Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры встраиваемых и радиоприёмных систем Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, пер. Некрасовский, 44, 347922, телефон: +7(863) 218-40-00 доб.30119, email: udodev@mail.ru.

Udod Eugene Vasilevich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), associate professor of embedded and radio receiving systems Southern Federal University, 347922, Russia, Taganrog, Nekrasovsky lane, 44, phone+7(863) 218-40-00 add.30119, email: udodev@mail.ru.

УДК 62.21474

Ярцев Александр Сергеевич

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОРОДСКОЙ ЭЛЕКТРОСЕТИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

Доклад нацелен на изучение проблем связанных с электромобилями в городе и в окрестностях города. Что для их обслуживания понадобится, какая нужна электросеть, какие нужны будут ресурсы. Как будет развиваться электротранспорт и на что он повлияет. Как будет влиять на электромобиль времена года (зима, лето). Как повлияет обогрев зимой и охлаждение летом на дальность хода , ведь все питание от аккумуляторных батарей тратится на передвижение и другие потребители электромобиля. Все эти задачи и проблемы рассматриваются в этой статье и в дальнейших моих работах.

Электромобиль, аккумуляторная батарея, электросеть, дальность хода, время заряда, рекомендуемая скорость, электрозаправка.

Yartsev Alexander Sergeevich

MODELING AN URBAN POWER GRID FOR ELECTRIC VEHICLES

The article aims to study the problems associated with electric vehicles in the city and in the vicinity of the city. What will be needed to service them, what kind of power grid is needed, what resources will be needed. How electric transport will develop and what it will affect. How the seasons (winter, summer) will affect the electric car. How heating in winter and cooling in summer will affect the range, because all the power from the batteries is spent on movement and other consumers of the electric vehicle. All these tasks and problems are considered in this article and in my further works.

Electric vehicle, storage battery, power grid, cruising range, charging time, recommended speed, electric refueling.

Введение

Техника развивается таким образом, что в ближайшем будущем количество электромобилей в городах будет расти. Но на текущий момент времени инфраструктура для их обслуживания отсутствует. Прежде чем наращивать процент электромобилей в городах необходимо определить степень структурных изменений: что потребуется для реализации поставленных целей и к чему это может привести. Поэтому необходимо проанализировать проблему с разных сторон: нагрузку на электросеть, утилизацию изношенных аккумуляторных батарей, влияние увеличение мощности электростанций на окружающую среду. В докладе я коснусь вопроса нагрузки на городскую электросеть.

Основная часть

С появлением современных технологий стало возможным передвигаться на электромобилях, и с каждым годом их количество будет расти, особенно в городах. Чтобы создать среду для комфортного использования электромобиля, необходимо промоделировать количество и распределение электрозаправок как в городах, так и в их окрестностях. Далее возникает вопрос: на каком электромобиле передвигаться?

На данный момент существует множество электромобилей в мире. Каждый вид электромобиля обладает своими уникальными характеристиками. Характеристики электромобиля это: дальность хода, время заряда аккумуляторов, рекомендуемая скорость, мощность

электродвигателя, масса и конечно - цена и т.д. Для моделирования сети выберем электромобиль ELLada Kalina, производства АО «АвтоВаз».

Время заряда аккумуляторов ELLada Kalina от домашней сети - 8 ч, от специальной электрозаправки - 2 ч. Дальность хода зимой составляет 100 км, летом 180-200 км. Примем за точку отчета для моделирования сети следующие параметры: дальность хода 100 км и заряд - 2 ч на специальной станции электрозаправки. Мощность электрозаправки составляет 15 кВт.

Разумеется, нет смысла моделировать сеть для небольшого количества электромобилей. Предположим, что в городе передвигаются 50 электромобилей. Суммарная емкость аккумуляторов электромобилей рассчитывается по формуле (1);

$$W = 10 \times w_1, \quad (1)$$

$$W = 10 \times 23 = 1150 \text{ кВт/ч},$$

где W- общая суммарная емкость батарей; w_1 -емкость одной ELLadы 23 кВт/ч.

Если на заряд автомобиля на электростанции уходит 2 ч, то на 50 электромобилей понадобится в среднем 10 электрозаправок.

Значительно проблему заряда электромобилей может решить электрозаправка с несколькими кабелями, например, с пятью. Общая мощность такой электрозаправки в среднем 150 кВт.

Получается, максимальная мощность для города рассчитывается по формуле (2);

$$P_{\text{макс}} = 50 \times P_{\text{з}}, \quad (2)$$

$$P_{\text{макс}} = 50 \times 150 \text{ кВт} = 7500 \text{ кВт},$$

где $P_{\text{з}}$ – мощность заправки с пятью кабелями.

Хватит ли возможности Ростовской АЭС для поддержания мощности? Ростовская АЭС вырабатывает 4340 МВт/ч.. Согласно статистике за 2020 год, Ростовская АЭС выработала 32806359 кВт/ч. Коэффициент использования Ростовской АЭС составил 92,67%. Видно, что запас электроэнергии на АЭС остается 7,33 %. Для нас потребуется 7,5 МВт/ч. Согласно расчету, вычислим запас мощности от всей Ростовской АЭС по формуле (3):

$$P_{\text{зап.}} = (P_{\text{аэс}}/100) \times 7{,}33, \quad (3)$$

$$P_{\text{зап.}} = \left(\frac{4340}{100}\right) \times 7{,}33 = 318{,}122 \text{ МВт/ч}$$

где $P_{аэс}$ – общая мощность Роствской АЭС.

Далее от всего запаса мощности Ростовской АЭС вычислим необходимый процент по формуле (4),

$$P_{необ.} = (P_{макс}/100)/P_{зап.}, \quad (4)$$

$$P_{необ.} = \frac{\frac{7,5}{100}}{318,122} = 2,35\ \%$$

Из чего следует, что мощности Ростовской АЭС будет достаточно.

Так как на данный момент времени электрозаправки имеют 15 кВт/ч мощности, то для обслуживания 5 электромобилей, нужно будет подводить более мощную питающею сеть. А это высоковольтный трехфазный кабель на 10 кВ. Согласно простому расчету, - нам нужно мощность разделить на напряжение и на количество фаз, тогда получим ток. Согласно формуле 5:

$$I = (P_{макс}/U)/3 \quad (5)$$

$$I = (7500кВт/10кВ)/3 = 250\ А$$

Далее следует выбрать ближайшее сечение кабеля с запасом из ПУЭ,7изд. таблица 1.3.16 и выбрать кабель 150 мм кв. на ток 275 А.

На каждую электрозаправку понадобится по трансформаторной подстанции, для этого рассчитаем габаритную мощность по формуле (6),

$$S = S_{макс}/N \times K_з\ , \quad (6)$$

$$S = \frac{200}{1} \times 0,95 = 210,5\ кВт,$$

где Sмакс –максимальная требуемая мощность; N – количество подстанций; Кз- коэффициент загрузки подстанции.

Из чего следует, что габаритной мощности подстанции хватит для питания электрозаправки.

Выводы

Из вышеперечисленных расчетов следует, что Ростовской АЭС хватит для обеспечения зарядом электромобилей данного количества (50) и других потребителей.

В этом докладе не были рассмотрены вопросы при 5%, 10% и 50% количестве электромобилей от общей массы автомобилей и как это повлияет на дополнительную выработку электроэнергии, сколько потребуется силовых подстанций и высоковольтных кабелей, вероятность среднего заезда электромобилей на электрозаправку в сутки. А также рассмотрение среднего пробега электромобилей в сутки. По этим вопросам мною ведутся дальнейшие разработки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. LADA Ellada https://ru.wikipedia.org/wiki/LADA_Ellada (Дата обращения 30.05.2021).
2. Ростовская АЭС - лидер по выработке атомной электроэнергии в России в 2020 году https://neftegaz.ru/news/nuclear/658681-rostovskaya-aes-lider-po-vyrabotke-atomnoy-elektroenergii-v-rossii-v-2020-godu/ (Дата обращения 30.05.2021).
3. Как рассчитать мощность трансформаторной подстанции https://otransformatore.ru/silovoj/moshhnost-transformatornoj-podstantsii/ (Дата обращения 30.05.2021).
4. Пример выбора сечения кабеля на напряжение 10 кВ
5. https://raschet.info/primer-vybora-sechenija-kabelja-na-naprjazhenie-10-kv/ (Дата обращения 01.06.2021).
6. Обзор марок и моделей электромобилей, производимых в мире https://1electrocar.ru/proizvoditeli/marki-i-modeli-elektromobilej.html (Дата обращения 20.05.2021).
7. Полный Список Электромобилей в Мире: Все Полностью Электрические Модели 2020-2021 https://auctionauto.com.ua/polnii-spisok-elektromobilei-v-mire-vse-polnost-yu-elektricheskie-modeli-2020-2021 (Дата обращения 20.05.2021).
8. Электромобиль: история, развитие будущее https://ev-avto.ru/electricheskie/elektromobil-istoriya-razvitie-budushchee (Дата обращения 20.05.2021).
9. Энергетика Ростовской области https://ru.wikipedia.org/wiki/Энергетика_Ростовской_области (Дата обращения 30.05.2021).
10. Выработка электроэнергии в Ростовской области вдвое превышает потребление https://www.kommersant.ru/doc/3835649#:~:text=За%20десять%20месяцев%202018%20года,донбасской%2C%20калмыкской%2C%20кубанской%20и%20ставропольской (Дата обращения 20.05.2021).
11. Растущее число электромобилей таит в себе серьезную проблему утилизации по окончании срока их эксплуатации https://ruslom.com/rastuschee-chislo-elektromobiley-tait-v-sebe-sereznuyu-problemu-utilizatsii-po-okonchanii-sroka-ih-ekspluatatsii/ (Дата обращения 20.05.2021).

Ярцев Александр Сергеевич, инженер Научно-технический центр «Техноцентр» Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Петровская 81, 347900, телефон: +7(8634)31-11-43, email: aleksandr-yarcev@mail.ru, ayarcev@sfedu.ru.

Yartsev Alexander Sergeevich, engineer Scientific and technical center "Technocenter" of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, Petrovskaya street 81, 347900, phone: +7 (8634) 31-11-43, email: aleksandr-yarcev@mail.ru, ayarcev@sfedu.ru.

Капуста Наталия Александровна

ЛОКАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ АППАРАТАМИ ПАРОВОЙ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА КОТЛА

В данном докладе рассматривается проблема загрязнения поверхностей нагрева пылеугольных котлов и способы ее решения.

Котел, шлакование, аппараты очистки, автоматическая система управления.

Cabbage Natalia Alexandrovna

LOCAL CONTROL SYSTEM OF STEAM CLEANING DEVICES OF THE BOILER HEATING SURFACES

This article deals with the problem of contamination of the heating surfaces of pulverized coal boilers and ways to solve it.

Boiler, slagging, cleaning devices, automatic control system.

Введение

Основная часть электроэнергии в России производится на тепловых электростанциях (ТЭС, ТЭЦ, ГРЭС). На их долю приходится около 70% общего объема электроэнергии. Доля ГЭС составляет около 12%, а доля АЭС – 18%. Доля пылеугольных котлов в установленной мощности электростанций в России составляет около 41% (56,6 ГВт).

На сегодняшний день есть необходимость модернизации устаревших электростанций, т.к. две трети оборудования имеет практически выработанный ресурс.

Шлакование и загрязнение поверхностей нагрева является одной из основных проблем при проектировании и освоении пылеугольных котлов. Очистка поверхностей нагрева паровых котлов от золовых отложений является сложной, научно-технической задачей, зависящей от большого количества параметров: вид сжигаемого топлива; конструкции, параметров котла, аппаратов очистки. Решение проблемы очистки поверхностей нагрева паровых котлов от золовых отложений улучшает технико-экономические показатели котла и, соответственно, надежность работы энергоблока в целом.

Для повышения эффективности очистки необходимо предусмотреть:

- выбор правильного способа очистки;
- расположение аппаратов в котле;
- выбор типа аппарата;
- степень автоматизации.

В настоящее время используются следующие способы очистки:

- паровая и водяная обдувка на котлах средней и большой мощности;
- вибрационная и акустическая очистки на котлах малой мощности;
- дробеочистка на котлах при сжигании топлив с рыхлой золой.

Для каждого способа очистки требуется индивидуальная система управления. Рассмотрим создание локальной системы управления на примере глубоко выдвижных аппаратов паровой обдувки.

Основная часть

Сущность локальной системы автоматического управления глубоко выдвижными аппаратами паровой обдувки конвективных поверхностей нагрева котла в том, что с датчиков температуры поступает сигнал о понижении температуры металла пароперегревателя и, соответственно, температуры перегретого пара, повышении температуры уходящих газов и изменении значения разности давлений до и после пароперегревателя. При понижении/превышении данных показателей автоматически приводится в действие работа аппаратов.

Создаваемая локальная система аппаратами паровой обдувки (ЛСАУ АПО), предназначенная для решения задач автоматизированного контроля, выполняет следующие функции:

- прием и обработку входных сигналов;
- формирование выходных сигналов управления;

- отображение текущего состояния технологического процесса управления аппаратами паровой очистки (состояние алгоритмов автоматического управления) и регистрация данных;

- дистанционное управление исполнительными механизмами ЛСАУ АПО, логическое и функционально-групповое управление (пошаговые автоматические операции).

- ЛСАУ АПО предоставляет техническую возможность обмена информацией с верхним уровнем АСУ ТП предприятия.

Основными целями создания ЛСАУ АПО являются:

- обеспечение надежного и эффективного управления аппаратами паровой очистки;

- обеспечение защиты оборудования от возникновения аварийных ситуаций и ошибочных действий персонала;

- повышение надежности работы автоматизируемого оборудования;

- предоставление оперативному персоналу достаточной и достоверной информации о ходе технологических процессов в реальном времени;

- диагностика работы датчиков и технологического оборудования;

Наряду с решением производственно-эксплуатационных задач управления, система реализует технико-экономические и организационные мероприятия, в частности:

- увеличение срока эксплуатации оборудования;

- сокращение внеплановых ремонтных работ

Структурная схема комплекса технических средств представлена на рис. 1. На данной схеме представлены исполнительные механизмы, которые используются при реализации локальной системы управления аппаратами паровой очистки поверхностей нагрева котла.

В шкафу автоматического управления используется программируемый логический контроллер (ПЛК) SIMATIC S7 CPU 1511-1PN, модули ввода/вывода сигналов серии S7-1500 и коммуникационный модуль CM 1542-5 производства фирмы Siemens. В качестве панели оператора используется сенсорная панель TP700 Basic фирмы Siemens с диагональю экрана 7 дюймов.

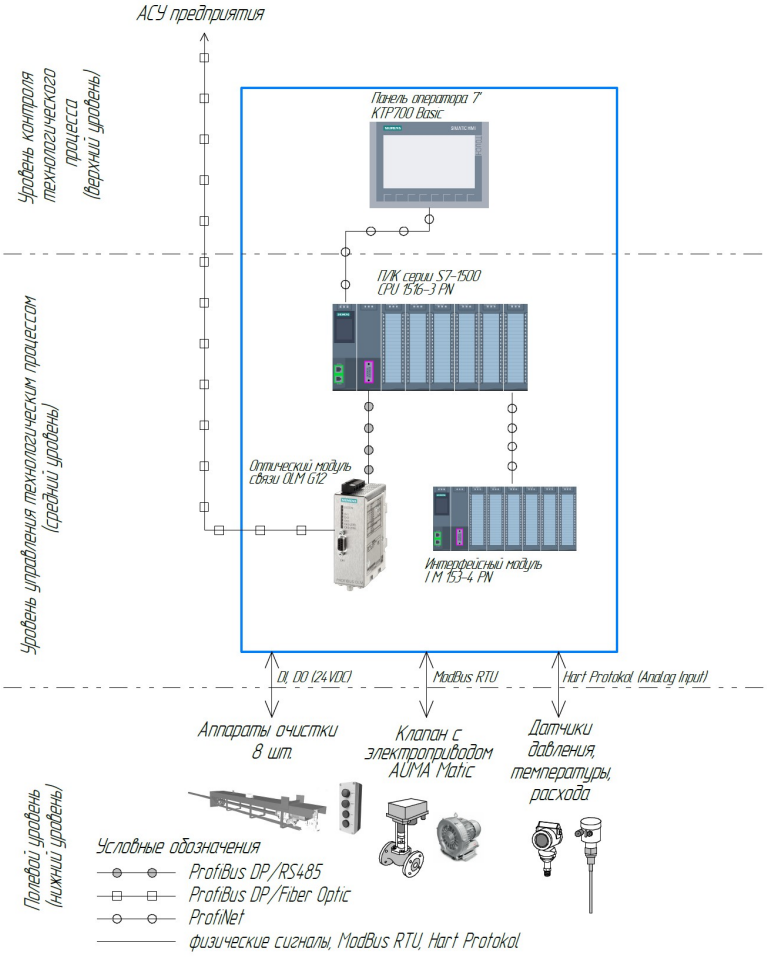


Рис. 1. Структурная схема комплекса технических средств

ЛСАУ АПО построена по иерархическому принципу, включающему следующие уровни:

- нижний (полевой) уровень - датчики КИПиА и технологическое оборудование (регулирующие клапаны, запорные клапаны и т.п.);
- средний уровень - программируемый логический контроллер (ПЛК), оптический модуль связи;
- верхний уровень - панель оператора.

Функционально ЛСАУ АПО включает в себя:

- подсистему приёма и обработки информации;
- подсистему дистанционного управления;
- подсистему логического и функционально-группового управления;
- подсистему автоматического регулирования;
- подсистему технологической сигнализации;
- подсистему отображения информации;

В состав основных потребительских характеристик ЛСАУ АПО входят:

- надежность и безопасность;
- производительность;
- информативность;
- расширяемость.

Надежность ЛСАУ АПО обеспечивается за счет:

- комплектования ЛСАУ АПО надежными и долговечными компонентами, исполнение которых соответствует характеристикам внешней среды в зонах их размещения;
- применения комплекса программно-технических средств, обеспечивающего выполнение необходимого объема функций диагностики системы и извещения при возникновении внештатных ситуаций.

Система является восстанавливаемой, обслуживаемой и многофункциональной, рассчитанной на длительное непрерывное функционирование. Режим работы системы - непрерывный. Для защиты от несанкционированного вмешательства вход технологического процесса на панели оператора применяется система символьных паролей, обеспечивающая разграничение прав доступа:

Комплекс технических средств ЛСАУ АПО обеспечивает функционирование в следующих режимах:

- штатный режим;
- автономный режим с ограничением функций;
- сервисный (наладочный) режим.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гаврилов А.Ф., Малкин Б.М.* Загрязнение и очистка поверхностей нагрева котельных установок. М.: Энергоатомиздат, 2000.
2. Министерство энергетики Российской Федерации. Текущее состояние отрасли теплоснабжения. [Электронный ресурс] – Электрон. текстовые дан. – Москва: [б.и.], 2016. – Режим доступа: Minenergo_Tekushchee_sostoyanie_otrasli_ teplosnabzheniya_Kravchenko_V.M.pdf, свободный.

Капуста Наталия Александровна, студентка группы Ртмо1-40 ИРТСУ ЮФУ.
Kapusta Natalia Aleksandrovna, student of group Rtmo1-40 IRTSU SFedU.

УДК 621.395

Лавриков Александр Николаевич, Заргарян Юрий Артурович

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ РАБОТЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И СБОРА ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Месторождения нефти и газа относятся к невозобновляемым ресурсам, поэтому проведение геологоразведочных работ, связанных с поиском новых месторождений этих полезных ископаемых является важнейшей задачей, определяющей развитие экономики на много лет вперед. Работа посвящена исследованию системы управления и сбора сейсмической информации, позволяющей эффективно решать задачи управления, сбора и передачи информации от сейсмодатчиков к регистрирующим (записывающим) устройствам.

Нефть, газ, управление, сейсморазведка, анализ.

Lavrikov Alexander Nikolaevich, Zargaryan Yuriy Arturovich

RESEARCH OF THE OPERATING PRINCIPLES OF THE CONTROL SYSTEM AND COLLECTION OF INFORMATION FOR SEISMIC EXPLORATION OF MINERAL RESOURCES

Oil and gas fields are non-renewable resources, therefore, geological exploration related to the search for new deposits of these minerals is the most important task that determines the development of the economy for many years to come. The work is devoted to the study of the control system and seismic information collection, which makes it possible to effectively solve the problems of control, collection and transmission of information from seismic sensors to recording (recording) devices.

Oil, gas, management, seismic exploration, analysis.

Введение

Первостепенное значение в обеспечении развития экономики России в настоящее время имеет добыча и продажа полезных ископаемых, в первую очередь нефти и газа. Месторождения нефти и газа относятся к не возобновляемым ресурсам, поэтому проведение геологоразведочных работ, связанных с поиском новых месторождений этих полезных

ископаемых является важнейшей задачей, определяющей развитие экономики, как на сегодняшний день, так и на много лет вперед [1-5,8].

В связи с этим необходимо обеспечить ускоренное развитие работ по геологическому изучению территории нашей страны, увеличению разведанных запасов минерально-сырьевых ресурсов, в первую очередь - топливно-энергетических. Необходимо проводить наращивание работ по выявлению месторождения нефти и газа на территории Западной и Восточной Сибири, европейской части России, а также способствовать заключение контрактов на проведение подобных работ в странах ближнего и дальнего зарубежья.

Основная часть

В настоящее время в России применяют прогрессивные виды геофизических и геохимических исследований недр, требующие технического перевооружения геологоразведочных предприятий, оснащения их высокоэффективным оборудованием, аппаратурой и транспортными средствами [7].

Широкое применение при поисках и разведке полезных ископаемых получили геофизические методы, среди которых наиболее популярна сейсморазведка, являющаяся основным методом поисково-разведочных исследований на нефть и газ.

Перед разведчиками недр ставятся задачи, связанные с поиском и разведкой новых крупных месторождений нефти и газа, с переходом в районы с более сложными сейсмогеологическими условиями, с увеличением глубинности сейсмических исследований и повышением детальности расчленения геологического разреза, в частности при поисках пологих нефтегазоностных структур.

Для решения таких сложных задач необходимы специальные методические приемы и аппаратура, обеспечивающие повышение разрешающей способности метода, увеличения отношения полезного сигнала к помехам, расширение динамического диапазона регистрации сейсмических сигналов, повышение надежности и чувствительности сейсморегистрирующего канала.

В геологоразведочных исследованиях применяют системы сбора и передачи сейсмической информации, обеспечивающие цифровую регистрацию данных сейсморазведки. Эти системы предназначены для проведения полевых сейсморазведочных работ методом отраженной волны, вызванной, например, взрывом заряда, с последующей обработкой

полученных данных с применением ЭВМ. Системы позволяют значительно увеличить эффективность сейсмических методов разведки за счет широкого динамического диапазона, высокой точности, повышения достоверности передачи сейсмоинформации [6-10].

Объектом исследования и проектирования является система управления и сбора сейсмической информации, которая будет содержать в своем составе центральную станцию, регистрирующую сейсмические данные и способную осуществлять детальный контроль качества записи и частичную обработку полученных данных. Функции приема сейсмоинформации планируется возложить на информационные модули, которые будут установлены на территории разведки полезных ископаемых, что позволить повысить эффективность сейсморазведочной системы.

Для повышения эффективности сейсморазведочных работ планируется увеличивать как количество информационных модулей, так и быстродействие каналов передачи информации. Также на основе анализа недостатков существующих систем передачи дискретной информации для сейсморазведки планируется разработать и предложить свое структурное решение, которое будет обеспечивать достаточно большую скорость передачи информации при соблюдении заданных требований по помехоустойчивости и надежности и сможет существенно повысить эффективность функционирования системы управления и сбора сейсмической информации [4].

В рамках исследования планируется решить следующие основные задачи**:**

- провести анализ существующих систем управления, сбора и передачи сейсмической информации российских и зарубежных систем, включая патентный поиск;
- проанализировать способы организации кабельных линий связи в распределенной системе передачи информации со многими приемо-передающими устройствами;
- проанализировать примеры организации кабельных линий связи в цифровых сейсморегистрирующих системах, применяемых на практике;
- провести анализ достоинств и недостатков существующих систем передачи информации для сейсморазведки;

- на основе полученной информации разработать структурную схему системы передачи дискретной информации, нивелирующую недостатки существующих систем;

- разработать структурную схему модуля сопряжения;

- произвести расчет параметров приемо-передающих каналов дискретной информации для сейсморазведки;

- на основе полученных результатов разработать подробную функциональную схему модуля сопряжения и устройства с автоматической подстройкой фазы.

В качестве методов исследования планируется применить методы системного и функционального анализа, принципы построения систем передачи дискретной информации, теорию помехоустойчивости передачи сигналов.

Выводы. Итоговую форму результатов научного исследования планируется представить в виде разработанных структурных и функциональных схем модуля сопряжения для многоканальной системы управления и сбора сейсмической информации и устройства с автоматической подстройкой фазы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Соловьев В.В., Заргарян Е.В., Заргарян Ю.А., Белоглазов Д.А., Косенко Е.Ю.* Проектирование и моделирование объемного гидропривода. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2015. – 97 с.
2. *Zargaryan Yu.A., Zargaryan E.V., Dmitrieva I.A., Sakharova O.N., Pushnina I.V.* Modeling Design Information Systems With Multi-Criteria. Journal of Physics: Conference Series. Krasnoyarsk, Russian Federation, 2020. С. 32057
3. *Рой Ю.В., Заргарян Е.В.* Сепарация газа на промыслах и типы применяемых устройств. Технологии разработки информационных систем ТРИС-2020. Материалы X Международной научно-технической конференции. "Технологии разработки информационных систем", 2020. С. 143-149
4. *Петренко И.А., Заргарян Е.В.* Автоматизированная система управления дроблением щебня. Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении ("КомТех-2018"). Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Ответственный редактор: Синютин С.А., Ответственный за выпуск Клевцов С.И., 2018. С. 63-71.

5. *Заргарян Ю.А.* Задача управляемости в адаптивной автоматной обучаемой системе управления. Технологии разработки информационных систем ТРИС-2020. Материалы X Международной научно-технической конференции. "Технологии разработки информационных систем", 2020.
6. *Соловьев В.В., Заргарян Е.В., Заргарян Ю.А., Шаповалов И.О., Косенко Е.Ю.* Элементы объемного гидропривода. Таганрог, 2015.
7. Сейсмическая система сбора данных. Помиков М.К., Фатеев Н.В., АС.№557337.
8. *Бондарук А.М.* Автоматизированные системы управления качеством в технологических процессах / А.М. Бондарук С.С. Гоц. - М.: Уфа: Монография, 2017. - 144 с.
9. *Якобсон Б.М.* Автоматизированные системы управления производством / Б.М. Якобсон, А.Е. Розинкин. - М.: Советское радио, 2019. - 224 с.
10. *Калашников И.Д.* Адаптивные системы сбора и передачи информации / И.Д. Калашников В.С. Степанов, А.В. Чуркин. - М.: Энергия, 2016. - 240 с.

Лавриков Александр Николаевич, студент кафедры систем автоматического управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Некрасовский пер., 44, Таганрог, 347931, телефон: +7 (909) 428-58-95, email: alavrikov@sfedu.ru.

Заргарян Юрий Артурович, кандидат технических наук, доцент кафедры систем автоматического управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Некрасовский пер., 44, Таганрог, 347931, телефон: +7 (8634) 371689, email: yazargaryan@sfedu.ru.

Lavrikov Alexander Nikolaevich, student of the Department of Automatic Control Systems of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, 44 Nekrasovskiy per., Taganrog, 347931, phone: +7 (909) 428-58-95, email: alavrikov@sfedu.ru.

Zargaryan Yuriy Arturovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Automatic Control Systems, Southern Federal University, Taganrog, 44 Nekrasovskiy per., Taganrog, 347931, phone: +7 (8634) 371689, email: yazargaryan@sfedu.ru.

УДК 658.5

Задорова Ксения Александровна, Лукин Дмитрий Сергеевич

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПЛАНОВ

Данная работа посвящена построению математической модели, оптимизирующей производственные планы на машиностроительном мелкосерийном или единичном производстве. Предложенная модель позволяет контролировать ход производства на всех этапах и выявлять «узкие» места, если таковые имеются.

Оперативно-производственное планирование, математическая модель, машиностроительное производство.

Zadorova Ksenia Aleksandrovna, Lukin Dmitry Sergeevich

BUILDING A MATHEMATICAL MODEL FOR OPTIMIZING PRODUCTION PLANS

This work is devoted to the construction of a mathematical model that optimizes production plans for machine-building small-scale or single production. The proposed model allows you to monitor the progress of production at all stages and identify "bottlenecks", if any.

Operational and production planning, mathematical model, machine-building production.

Введение

На сегодняшний момент важной задачей каждого производственного предприятия является задача повышения эффективности управления производственными системами.

Вообще говоря, предприятие – это совокупность разнообразных и взаимосвязанных процессов, распределенных в пространстве и во времени. Так как имеющиеся производственные и временные ресурсы ограничены, целесообразным является применение производственного планирования при управлении предприятием. Существует множество методов оперативно-производственного планирования [1]. Однако, стоит понимать, что необходимо не просто спрогнозировать объем выпущенной продукции так, чтобы удовлетворить спрос, а требуется выявить возможные проблемы или трудности, которые могут возникнуть. Определить пути их

избежание и решения. Важно выбрать такой план управления производственной системой, который позволит добиться максимальной прибыли при минимальных затратах ресурсов.

Основной задачей оперативно-производственного планирования (ОПП) является обеспечение оптимального и стабильного хода производственного процесса. При этом ресурсы, используемые в ходе производства, должны быть равномерно распределены.

Исследование и создание математических моделей ОПП с учетом типа производства является актуальной задачей.

Основной критерий оптимизации в данной работе – сокращение времени производственного цикла, а также сокращение затрат на производство.

$$\sum_{k=1}^{n_k} T_{ck} \to \min, \quad \sum_{k=1}^{4}\sum_{\omega=1}^{T} C_k(t_0+\omega) \to \min.$$

Здесь $\sum_{k=1}^{4} C_k$ количество денежных затрат, вложенных в производство за промежуток времени, равный Т.

Проектируемая математическая модель ОПП предназначена только для мелкосерийного и единичного производства.

Основная часть

Пусть на машиностроительном производстве изготавливают детали z = 1, 2, …, n. $A=\{N_{\beta z}\}$ - нормальный расход на каждый вид ресурса β, затрачиваемый на продукцию z. $C=\{C_{\beta z}\}$ - затраты на пополнение ресурсов предприятия. Понятно, что производственные мощности PM_z, как и любые другие, ограничены.

Партия М определённых деталей d_i, (i = 1, 2, …, m) изготавливается в конкретном цеху на единицах оборудования p (p = 1, 2, …, n_p). Чтобы изготовить партию деталей необходимо выполнить m_i операций g_{ij}, j = 1, 2, …, m_i.

Пусть на предприятии на количестве p оборудования производиться d_i деталей распределённых в m партиях (i = 1, 2, …, m). При изготовлении партии выполняется m_i операций g_{ij} (j = 1, 2, …, m_i). Количество и тип необходимых для изготовления детали операций определяется маршрутом:

$$M_i = \{g_{i1,p}, g_{i2,p}, ..., g_{im,p}\}.$$

Время, затрачиваемое на изготовление партии, зависит от количества деталей a_i в партии и задаётся следующим выражением:

$$T_i = \sum_{j=1}^{m_i} t_{ij} = \sum_{j=1}^{m_i} (t_{ij}^{n} + a_i t_{ij}^{шт}),$$

где t_{ij} – время, затрачиваемое на операцию g_{ij} для всей партии, t_{ij}^{n} – время подготовки, $t_{ij}^{шт}$ – время, затрачиваемое на операцию g_{ij} для одной детали.

$$G = \left\{ \tau_{ijp}^{s} \right\}, (i = 1, 2, ..., n; j = 1, 2, ..., m),$$

где τ_{ijp}^{s} - момент начала выполнения операции g_{ij} на p-ом станке. Вариант расписания $G^{(l)}$ соответствует условиям организации производственного процесса на моделируемом объекте, если выполняются следующие ограничения:

$$\tau_{ijp}^{e(l)} = \tau_{ijp}^{s(l)} + t_{ij}$$

$$\tau_{i_1, j_1, p_1}^{s(l)} + t_{i_1, j_1} > \tau_{i_2, j_2, p_1}^{s(l)}$$

$$\left.\begin{aligned} &\tau_{ijp_1}^{s(l)} \geq \tau_{i, j-1, p_2}^{s(l)} + c_{ij} \\ &\tau_{ijp_1}^{e(l)} \geq \tau_{ij-1, p_2}^{e(l)} + c_{ij} + (t_{ij}^{l} - t_{i, j-1}^{l}) \end{aligned}\right\}, \text{если } t_{i, j-1} \leq t_{ij}, \qquad (1)$$

$$\left.\begin{aligned} &\tau_{ijp_1}^{s(l)} \geq \tau_{i, j-1, p_2}^{s(l)} + (t_{i, j-1}^{l} - t_{ij}^{l}) + c_{ij} \\ &\tau_{ijp}^{e(l)} \geq \tau_{ij-1, p_2}^{e(l)} + c_{ij} \end{aligned}\right\}, \text{если } t_{i, j-1} > t_{ij}, \qquad (2)$$

где $\tau_{ijp}^{e(l)}$ - момент окончания операции g_{ij} на p-ом оборудовании в l-ом варианте производственного плана; $c_{i,j}$ – минимальное время между началом (при $t_{i, j-1} \leq t_{ij}$) или окончанием (при $t_{i, j-1} > t_{ij}$) выполнения предыдущей и последующей операций в l-ом варианте плана.

Стоит отметить, что нет необходимости точно формулировать все ограничения.

Задачей S в разрабатываемой математической модели будет являться любая необходимая совокупность данных:

$$n, \left\{ n_p \right\}, \left(p = 1, 2, ..., n_p \right);$$

$$m, \left\{ m_i \right\}, \left\{ a_i \right\}, \left\{ t^s \right\}, \left\{ t^e \right\}, \left(i = 1, 2, ..., \mathrm{m} \right);$$

$$\left\{ \tau_{ijp}^{s} \right\}, \left\{ t_{ij}^{n} \right\}, \left\{ t_{ij}^{шт} \right\}, \left\{ \hat{t}_{ij} \right\}, \left(j = 1, 2, ..., \mathrm{m}_i; i = 1, 2, ..., \mathrm{m} \right),$$

где t^s, t^e - время начала и окончания заданного интервала планирования; $\hat{t}_{ij}$ - длительность выполнения операции g_{ij} над транспортной подпартией.

Множество $G = \left\{ G^l \right\}$ - область допустимых решений задачи S.

Решение считается оптимальным $G_{опт} \in G$, если критерий минимизации производственного цикла удовлетворяет следующему выражению:

$$F(G_{опт}) = \max_{l} F(\mathrm{G}^{l}) \text{ или } F(G_{опт}) = \min_{l} F(\mathrm{G}^{l}), \text{ то есть}$$

$$F_1(G^{(l)}) = \min_{G}(\max_{i} \tau_{im_i}^{e(l)}) \tag{3}$$

Теперь включим дополнительные критерии оптимизации:

– сокращение длительности ожидания деталей до начала обработки (4);

– максимальная загруженность производственного оборудования (5).

$$F_2(G^{(l)}) = \min_{G} \sum_{i=1}^{m} (t_i^{ep} - \tau_{im_i}^{e(l)})$$

$$F_3(G^{(l)}) = \min_{G} \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{m_i} (\tau_{i,j+1}^{s(l)} - \tau_{ij}^{e(l)}) \tag{4}$$

$$F_4(G^{(l)}) = \max_{G}(\frac{1}{F_p^{\max}} \sum_{i}^{m} \sum_{j}^{m_i} t_{ijp}) \tag{5}$$

Все критерии оптимизации взаимосвязаны между собой.

Минимизация времени выполнения всего производственного цикла обеспечивается параллельно-последовательным видом движения, при котором на следующую операцию передается часть партии. Тогда ограничения (1) и (2) рассматриваются с учетом возможных вариантов расчета величины c_{ij} [2]:

$$c_{ij} = \begin{cases} 0, \ если \ \ t_{ij} \geq t_{i,j-1} \ и \ t_{ij}^{n} \geq t_{i,j-1}^{n} + \hat{t}_{i,j-1} \\ t_{i,j-1}^{n} + \hat{t}_{i,j-1} - t_{ij}^{n}, если \ t_{ij} \geq t_{i,j-1} \ и \ t_{ij}^{n} < t_{i,j-1}^{n} + \hat{t}_{i,j-1} \\ \hat{t}_{ij}, \ если \ \ t_{ij} < t_{i,j-1} \ \ и \ t_{ij}^{n} \geq t_{i,j-1}^{n} + \hat{t}_{i,j-1} - t_{i,j-1} + t_{ij} - \hat{t}_{ij}, . \\ t_{i,j-1}^{n} + \hat{t}_{i,j-1} - t_{i,j-1} + t_{ij} - t_{ij}^{n} \\ если \ \ t_{ij} < t_{i,j-1} \ \ и \ \ t_{ij}^{пз} > t_{i,j-1}^{пз} + \hat{t}_{i,j-1} - t_{i,j-1} + t_{ij} - \hat{t}_{ij} \end{cases}$$

Целевая функция в данном случае определяется коэффициентом параллельности $k_{пар}$, который определяется как отношение времени протекания процесса (с учетом параллельности) $T_{ц}^{пар}$ к общему времени производственного процесса $T_{ц}$ (при последовательном движении деталей):

$$k_{пар} = \frac{T_{ц}^{пар}}{T_{ц}} \to \min .$$

Параллельно-последовательный способ выполнения работ на производстве позволяет сократить общую длительность производственного цикла.

Пусть T = $\{t_o;t_p\}$ – интервал времени формирования маршрутной карты, где t_o – начальный момент времени, t_p – конечный момент времени, когда разрабатываемый план должен быть выполнен.

Интервал времени T включает в себя временные отрезки, разной длины: $\Delta t_m = \left\{t_m^s;t_m^e\right\}$ - закупка производственных запасов; $\Delta t_d = \left\{t_d^s;t_d^e\right\}$ - изготовление заготовок; $\Delta t_p = \left\{t_p^s;t_p^e\right\}$ - сборочные работы.

Таким образом, ясно, что при создании маршрутной карты необходимо использовать непрерывную модель времени. То есть любая операция может начаться и закончиться в заданный с определённой точностью, любой момент времени.

Процесс планирования обратен производственному процессу: $\Delta t_p \to \Delta t_d \to \Delta t_m$, то есть начальная точка расчета – это момент выпуска готового продукта. Моменты начала и конца отрезков времени производятся в диалоговом режиме. Выполнение операций по заготовке и сборке (отрезки $\Delta t_p, \Delta t_d$) по маршрутной карте оценивается по заданным критериям оптимизации. Общий план производственный план оценивается проверкой следующего условия [3]:

$$t_0 \le \min_{\beta}\left\{\min_{ij} \tau_{ij\beta}^{s(l)} - t_\beta\right\}, \qquad (6)$$

$$\beta = 1,2,...,b;\ i = 1,2,...,m;\ j = 1,2,...,m_i$$

где $\tau_{ij\beta}^{s(l)}$ - время начала использования производственного запаса β при вариации плана l; t_β - время закупки и пополнения производственного запаса β.

При соблюдении условия (6) заданный план реализуется в полном объеме. В ином случае необходимо корректировать исходные данные. Также возможно перепроектирование плана в процессе его реализации, но при этом необходимо оценивать имеющиеся производственные запасы (при $t_0 \in \left\{t_m^s;t_m^e\right\}$) или ресурсы (при $t_0 \in \left\{t_p^s;t_p^e\right\}$).

Как известно, решение, при котором целевая функция достигает экстремума является наилучшим. Целевая функция имеет вид, представленный ниже:

$$F(G_{опт}) = F_1(G^{(l)}) + F_2(G^{(l)}) + F_3(G^{(l)}) + F_4(G^{(l)}).$$

Основные ограничения:

– максимальная наработка используемого оборудования;

– длина маршрутной карты.

Для того, чтобы определить время, необходимое для выполнения плана, необходимо найти коэффициент загрузки оборудования $K_{заг,p}^{(l)}$. Если значение этого коэффициента больше единицы, то это значит, что нахватает временных ресурсов оборудования. В таком случае, целесообразно уменьшить объем плана или увеличить временные ресурсы оборудования.

Коэффициент загруженности определяется как для всего цеха, так и для отдельных участков.

На эффективность функционирования маршрутной карты на машиностроительном предприятии влияют таким параметры, как:

– общие производственные запасы, минимальный объём партии;

– время выполнения каждой операции на конкретной единице оборудования, время на переналадку и обслуживание;

– планируемой количество времени на создание определенной партии деталей.

Для реализации вышеперечисленных параметров целесообразно построить динамическую компьютерную модель распределенной компьютерной информационно-управляющей и интеллектуальной системы.

Выводы

Таким образом, вышеописанная модель оптимизирует производственные планы, позволяет контролировать ход производства на всех этапах и выявлять «узкие» места, если таковые имеются. Данная модель не требует больших затрат и может быть реализована на практике.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Власова Л., Лебедев С.* Оперативно-производственное планирование. Решение типовых задач с использованием системы 1С:ERP Управление предприятием [Электронный ресурс] // 1С:Учебный центр № 1 («1С-Образование») - подразделение фирмы 1С [сайт]. [2020]. URL: https://kpk.1c.ru/planning_erp (дата обращения: 23.10.2020).
2. *Гайдук А.Р.* Аналитические методы анализа и синтеза систем автоматического управления (полиномиальный подход) / А.Р. Гайдук. – М.: Физматлит. 2010.

3. *Ким Д.П.* Теория автоматического управления. Т. 2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Физматлит, 2016.

Задорова Ксения Александровна, студентка 1-го курса магистратуры кафедры систем автоматического управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, пер. Тургеневский 44, телефон: 89383167227, email: k.a.zadorova@mail.ru.

Лукин Дмитрий Сергеевич, студент 1-го курса магистратуры кафедры систем автоматического управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, пер. Тургеневский 44, телефон: 89612752016, email: dlukin@sfedu.ru.

Zadorova Ksenia Aleksandrovna, 1st year Master's student of the Department of Automatic Control Systems of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, per. Turgenevsky 44, phone: 89383167227, email: k.a.zadorova@mail.ru.

Lukin Dmitry Sergeevich, 1st year Master's student of the Department of Automatic Control Systems of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, per. Turgenevsky 44, phone: 89612752016, email: dlukin@sfedu.ru.

УДК 621.548:621.31:004.94

Гисцов Владислав Геннадьевич, Волощенко Юрий Петрович

РАСЧЁТ И ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛОГО ЗАГОРОДНОГО ДОМА

В работе осуществлен расчет и выбор электрооборудования горизонтально-осевой ветроэнергетической установки малой мощности для электроснабжения жилого загородного дома. Дано обоснование актуальности исследования и разработки ветроэнергетических систем, приведена разработанная схема модели ветроэнергетической установки в программной среде визуального программирования Simulink с использованием стандартных блоков электротехнической библиотеки, описаны ее основные элементы, исходные и получаемые в результате моделирования характеристики, продемонстрированы результаты исследования рабочего режима устройства, приведен перечень выбранного оборудования.

Ветроэнергетическая установка, модель ветрогенератора, визуальное программирование, ветровая турбина, синхронный генератор, выпрямительный мост, управляемый инвертор, контроллер.

Gistcov Vladislav Gennadevich, Voloshchenko Yuri Petrovich

CALCULATING AND CHOOSING THE ELECTRICAL EQUIPMENT OF A LOW POWER WIND-MILL ELECTRIC GENERATING UNIT FOR RESIDENTIAL COUNTRY HOUSE ELECTRIC SUPPLY

In this work, the calculation and choosing the electrical equipment of a horizontal-axial low power wind turbine for residential country house power supply is carried out. The paper substantiates the relevance of the research and development of wind power systems, shows the developed scheme of the wind power plant model in the visual programming environment Simulink using standard blocks of the electrical library, describes its main elements, the initial and resulting simulation characteristics, demonstrates the results of a study of the device operating mode, provides a list of chosen equipment.

Wind energy converter, wind generator model, visual programming, wind turbine, synchronous generator, rectifier bridge, controlled inverter, controller.

Введение

Ветроэнергетика в странах Евросоюза уже давно перестала характеризоваться как "альтернативная" и вошла в число важных поставщиков электроэнергии [1]. Стремление диверсифицировать типы источников электроэнергии, снизить выброс парниковых газов и загрязняющих веществ в атмосферу привело к развертыванию и финансированию ряда научных и инженерных проектов, позволивших довести долю ветроэнергетики в общем энергетическом балансе Европы до 16% в 2020 году. Общий объем ветрогенерации достиг 220 ГВт. Ветроэнергетика в России развивается значительно более медленными темпами частично из-за распространенных заблуждений о ее невыгодности, неэкологичности и даже опасности. Но, тем не менее, в 2020 году достроены и введены в эксплуатацию ветропарки общей мощностью 350 МВт в Красносулинскои и Каменском районах Ростовской области. Еще предстоит достроить и подключить к энергосистеме ветропарк «Казачья ВЭС» суммарной мощностью 100 МВт в Каменском районе. В 2021 году в Ростовской области запланирован ввод в

эксплуатацию ветропарков в Зимовниковском и Азовском районах с общей суммарной мощностью 260 МВт. Всего до 2024 года в нашем регионе запланировано строительство семи ветропарков суммарной мощностью более 700 МВт.

Основная часть

Мощность ветроустановок может варьироваться в широких пределах - от нескольких киловатт до 10 МВт. Небольшие компактные ветроэнергетические установки (ВЭУ) позволяют организовать электроснабжение отдельных домохозяйств и небольших предприятий, расположение или другие особенности которых не позволяют или делают невыгодным подключение к общей энергосети [2].

Общая структурная схема рассматриваемой ВЭУ приведена на рис. 1. Основными компонентами установки являются: ротор, генератор, выпрямитель, аккумуляторная батарея, контроллер, балластное сопротивление и инвертор.

Поток воздушной массы давлением приводит в движение лопастную систему ВЭУ - ротор. Посредством перехода ротор соединятся с редуктором, который меняет частоту вращения вала. Вращательный момент с ветровой турбины передается на вал, подключенный к генератору, который посредством явлении электромагнитной индукции вырабатывает ток переменной величины.

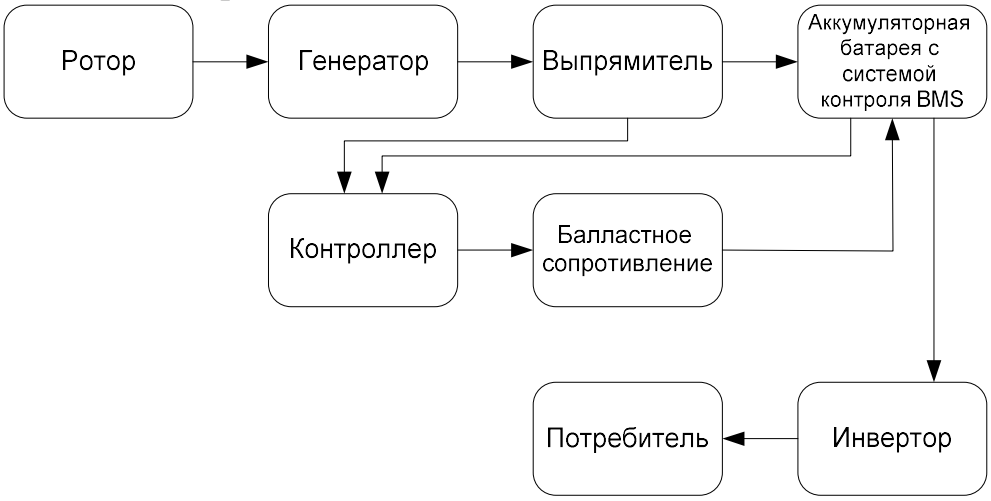


Рис. 1. Общая структурная схема ВЭУ

С ветрогенератора выработанная электрическая энергия подается на контроллер, выпрямляющий трехфазный переменный ток в постоянный. Также в функции контроллера входит регистрация некоторых величин и подключение балластного сопротивления к аккумуляторной батарее в

случае подхода к перезаряду. В случае возникновения слишком большого ветра производится спуск ветрогенератора в заранее известной ситуации или закорачивание выводов генератора для торможения ВЭУ. Выпрямленный электрический ток поступает на аккумуляторную батарею. После этого с аккумуляторной батареи постоянный ток за счет работы инвертора преобразуется в переменный ток с параметрами согласно ГОСТ 29322-92, а именно - сетевое напряжение должно составлять U = 220-230 В при частоте f = 50 Гц.

Расчет мощности установки произведен на основе требуемой мощности предполагаемой нагрузки. На основе полученных результатов осуществлен выбор компонентов системы. В качестве основы для построения установки была выбрана ВЭУ с техническими параметрами: номинальная выходная мощность - один киловатт, напряжение 24 В, начальная скорость ветра 3,5 м/с, номинальная скорость ветра 12,5 м/с, диаметр ротора 1,8 м, скорость вращения ротора 200 - 800 об/мин, количество лопастей 3, тип генератора - трехфазный с постоянными магнитами,, высота мачты 8 м [3]. Устройство, принцип работы и математическая модель ВЭУ рассмотрены в [4-5]. Методики моделирования энергетических процессов в электрических и электронных цепях методами теории электрических цепей приведены в [6-7].

На основе структурной схемы составлена модель ВЭУ в программе Matlab (рис. 2). При этом использовались блоки элементов библиотеки Simulink и SimPowerSystems [8]. Параметры моделей блоков, рассчитанные на основании математических уравнений, описывающих режимы работы компонентов ВЭУ и полученные экспериментально на оборудовании с характеристиками аналогичными рассматриваемым компонентам ВЭУ, приведены в [9-10].

Основным элементом схемы модели ВЭУ на рис. 2 является блок ветровой турбины, который моделирует процесс преобразования силы ветра) в механический момент на валу генератора. Помимо скорости ветра входными параметрами блока являются скорость вращения вала генератора и угол атаки лопастей ветроколеса.

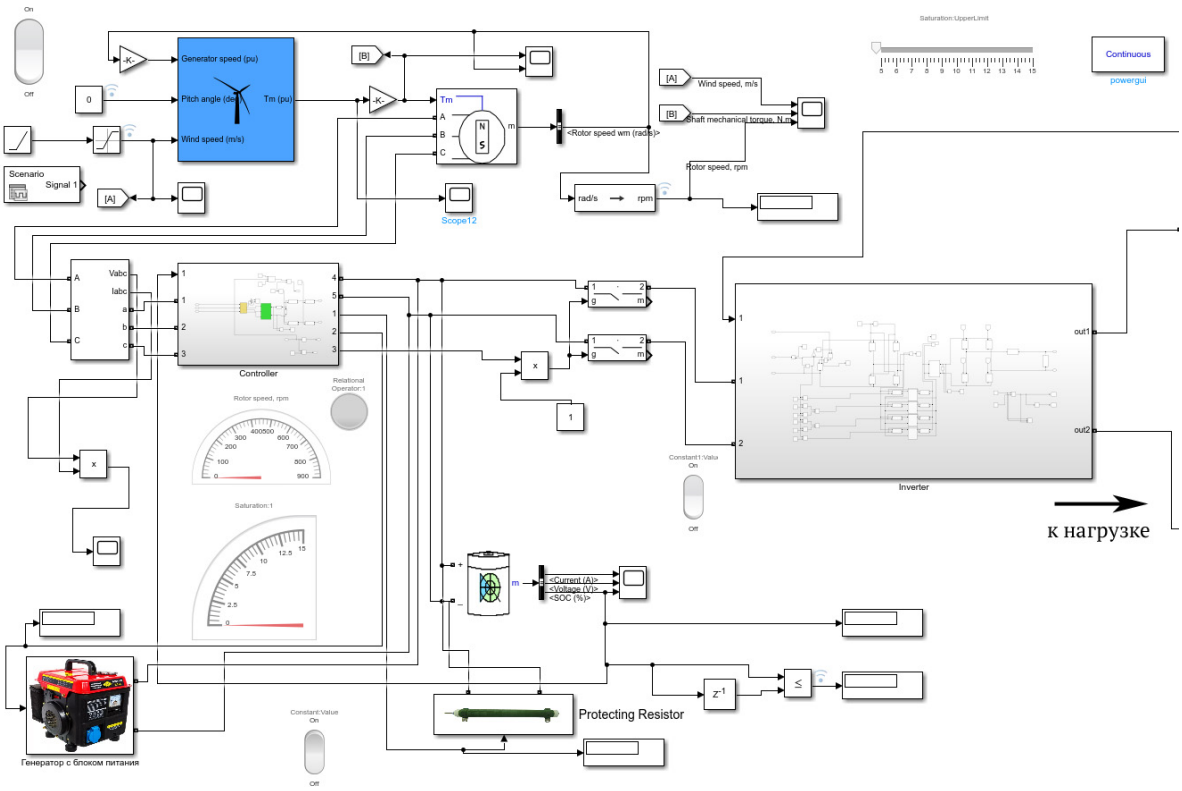


Рис. 2. Общий вид схемы модели ВЭУ

В качестве параметров блока были заданы: номинальная механическая мощность ветровой турбины, базисная мощность электрического генератора с учетом потерь мощности в ветровой турбине, базисная или номинальная скорость ветра, коэффициент относительной максимальной вырабатываемой мощности при относительной скорости ветра и коэффициент базисной частоты вращения. Блок ветровой турбины посредством бесконечно жесткой трансмиссии соединен с блоком электрической машины в виде синхронного генератора на постоянных магнитах. Ток и напряжение на выходе генератора регистрируются при помощи измерительного трехфазного блока. С вывода m блока электрической машины снимается частота вращения вала ротора. Стрелочные индикаторы отображают текущее значение частоты вращения вала генератора в оборотах в минуту и скорость ветра в метрах в секунду. Ток на выходе генератора ветровой турбины является непостоянным по амплитуде, фазе и частоте, поэтому напряжение сначала подается на трехфазный диодный выпрямительный мост, включенный в состав подсистемы Controller модели. Выпрямленный ток поступает на батарею и инвертор, который позволяет получать переменное напряжение подавать

его в нагрузку, представленную отдельной схемой, моделирующей подключение различных электроприборов к домашней сети.

Выводы

В работе осуществлен расчет и выбор электрооборудования горизонтально-осевой ветроэнергетической установки малой мощности для электроснабжения жилого загородного дома. В результате получены структурные и принципиальные схемы установки и ее основных узлов. Выбраны коммутирующие устройства, элементы защиты, преобразователи и контроллер заряда. Разработана модель ВЭУ, представляющая собой виртуальную лабораторную установку. Полученные в результате моделирования характеристики установки в целом соответствуют графикам изменения состояния ветроэнергетических установок с аналогичными параметрами, исследованными в [9-10].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гиляхов А.А., Волощенко Ю.П.* Ветроэнергетические установки и последние разработки в этой области // Сборник трудов XIV Всероссийской научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Информационные технологии, системный анализ и управление» ИТСАУ-2016, 16-19 ноября 2016 г., Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2016, Т.2. С. 16-18. https://elibrary.ru/item.asp?id=28119364
2. *Гисцов В.Г., Батагов К.А., Волощенко Ю.П.* Исследование характеристик модели автономной электрической системы с маломощной ветроэнергетической установкой // Всероссийская научная конференция «Теоретические и методические проблемы эффективного функционирования радиотехнических систем» («Системотехника-2020»). Проблемы современной системотехники: сборник научных статей. – Таганрог: Изд-ль ИП Ступин С.А, 2020. -вып.XIV. С.63-69 https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44404561
3. База данных ветряных турбин// Wind Turbine Models URL: https:// ru.wind-turbine-models.com/turbines (дата обращения 01.05.2020)
4. *Харитонов В.П.* Автономные ветроэлектрические установки. -М.:ГНУ ВИЭСХ, 2006. - 208 с.
5. *Manwell J. W., McGowan J. G. and Rogers A. L.* Wind Energy Explained, Theory, Design and Application. 2nd edition, –Oxford:Wiley-Blackwell, 2009.
6. *Волощенко П.Ю., Волощенко Ю.П.* Моделирование нелинейных электрических процессов в элементах электронной волновой цепи: учебное

пособие.– Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2018. – 116 с. https://elibrary.ru/item.asp?id=36762792

7. *Волощенко П.Ю., Волощенко Ю.П.* Моделирование электронных компонентов интегральных схем методами теории электрических цепей: учебное пособие. –Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2017.–112с. https://elibrary.ru/item.asp?id=32068358.
8. *Гисцов В.Г., Батагов К.А., Волощенко Ю.П.* Моделирование горизонтально-осевой ветроэнергетической установки малой мощности в программном пакете Matlab//Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении «КомТех-2020»: материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием : в 2 т . – Ростов-на-Дону; Таганрог: ЮФУ, 2020. – Том 2. С. 56 - 62. https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44307361
9. *Acharya Parash, Papadakis Antonis, Shaikh Muhammad Naveed*. Modelling and Design of a 3 kW Permanent Magnet Synchronous Generator suitable for Variable Speed Small Wind Turbines// MATEC Web of Conferences 55, 04001 (2016), ACPEE 2016. DOI: 10.1051/matecconf/20165504001.
10. *Abdulhakim Karakaya, Erc ument Karakas*. Implementation of neural network based maximum power tracking control for wind turbine generator// Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences (2014) 22: 1410 - 1422 DOI: 10.3906/elk-1201-70.

Волощенко Юрий Петрович, канд. техн. наук; доцент кафедры электротехники и мехатроники Южного федерального университета, город Таганрог, переулок Некрасовский 44; 347928, телефон: +78634371694; e-mail: voloschenkoyup@sfedu.ru

Гисцов Владислав Геннадьевич, студент гр. РТбо3-37, кафедра электротехники и мехатроники, Южный федеральный университет, 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: +78634371694; e-mail: giscov@sfedu.ru.

Voloshchenko Yuri Petrovich, Ph.D. in Technology, Associate Professor Department of Electrical Engineering and Mechatronics, Southern Federal University, 44, Nekrasovskiy street, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371694; e-mail: voloschenkoyup@sfedu.ru

Gistcov Vladislav Gennadevich, student gr. RTbo 3-37, Department of Electrical Engineering and Mechatronics, Southern Federal University, 44, Nekrasovskiy street, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371694; e-mail: giscov@sfedu.ru.

УДК 004.021

Анферова Маргарита Сергеевна, Белевцев Андрей Михайлович

ОБЩАЯ КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПОИСКА ИНФОРМАЦИИ В СЕТЯХ ОБЩЕГО И СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В данной работе рассматривается проблема построения информационно-аналитических систем для стратегического анализа и выбора направлений развития высокотехнологичных предприятий. Доказано, что в условиях перехода к 6 технологическому укладу и индустрии 4.0 эффективность таких систем будет определяться уровнем интеллектуализации процедуры мониторинга. Разработана общая концепция построения технологии интеллектуального поиска и кластеризации информации.

Технологические тренды, интеллектуальный поиск, мониторинг, искусственный интеллект, Big Data, алгоритм, кластеризация.

Anferova Margarita Sergeevna, Belevtsev Andrey Mikhailovich

THE GENERAL CONCEPT OF CREATING A TECHNOLOGY FOR INTELLIGENT INFORMATION SEARCH IN GENERAL AND SPECIAL PURPOSE NETWORKS

In this paper, the problem of building information and analytical systems for strategic analysis and the choice of directions for the development of high-tech enterprises is considered. It is proved that in the conditions of transition to the 6th technological order and industry 4.0, the effectiveness of such systems will be determined by the level of intellectualization of the monitoring procedure. A general concept of building a technology for intelligent search and clustering of information has been developed.

Technological trends, intelligent search, monitoring, artificial intelligence, big data, algorithm, clustering.

Введение

Объём информации в сетях общего и специального назначения непрерывно возрастает [1]. Генерируется все больше и больше данных, причем преимущественно неструктурированных, несущих потенциально полезные сведения для компаний и предприятий.

В условиях экспоненциально растущих объёмов разрозненной, неструктурированной информации возникает проблема анализа Big Data [2,3].

В этой связи встает задача повышения качества и эффективности информационного поиска на основе создания интеллектуальных поисковых роботов для распознавания и кластеризации неструктурированной информации в информационно-аналитических комплексах.

Для эффективного решения поставленных задач необходимо использовать комплексный подход с учетом применимости, а также эффективности применения методов для отдельных подзадач в рамках разработки сервиса интеллектуального мониторинга [4,5].

Основная часть

Общая концепция технологии подобного сервиса должна быть основана на комплексном подходе, обеспечивающего как синергетический эффект, так и высокую эффективность реализации отдельных этапов процедуры интеллектуального мониторинга.

Проведенный анализ исследовательских проектов [6] позволил выделить следующие приоритетные функции, которые должны обеспечивать разрабатываемые сервисы:

Ф1. Формирование поискового образа на основе методов теории исчисления предикатов с использованием ключевых слов и метаданных.

Ф2. Полнотекстовый поиск документов в пределах базы информационных ресурсов информационно-аналитического комплекса.

Ф3. Поиск документов, семантически близких к заданным эталонам в пределах рассматриваемой предметной области.

Ф4. Кластеризация найденных документов с целью упрощения их дальнейшего восприятия и фильтрации аналитиком.

Ф5. Автоматизированная проверка актуальности базы информационных ресурсов с целью реализации задачи непрерывного мониторинга.

При этом набольшую сложность представляют собой следующие взаимосвязанные проблемы:

– предварительная обработка данных и формирование первичной коллекции (Ф1-Ф4);

– автоматизированная проверка актуальности базы информационных ресурсов с целью реализации задачи непрерывного мониторинга (Ф5).

Предлагаемый интеллектуальный сервис поиска и мониторинга информации будет функционировать в пределах специализированной базы данных информационно-аналитического комплекса АРМ Аналитика [7].

Процедура мониторинга, осуществляемая поисковым роботом, приведена на рис. 1. Поисковый робот должен обеспечивать организацию периодического подключение к глобальной сети общего назначения Интернет с целью оценки актуальности документов. Для этого робот должен получить текущую версию документа на веб-ресурсе первоисточника и сравнить её с версией документа, хранящейся в базе данных.

Рис. 1. Процедура мониторинга, осуществляемая поисковым роботом

Общая процедура алгоритмов интеллектуального сервиса можно представить в следующем виде (рис. 2):

Рис. 2. Общая процедура алгоритмов интеллектуального сервиса поиска и мониторинга информации

Проведенный анализ показал, что в настоящее время наиболее высокой интенсивностью исследований обладают методы искусственного интеллекта [8][9].

Проведенный анализ позволил определить основные направления, этапы и задачи мониторинга на которых применение методов искусственного интеллекта наиболее эффективно:

1. Задача кластеризации документов, хранящихся в базе, интеллектуальные технологии могут быть применены для анализа их содержимого, а также формирования взаимосвязей документов стратегического развития по заданному направлению [10].

2. В задачах структурированных данных можно использовать алгоритмы машинного обучения (нейросети). Причем машинное обучение с учителем является более подходящим методом применительно к поставленной задаче, нежели обучение без учителя, так как при проведении стратегического анализа инновационных направлений трудно представить себе достаточно объёмную обучающую выборку, которая смогла бы охватить заранее неизвестные тенденции развития инновационных предприятий.

3. На этапе формирования трендов применение методов искусственного интеллекта (машинного обучения), обеспечит более достоверные результаты, путем недопущения субъективных оценок аналитиков.

Выводы

Разработка специального программного обеспечения на основе предложенного алгоритма может быть использовано при создании интеллектуальных сервисов и существенно повысить релевантность поиска и обработки информации в информационно-аналитическом комплексе стратегического анализа инновационных направлений развития предприятия. Цифровые технологии не только существенно расширят исследуемую выборку, но и значительно сократят время обработки исходных данных, представляя результаты и рекомендации для принятия управленческих решений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Белевцев А.М., Балыбердин В.А., Бендерский Г.П., Белевцев А.А.* Анализ направлений развития нано- и IT-технологий для построения специализированных сетевых коммуникационных систем нового поколения. // Южный федеральный университет «Известия ЮФУ» №,3 Тематический выпуск Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении, 2015 г.
2. *Микова Н.С., Соколова А.В.* Мониторинг глобальных технологических трендов: теоретические основы и лучшие практики // Форсайт. Т. 8. № 4 2014 г.
3. *Анферова М.С., Белевцев А.М.* Анализ направлений создания алгоритмов эффективного поиска информации в сетях общего и специального назначения // Материалы III Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы современной науки и производства» /Рязань: РГРТУ, 2018
4. *Поляков И. В., Соколова Т. В., Чеповский А. А., Чеповский А. М.* Проблема классификации текстов и дифференцирующие признаки // Вестн. Новосиб. гос. ун-та. Серия: Информационные технологии. 2015. Т. 13, вып. 2. С. 55–63.
5. *Белевцев А.М., Дворецкий В.В., Садреев Ф.Г.* Навигация мониторинга как инструмент стратегического анализа // Сборник научных трудов Пятнадцатой Международной научно-практической конференции «Управление качеством», 2016г.
6. *Анферова М.С., Белевцев А.М.* Поисковые роботы для автоматизированного мониторинга информации в сетях общего и специального назначения // 18-я Международная научно-практическая конференция «Управление качеством» 2019г.

7. *Белевцев А.М., Балыбердин В.А., Белевцев А.А., Садреев Ф.Г.* О разработке интеллектуальных сервисов мониторинга технологических трендов в информационно-аналитических комплексах // Наукоемкие технологии №3 2019 г.
8. *Анферова М.С., Белевцев А.М.* Анализ направлений развития технологий мониторинга в условиях большого объёма неструктурированной информации // XXIV Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием имени профессора О.Н. Пьявченко // ”Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении” «КомТех-2020»
9. Эндрю М. Реальная жизнь и искусственный интеллект // «Новости искусственного интеллекта», РАИИ, 2000.
10. *Бериков В. С., Лбов Г. С.* Современные тенденции в кластерном анализе // Всероссийский конкурсный отбор обзорно-аналитических статей по приоритетному направлению «Информационно-телекоммуникационные системы», 2008. — 26 с.

Анферова Маргарита Сергеевна, старший преподаватель, «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4, 125993, телефон: +7 905 522-07-49, e-mail: gludkina@yandex.ru.

Белевцев Андрей Михайлович, доктор технических наук, профессор, «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4, 125993, телефон: +7 903 769-17-88, e-mail: ambelevtsev@yandex.ru.

Anferova Margarita Sergeevna, senior lecturer, Moscow Aviation Institute (National Research University), Russia, Moscow, Volokolamskoe shosse, 4, 125993, phone: +7 905 522-07-49, e-mail: gludkina@yandex.ru.

Belevtsev Andrey Michailovitch, doctor of science, professor, Moscow Aviation Institute (National Research University), Russia, Moscow, Volokolamskoe shosse, 4, 125993, phone: +7 903 769-17-88, e-mail: ambelevtsev@yandex.ru.

Секция – **СОВРЕМЕННЫЕ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ**

УДК 621.396

Науменко Данил Валерьевич

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА

Большинство современных микромеханических гироскопов изготавливаются по объемной технологии микрообработки кремния с высоким аспектным соотношением. Особенностью данной технологии является трапециидальная форма упругих подвесов, обусловленная подтравливанием приборного слоя в процессе глубокого реактивно-ионного травления. При разработке микромеханических гироскопов данную особенность обычно принято считать технологической погрешностью изготовления, так как она изменяет частотные характеристики структуры. Также особенностью трапецевидных подвесов является то, что при раскачке микромеханической структуры происходят колебания в вертикальной плоскости которые являются оной из составляющих шумовой погрешности микрогироскопа, так как изменение емкости происходит даже в неподвижном состоянии прибора.

В данной работе производится оценка шумовой составляющей микромеханического гироскопа вызванной трапециидальными подвесами с помощью экспериментальных исследований на микросистемном анализаторе.

МЭМС, микрогироскоп, конечно-элементный анализ, объемная технология, реактивно-ионное травление.

Naumenko Danil Valerievich

SIMULATION OF THE MICROMECHANICAL GYROSCOPE SENSOR

Most modern micromechanical gyroscopes are manufactured using silicon bulk micromachining technology with a high aspect ratio. A feature of this technology is the trapezoidal shape of elastic suspensions, due to the etching of the device layer in the process of deep reactive-ion etching. When developing micromechanical gyroscopes, this feature is usually considered to be a technological manufacturing error, since it changes the frequency characteristics of the structure. Also, a feature of trapezoidal suspensions is that when the micromechanical structure is swinging, oscillations occur in the vertical plane, which are one of the components of the noise error of the micro-gyroscope, since the change in capacitance occurs even in the stationary state of the device.

This work evaluates the noise component of a micromechanical gyroscope caused by trapezoidal suspensions using experimental studies on a microsystem analyzer

MEMS, microgyroscope, finite element analysis, volumetric technology, reactive ion etching.

Введение

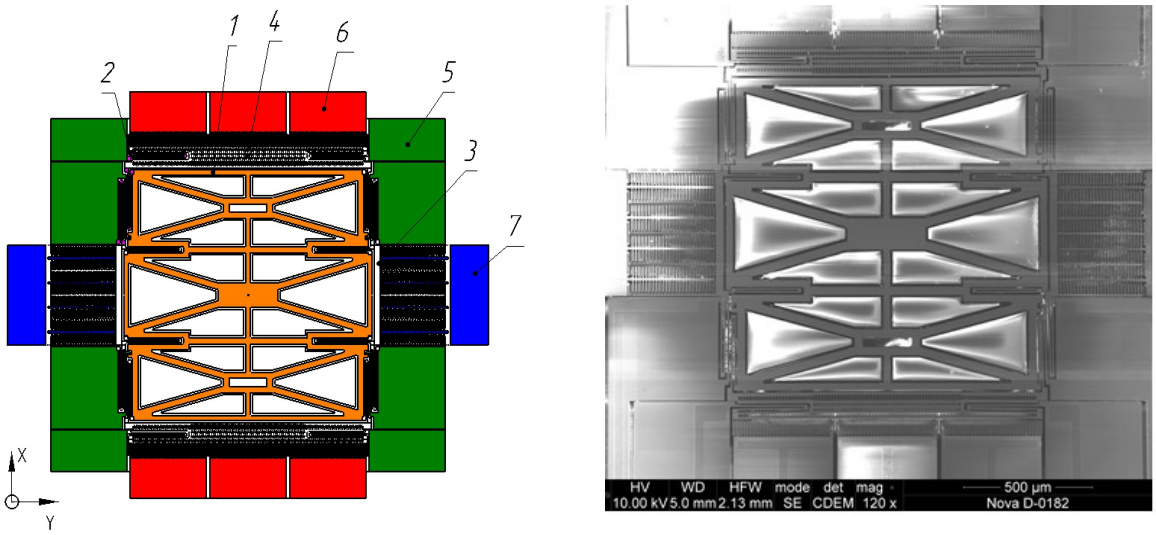
Наиболее динамично развивающимися МЭМС устройствами в настоящее время являются акселерометры и гироскопы [1]. Современные чувствительные элементы микромеханических гироскопов представляют собой, как правило, резонансные механические структуры, выполненные в объеме кремния[2].

МЭМС датчики применяются как в промышленности, так и на транспортных средствах различного базирования (наземного, водного и воздушного). Расширяется круг задач, решаемых такими системами, возрастают требования к ним по расширению диапазона измерения, точности определения параметров, минимизации габаритов и энергопотребления [3].

В частности, одним из способов улучшения точности микромеханических приборов является учет технологических особенностей изготовления и учет технологических шумовых составляющих в информационном сигнале гироскопа.

Описание исследуемого образца

Топология и изображение образца сенсора микромеханического гироскопа LL-типа [4,5] показана на рис. 1. Сенсор изготовлен по технологии КНИ с толщиной приборного слоя 50 мкм и имеет две взаимно перпендикулярные оси X и Y. Подвижная инерционная масса (1) закреплена на упругом подвесе (2) через промежуточные развязывающие рамки (3, 4), обеспечивающие движение по двум осям и которые, в свою очередь, закреплены на анкерных элементах (5). Электростатический вибропривод с изменяемой площадью (6) обеспечивает движение инерционной массы в режиме движения, а емкостной чувствительный элемент с переменным зазором (7) отвечает за информационный сигнал.



а) б)

Рис. 1. Микромеханический гироскоп а) – топология чувствительного элемента; б) – SEM изображение исследуемого образца

Расчетные параметры МЭМС сенсора приведены в табл. 1. Данные характеристики были получены аналитическим способом [6] и проверены моделировании методом конечных элементов [7,8,9].

Таблица 1

Характеристики исследуемого МЭМС образца

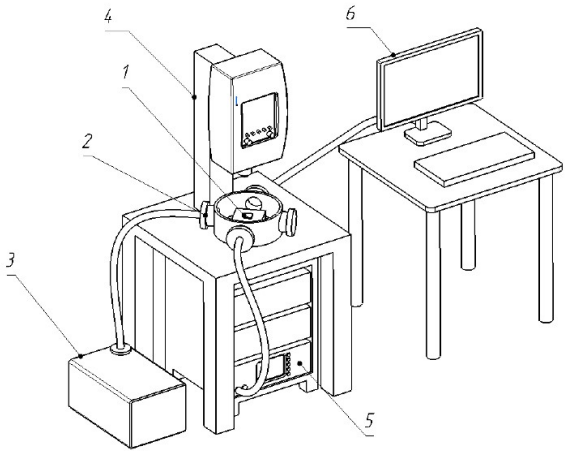
Параметр	Величина
Инерционная масса	$0{,}63 \times 10^{-7}$ кг
Собственная частота по оси X	10300 Гц
Коэффициент жесткости k_y	1.260×10^3 Н/м
Собственная частота по оси Y	10250 Гц
Коэффициент жесткости k_x	1.210×10^3 Н/м
Модуль Юнга	142 ГПа
Ширина упругих подвесов	5 мкм
Толщина приборного слоя	50мкм

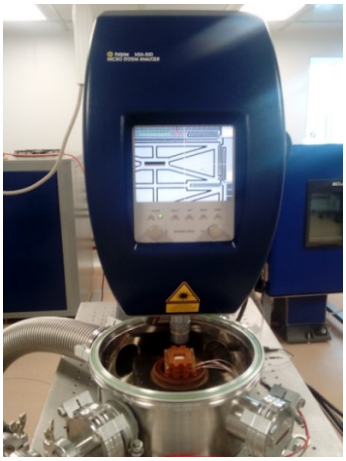
Экспериментальные исследования

При исследовании образцов применялась технология лазерной доплеровской виброметрии с использованием микросистемного анализатора Polytec MSA-500. Схема установки показана на рис. 2 а). Установка датчика MEMS для измерений показана на рис. 2 б).

Образец (1) помещается в вакуумную камеру (2), вакуумный насос (3) регулирует давление. Анализатор микросистем (4) производит измере-

ния в вертикальной плоскости. Генератор (5) обеспечивает резонансное движение инертной массы. Результаты измерений обрабатываются на встроенном ПО [10] (6). Давление в вакуумной камере было равным 2Па, что соответствует требуемому режиму работы микромеханического гироскопа.





а) б)

Рис. 2. Экспериментальная установка а) – схема установки; б) – размещение образца в вакуумной камере

Результаты эксперимента

Результаты эксперимента приведены в табл. 2. Экспериментальная резонансная кривая при давлении в 2.0 Па показана на рис. 3.

Таблица 2

Результаты виброметрических исследований

Параметр	Величина
Начальная частота сканирования	9000 Гц
Конечная частота сканирования	12000 Гц
Минимальное отклонение	0,6 пм
Частота минимального отклонения	9000Гц
Максимальное отклонение	353,7пм
Частота максимального отклонения	10302Гц
Среднеквадратическое отклонение	596,4 пм
Полоса пропускания	20Гц

В результате исследований было определено отклонение равное 353,7пм на частоте равной расчетной резонансной частоте чувствительного элемента по оси X микромеханического гироскопа равной 10302Гц.

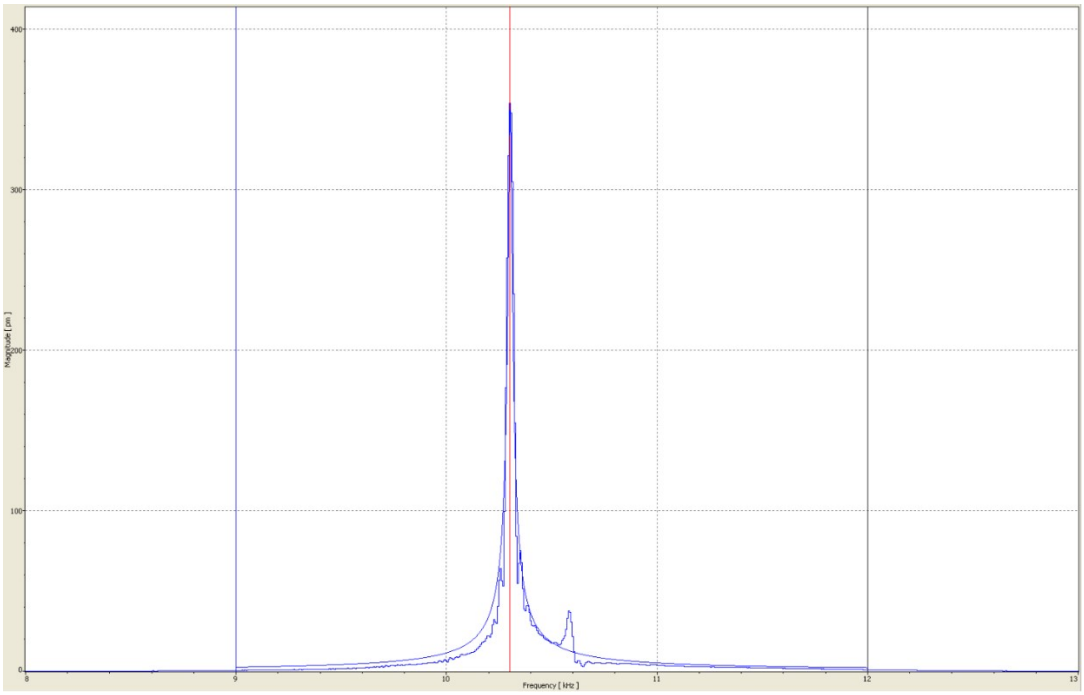


Рис. 3. Экспериментальная резонансная кривая

Среднеквадратическое отклонение подвижной структуры в вертикальной плоскости составило 596,4 пм.

Заключение

В работе представлены результаты экспериментальных исследований отклонения инерционной массы микромеханического гироскопа вне плоскости движения при максимальной амплитуде отклонения инерционной массы.

По результатам экспериментальных исследований видно, что амплитуда вертикальных отклонений достаточно мала и достигает своих значений при максимальной амплитуде резонансных колебаний в горизонтальной плоскости.

При амплитуде колебаний в 5мкм, амплитуда вертикальных колебаний инерционной массы составляет 353,7пм, что на 6 порядков меньше рабочей амплитуды движения инерционной массы.

При разработке математической модели и системы обработки первичной сенсорной информации микромеханических чувствительных элементов внесение поправочных коэффициентов вызванных вертикальным движением инерционной массы можно считать не целесообразным.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Барбин Е.С., Баранов П.Ф, Коледа А.Н., Нестеренко Т.Г., Пересветов М.В.* Моделирование конструкционных и динамических характеристик двухкомпонентного микромеханического гироскопа Вестник науки Сибири. — 2013. — № 1 (7). — [С. 96-105]
2. *Ishihara K, Yung CF, Ayon A.A, Schmidt M.A.* An inertial sensor technology using DRIE and wafer Bonding with interconnecting capability. Journal of Microelectromechanical Systems 1999; 8(4): 403-408. DOI: 10.1109/84.809054.
3. *Тимошенков С.П., Кульчицкий А.П.* Применение МЭМС-сенсоров в системах навигации и ориентации подвижных объектов // Нано - и микросистемная техника. 2012. №6. С. 51 – 56.
4. *Евстифеев М.И.* Классификационные признаки конструкций микромеханических гироскопов // Гироскопия и навигация. 2004. Т. 46, № 3. С. 30–37.
5. *Лысенко И.Е.* Проектирование сенсорных и актюаторных элементов микросистемной техники. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005. 103 с.
6. *Распопов В.Я.* Микромеханические приборы.Учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп.Тул. гос. университет, Московский гос. технологический университет им. К.Э. Циолковского. Тула: Гриф и К., 2004. 476 с.
7. *Бруяка В.А., Фокин В.Г., Кураева Я.В.* Инженерный анализ в Ansys Workbench: учеб. пособ. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2013. – 149 с.
8. *Леонтьев Н.В.* Применение системы ANSYS к решению задач модального и гармонического анализа. Нижний Новгород, 2006, 101 с.
9. *Лысенко И. Е., Науменко Д. В.* Расчет амплитудно-частотных характеристик чувствительного элемента микромеханического гироскопа с с помощью конечно-элементного моделирования // Известия ЮФУ. Технические науки. 2019. №3 (205).
10. Polytec GmbH (Hrsg.): Software Handbuch Planar Motion Analyzer. Waldbronn: Polytec GmbH, 2008.

Науменко Данил Валерьевич, кафедра конструирования электронных средств; аспирант, e-mail: danil.naumenko@gmail.com; тел.: +79508536853.

Naumenko Danil Valerievich, the department of electronic apparatuses design; graduate student, mail: danil.naumenko@gmail.com; тел.: +79508536853.

УДК 621.396

Гелдаш Андрей Александрович

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ БЫСТРОГО ТЕРМИЧЕСКОГО ОТЖИГА НА ПАРАМЕТРЫ ПЛЁНОК ZNO:GA, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

Целью данной работы является исследование влияния режимов быстрого термического отжига (БТО) нанокристаллических пленок ZnO:Ga с толщиной 150-400 нм, полученных методом магнетронного распыления на постоянном токе, на их электрофизические параметры. Главной задачей работы являлось исследование влияния температуры БТО на изменение электрофизических параметров тонких пленок ZnO:Ga – удельного сопротивления, подвижности и концентрации носителей заряда, а также сравнение характера их изменения с параметрами, полученными при длительным отжиге. Второстепенной задачей работы было получение образцов с тонкими проводящими пленками ZnO:Ga при различных температурах отжига, с целью исследования их оптических свойств, так как такие пленки могут быть использованы в качестве контактных слоев к наноструктурам фотоэлектрических преобразователей. В результате исследования было выявлено, что при увеличении температуры БТО с 400 до 800 ºС, их удельное сопротивление в среднем возрастало с $4{,}56\cdot10^{-3}$ до $1{,}8\cdot10^{-2}$ Ом·см и подвижность носителей заряда с 5,81 до 13,09 см^2/(В·с), при этом концентрация уменьшалась с $7\cdot10^{19}$ до $9{,}9\cdot10^{18}$ см$^{-3}$.

Быстрый термический отжиг (БТО), магнетронное распыление, тонкие пленки ZnO:Ga, контактные слои, электрофизические параметры, удельное сопротивление, подвижность носителей заряда, концентрация носителей заряда.

Geldash Andrei Aleksandrovich

INFLUENCE OF RAPID THERMAL ANNEALING MODES ON THE PARAMETERS OF ZNO:GA FILMS OBTAINED BY MAGNETRON SPUTTERING

The aim of this work is to study the effect of rapid thermal annealing (RTA) modes of ZnO:Ga nanocrystalline films with a thickness of 150-400 nm, obtained by direct current magnetron sputtering, on their electrophysical parameters. The main task of the study was to study the influence of the RTA temperature on the change in the electrophysical parameters of ZnO:Ga thin films – resistivity, mobility and

concentration of charge carriers, as well as to compare the nature of their changes with the parameters obtained during long-term annealing. A secondary task of the work was to obtain samples with thin conducting ZnO:Ga films at different annealing temperatures, in order to study their optical properties, since such films can be used as contact layers to the nanostructures of photovoltaic converters. As a result of the study, it was revealed that with an increase in the temperature of RTA from 400 to 800 °C, their resistivity increased on average from $4.56 \cdot 10^{-3}$ to $1.8 \cdot 10^{-2}$ Ω·cm, and the mobility of charge carriers from 5.81 to 13.09 $cm^2/(V \cdot s)$, while the concentration decreased from $7 \cdot 10^{19}$ to $9.9 \cdot 10^{18}$ cm^{-3}.

Rapid thermal annealing (RTA), magnetron sputtering, ZnO:Ga thin films, contact layers, electrophysical parameters, resistivity, mobility of charge carriers, concentration of charge carriers.

Введение

В настоящее время актуальной задачей в области разработки материалов для структур фоточувствительных элементов является не только поиск, исследование и модификация материалов, участвующих в преобразовании световой энергии в фототок, но и материалов выполняющих роль верхних и нижних контактных слоев к наноструктурам фотоэлектрических преобразователей [1]. Эти слои должны обладать хорошими оптическими свойствами, электрофизическими параметрами и иметь подходящую под структуру фоточувствительного преобразователя морфологию [2]. Одним из материалов, образующих эти слои, является проводящий оксид индия-олова (ITO) [3,4]. Но из-за его высокой стоимости остро стоит проблема в поиске альтернативных материалов, которые должны быть недорогими и иметь сопоставимые или лучшие электрические и оптические характеристики. Поэтому все больше внимания направлено на исследования методов формирования и пост-обработки альтернативных материалов – проводящих пленок оксидов [5,6].

В качестве альтернативы ITO выбран оксид цинка, легированный галлием (ZnO:Ga). Этот материал выбран в качестве контактных слоев из-за своих хороших электрофизических и оптических характеристик, а также стойкости его к окислению, которой он может быть подвергнут в процессе формирования структур фотоэлектрических преобразователей [7,8]. Одним из методов модификации проводящих оксидов, вносящих в их параметры наиболее значимые изменения, является быстрый термический отжиг (БТО). Поэтому целью данной работы является исследование влияние

режимов БТО на электрофизические параметры нанокристаллических пленок ZnO:Ga, сформированных методом магнетронного распыления на постоянном токе [9,10,11].

Эксперимент

Экспериментальные исследования по выявлению влияния режимов БТО на параметры тонких пленок ZnO:Ga начинались с подготовки подложек, в роли которых выступали подложки ситалла размерами 10x10 мм и толщиной 0,6 мм. Полученные подложки были подвергнуты химической очистке. Формирование тонких пленок ZnO:Ga осуществлялось методом магнетронного распыления на постоянном токе, с использованием установки распыления Auto-500 (Boc Edwards). Источником испаряемого материала была мишень ZnO:Ga (GIRMET Ltd.). Так были получены образцы с пленками ZnO:Ga с толщиной 150, 200, 250, 300, 350 и 400 нм. Режим формирования пленок был подобран заранее [11], и характеризовался оптимальными параметрами распыления, которые наиболее положительно сказываются на улучшении их электрофизических параметров. Толщина пленок на этапе их формирования контролировалась кварцевым толщиномером установки Auto-500 и временем распыления мишени. Модификация полученных образцов с пленками ZnO:Ga осуществлялась методом БТО с помощью установки быстрого термического отжига STE RTA70H. Режимы БТО характеризовались изменяемыми и фиксированными технологическими параметрами. Фиксированными параметрами были время БТО (1 мин.), давление в камере (250 Па) и состав ее атмосферы, а также мощность нагревателя. Изменяемыми параметрами были температура БТО (400-800 ºС), время нагрева до температуры отжига и время охлаждения. Время нагрева и время охлаждения не являются определяющими параметрами БТО, а являются следствием изменения температуры отжига.

В результате БТО были получены образцы с тонкими пленками ZnO:Ga толщиной (150-400 нм), и температурой отжига (400-800 °С). Стоит отметить, что мощность нагревателя была установлена на значение близкое к максимальному, чтобы обеспечить минимальный интервал времени нагрева до нужной температуры БТО. Из-за этого верхние точки температур отжига (заданные точки) были достигнуты с погрешностью + 40-60 °С, что не сильно сказалось на свойствах пленок ZnO:Ga.

Результаты и обсуждения

Исследование образцов с пленками ZnO:Ga начиналось с исследования морфологии поверхности после формирования их методом магнетронного распыления. Исследование морфологии осуществлялось методами атомно-силовой микроскопии, с помощью зондовой нанолаборатории Ntegra (ЗАО НТ-МДТ, Россия), а также растровой электронной микроскопии, с помощью растрового электронного микроскопа Nova Nanolab 600 (FEI.Co, Нидерланды). В результате исследования было выявлено, что морфология поверхности пленок характеризуется шероховатостью поверхности 30-50 нм, при увеличении толщины пленок с 150 до 400 нм. В результате исследования скола образца методом РЭМ было выявлено, что пленка состоит из отдельных столбчатых кристаллитов, объединенных между собой, образуя сплошную пленку на поверхности с зернами, являющимися вершинами этих кристаллитов. Их размеры также растут пропорционально увеличению толщины пленки, вследствие более длительного времени распыления материала мишени. Далее образцы с пленками ZnO:Ga исследовались уже после процесса БТО. В результате исследования электрофизических параметров пленок методом ЭДС Холла, с помощью установки Ecopia HMS-300 (Ecopia Co., Корея) выявлено, что при увеличении температуры отжига с 400 до 700 °С их удельное сопротивления увеличивается с $4{,}56\cdot10^{-3}$ Ом·см до $1{,}8\cdot10^{-2}$ Ом·см, однако при 800 °С оно стало уменьшаться и составило $9\cdot10^{-3}$ Ом·см. Подвижность носителей заряда также увеличивалась с 5,81 до 13,09 см^2/(В·с), а концентрация уменьшалась с $7\cdot10^{19}$ до $9{,}9\cdot10^{18}$ см$^{-3}$.

Образцы с такими же параметрами пленок были подвергнуты отжигу в установке импульсного лазерного осаждения. Этот эксперимент был направлен на сравнительное исследование длительного отжига пленок при температуре 600 °С и времени - 145 мин с БТО, а также моделирование процесса последующих экспериментов по формированию вышележащих слоев на пленках ZnO:Ga, с целью установления электрофизических параметров пленок непосредственно перед нанесением верхних слоев. Выявлено, что удельное сопротивление увеличивается с $4{,}56\cdot10^{-3}$ Ом·см до $5{,}2\cdot10^{-2}$ Ом·см, а подвижность носителей заряда уменьшается с 5,81 до 5,46 см^2/(В·с) и концентрация носителей заряда с $7\cdot10^{19}$ до $1{,}8\cdot10^{19}$ см$^{-3}$.

По результатам исследования установлено, что пленки ZnO:Ga, сформированные методом магнетронного распыления, дают нам

омические вольт-амперные характеристики и наименьшее значение удельного сопротивления (порядка $2 \cdot 10^{-3}$ Ом·см). После БТО до 700 °С удельное сопротивление возрастало, однако при 800 °С оно уже уменьшалось до значений, характерным при БТО с температурами 400-600 °С. Недостатком в экспериментальной части исследования, по результатам полученных электрофизических параметров пленок ZnO:Ga, является наивысшая температура БТО – 800 °С, в то время как максимально возможная температура установки БТО 1100-1200 °С, при такой же длительности. Стоит отметить, что эксперимент с отжигом пленок в модуле импульсного лазерного осаждения при 600 °С, дал нам такой же характер изменения удельного сопротивления, что исключает положительное влияние времени отжига на электрофизические параметры этих пленок. В данном случае важную роль здесь играет температура отжига. Однако, данное заключение относится только к электрофизическим параметрам. Так как эти пленки могут применятся как прозрачные проводящие слои (электроды), то влияние температуры и длительности БТО может сказываться по-другому на их оптические свойства (коэффициент преломления, длины пропускания волн светового излучения и т.д.).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-37-90139. Результаты были получены с использованием инфраструктуры Научно-образовательного центра «Нанотехнологии» Южного федерального университета.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Saive R., Borsuk A. M., Emmer H. S., Bukowsky C. R., Lloyd J. V., Yalamanchili S. and Atwater H. A.* // Effectively transparent front contacts for optoelectronic devices // Advanced Optical Materials / 4(10), 1470-1474, 2016.
2. *Агеев О.А., Коноплев Б.Г. ред. и др.* // Нанотехнологии в микроэлектронике // М. Наука, 177-192, 2019.
3. *Meyer F, Savoy A, Juan J et al.* // Optimization of front SiNx/ITO stacks for high-efficiency two-side contacted c-Si solar cells with co-annealed front and rear pas-sivating contacts // Solar Energy Materials and Solar Cells / 110815, 219, 2021.
4. *Minami T.* // Present status of transparent conducting oxide thin-film development for Indium-Tin-Oxide (ITO) substitutes // Thin Solid Films / 516(17), 5822-5828, 2008.

5. *Asvarov A. Sh., Abduev A. Kh., Akhmedov A. K.* // ZnO-Based transparent electrodes: Optimization of composition and synthesis conditions, study of properties // Bulletin of the Lebedev Physics Institute / 37, 18 (2010).
6. *Khranovskyy V., Grossnerb U., Lazorenko V., Lashkarev G., Svenssonb B.G., Yakimova R.* // Conductivity increase of ZnO:Ga films by rapid thermal annealing // Superlattices and Microstructures / 42, 379-386, 2007.
7. *Xuhu Yu, Jin MaT, Feng Ji, Yuheng Wang, Xijian Zhang, Honglei Ma* // Influence of annealing on the properties of ZnO:Ga films prepared by radio frequency magnetron sputtering // Thin Solid Films / 483, 296-300 2005.
8. *Mondal P., Das D.* // Further improvements in conducting and transparent properties of ZnO: Ga films with perpetual c-axis orientation: materials optimization and application in silicon solar cells // Applied Surface Science / 411, 315-320, 2017.
9. *Kelly P.J., Arnell R.D.* // Magnetron sputtering: a review of recent developments and applications // Vacuum / 56, 159-172, 2000.
10. *Ellmer K.* // Magnetron sputtering of transparent conductive zinc oxide: relation between the sputtering parameters and the electronic properties // J. Appl. Phys. / 33, 17, 2000.
11. *Geldash A. A., Levenets L. E., Gusev E. Yu., Dzhuplin V.N., Ageev O. A.* // Study of the modes of forming ZnO:Ga nanocrystalline films by magnetron sputtering // Izvestiya SFedU / 2(2020), 228-237, 2020.

Гелдаш Андрей Александрович, аспирант ИРТСУ ЮФУ, младший научный сотрудник НОЦ «Нанотехнологии» Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Шевченко 2, корп. “Е”, 347900, телефон: +7 (8634) 371-767, email: ageldash@sfedu.ru.

Geldash Andrey Alexandrovich, graduate student of IRESC SFedU, junior researcher of SEC "Nanotechnology", Southern Federal University, 347900, телефон: +7 (8634) 371-767, email: ageldash@sfedu.ru.

УДК 621.3.049.7

Малохатко Софья Владимировна, Бакшевников Даниил Антонович

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРА КОН НА ПРОЦЕСС АНИЗОТРОПНОГО ЖИДКОСТНОГО ТРАВЛЕНИЯ КРЕМНИЯ

Для изготовления кремниевых структур используют методы микрообработки. К ним относится жидкостное травление. Для формирования структур, важными параметрами которых являются точные размеры и их воспроизводимость, традиционно используют анизотропное жидкостное травление. В качестве травителя в большинстве случаев используют водный раствор КОН. При выборе оптимальной концентрации и температурного режима возможно получить однородную гладкую поверхность при высокой скорости травления.

В работе проведено экспериментальное исследование морфологии кремниевых структур, полученных методом анизотропного жидкостного травления в растворах КОН (20% и 30%) при различных температурах (60-80 °С) и, соответственно, скоростях травления. Экспериментально установлено, что скорость травления в 30% КОН при температуре 60 °С составила 0,7±0,08 мкм/мин; при 70 °С – 1,5±0,1 мкм/мин; при 80 °С – 2,4±0,1 мкм/мин. Скорость травления в растворе 20% КОН при температуре 60°С составила 0,67±0,04 мкм/мин; при 70 °С – 1,4±0,1 мкм/мин; при 80 °С – 2,0±0,1 мкм/мин. Установлено, что более однородная поверхность с минимальным количеством дефектов получается при травлении в растворе КОН 30% при температуре 80 °С.

Объемная микрообработка, анизотропное жидкостное травление, кремний, гидроксид калия, концентрация, температура.

Malokhatko Sofya Vladimirovna, Bakshevnikov Daniil Antonovich

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF THE TEMPERATURE AND CONCENTRATION OF KOH SOLUTION ON THE PROCESS OF ANISOTROPIC WET ETCHING OF SILICON

For the manufacture of silicon structures micromachined methods are used. These include wet etching. Anisotropic wet etching is traditionally used to form structures where precise dimensions and reproducibility are important parameters. In most cases, an aqueous solution of KOH is used as an etchant. When choosing the

optimal concentration and temperature conditions, it is possible to obtain a uniform smooth surface at a high etching rate.

The paper presents an experimental study of the morphology of silicon structures obtained by anisotropic wet etching in KOH solutions (20%, 30%) at various temperatures (60-80°C).C) and the corresponding etching rates. It was experimentally established that the etching rate in 30% KOH at a temperature of 60°C was 0.7±0.08 μm/min; 70°C – 1.5±0.1 μm/min; 80°C – 2.4±0.1 μm/min. The etching rate in a solution of 20% KOH at a temperature of 60°C was 0.56±0.04 μm/min; 70°C – 1.4±0.1 μm/min; 80°C – 2.0±0.1 μm/min. It was found that a more uniform surface with a minimum number of defects is obtained by etching in a solution of 30% KOH at a temperature of 80°C.

Bulk micromachining, anisotropic wet etching, silicon, potassium hydroxide, concentration, temperature.

Введение

Для изготовления кремниевых структур методом объемной микрообработки применяют технологии изотропного и анизотропного травления [1,2]. При изотропном жидкостном травлении структура травится с одинаковой скоростью во всех направлениях, таким образом происходит подтрав под защитную пленку, в связи с чем не всегда возможно получить точные размеры [3]. При анизотропном травлении структура травится по различным кристаллографическим направлениям с различной скоростью, что позволяет получить точные геометрические параметры и обеспечить их воспроизводимость [4]. Таким образом, анизотропное жидкостное травление предпочтительнее для изготовления структур с точными размерами. В качестве травителей в такой технологии используются водные растворы гидроксида калия (КОН) [5], гидроксида натрия (NaO) [6], этилдиамина ($H_2NCH_2CH_2NH_2$) [7], гидроксида тетраметиламмония ($(CH_3)_4NOH$) [8]. Чаще всего применяют щелочные растворы, так как они менее токсичные. Одним из таких является КОН. В зависимости от температуры и концентрации раствора меняется скорость травления и морфология поверхности травления [9].

Цель работы заключается в исследовании влияния температуры и концентрации раствора КОН на процесс анизотропного жидкостного травления монокристаллического кремния.

Методы исследования

В качестве подложек использовались полированные с двух сторон кремниевые пластины КЭФ 4,5 (100) толщиной 320 мкм. Методом плазмохимического осаждения из газовой фазы на обе стороны подложек нанесены пленки SiO_x толщиной 2 мкм [10]. После получения пленок проводили фотолитографию и затем в оксидных пленках жидкостным травлением в растворе NH_4F:HF(6:1) были вскрыты «окна» для дальнейшего травления кремниевой структуры. Далее образцы травили в растворах КОН (20% и 30%) при температурах 60 °С, 70 °С и 80 °С на глубину 270 мкм.

Морфологию поверхности и глубину протрава определяли методами стилусной профилометрии и оптической микроскопии.

Результаты исследования и их обсуждение

Получены скорости травления кремния в зависимости от концентрации и температуры. Скорость травления в растворе КОН 30% при температуре 60 °С составила 0,7±0,08 мкм/мин; при 70 °С – 1,5±0,1 мкм/мин; при 80 °С – 2,4±0,1 мкм/мин. Скорость травления в растворе КОН 20% при температуре 60 °С составила 0,67±0,04 мкм/мин; при 70 °С – 1,4±0,1 мкм/мин; при 80 °С – 2,0±0,1 мкм/мин. Установлено, что более однородная поверхность с минимальным количеством дефектов получается при травлении в растворе КОН 30% при температуре 80 °С. Более шероховатая поверхность получается при травлении в растворе КОН 20% при температуре 60 °С. Таким образом, для изготовления кремниевых структур, где критичным является шероховатость поверхности, предпочтительней использовать раствор КОН 30%.

Заключение

В работе получены кремниевые структуры методом анизотропного жидкостного травления в растворах КОН (20% и 30%) при различных температурах (60-80 °С). Определены скорости травления в растворе КОН 30%, которые при температуре 60 °С составили 0,7±0,08 мкм/мин, при 70 °С – 1,5±0,1 мкм/мин, при 80 °С – 2,4±0,1 мкм/мин. Скорости травления в растворе КОН 20% при температуре составили 60 °С 0,67±0,04 мкм/мин, при 70 °С – 1,4±0,1 мкм/мин, при 80 °С – 2,0±0,1 мкм/мин. Подтверждено, что более гладкая поверхность с минимальным количеством дефектом получается при травлении в 30%-ном растворе КОН при температуре 80 °С. В дальнейшем планируются исследования по изучению влияния концентраций раствора КОН 10% и 40%.

Результаты исследования могут быть полезны при разработке технологических процессов изготовления кремниевых структур, предполагающих использование KOH качестве травителя.

Результаты получены при финансовой поддержке задания № FENW-2020-0022 с использованием оборудования Научно-образовательного центра «Нанотехнологии» Южного федерального университета.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нанотехнологии в микроэлектронике / Под ред. О.А. Агеева, Б.Г. Коноплёва. – Москва: Наука, 2019. – С. 511.
2. *Pal P., Sato K.* Complex three dimensional structures in Si {100} using wet bulk micromachining // Micromechanics and Microengineering – 2009. – V. 19(10). – 105008.
3. *Negi S., Bhandari R.* Silicon isotropic and anisotropic etching for MEMS applications // Microsystem Technologies. – 2013. – Vol. 19(2). – P. 203–210
4. *Franssila Sami*. Anisotropic Wet Etching // Introduction to Microfabrication. – 2010. – P. 237-254.
5. *Lu H., Zhang H., Jin M. [et al.]*. Two-Layer Microstructures Fabricated by One-Step Anisotropic Wet Etching of Si in KOH Solution // Micromachines. – 2016 – V. 7(2). – 19
6. *Jing D., Shi-Hua H.* Low-reflective surface texturing for large area multicrystalline silicon using NaOH-NaClO solution // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. – 2014. – Vol. 50(1). – P. 28–32.
7. *Dutta S., Imran M., Kumar P. [et al.]*. Comparison of etch characteristics of KOH, TMAH and EDP for bulk micromachining of silicon (110) // Microsystem Technologies. – 2011. – V. 17(10–11). – P. 1621–1628.
8. *Shikida M., Sato K., Tokoro K., Uchikawa D*. Differences in anisotropic etching properties of KOH and TMAH solutions // Sensors and Actuators A: Physical. – 2000 – V. 80. № 2. – P. 179-188.
9. *Narasimha Rao A. V., Swarnalatha V., Pal P.* Etching characteristics of Si {110} in 20% KOH with addition of hydroxylamine for the fabrication of bulk micromachined MEMS /// Micro and Nano Systems Letters. – 2017. – V. 5. № 23. – P. 1-9
10. *Малохатко С.В., Гусев Е. Ю.* Исследование маскирующих свойств пленок оксида кремния для создания кремниевых мембран методом жидкостного травления // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2020. – № 6. – С. 196-203

Малохатко Софья Владимировна – аспирант; Южный Федеральный Университет, кафедра нанотехнологий и микросистемной техники; 347928, г. Таганрог, ул. Шевченко, 2, корп. Е; тел.: +79289003841; e-mail: malohatko@sfedu.ru.

Бакшевников Даниил Антонович – студент; Южный Федеральный Университет, кафедра нанотехнологий и микросистемной техники; 347928, г. Таганрог, ул. Шевченко, 2, корп. Е; e-mail: bakshevnikov@sfedu.ru.

Malokhatko Sofya Vladimirovna – postgraduate;Southern Federal University; the department of nanotechnology and microsystems technology; 2, Shevchenko street, build E, Taganrog, 347928, Russia; phone: +79289003841; e -mail: malohatko@sfedu.ru.

Bakshevnikov Daniil Antonovich – student; Southern Federal University; the department of nanotechnology and microsystems technology; 2, Shevchenko street, build E, Taganrog, 347928, Russia; e -mail: bakshevnikov@sfedu.ru.

УДК 621.3.049.7

Сарыев Артур Владимирович, Гусев Евгений Юрьевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАПАЗОНОВ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МАЛОИНВАЗИВНОГО КРЕМНИЕВОГО МИКРОЗОНДА

Микрозонды стали важным инструментом исследования мозговой активности. Исследования и разработки в области инвазивных нейроинтерфейсов направленны на снижение характерного повреждения нервной ткани за счет уменьшения диаметра имплантируемых зондов менее 100 мкм. Подобные структуры изготавливают методами микрообработки, в частности различными видами анизотропного травления. При этом на размеры и форму зонда оказывают влияние условия травления. Последние должны учитываться на этапе проектирования конструкции зонда.

В работе проведена оценка диапазонов геометрических параметров кремниевого микрозонда с учетом условий травления и количества электродов. Аналитические расчеты проводили для структуры зонда, представленной четырьмя областями различной ширины, несущих до семи электродов. Получены соответствующие зависимости, установлены допустимые диапазоны разме-

ров. Выполнена оценка величины коррекции размера маски, отражающая влияния условий травления на геометрию зонда.

Многоэлектродный микрозонд, анизотропное жидкостное травление, кремний.

Saryev Artur Vladimirovich, Gusev Evgeny Yuryevich

RESEARCH OF GEOMETRIC PARAMETER RANGES OF MINIMALLY INVASIVE SILICON MICROPROBE

Microprobes have become an important tool in the study of brain activity. Research and development in the field of invasive neurointerfaces is aimed at reducing the characteristic damage to the nervous tissue by reducing the diameter of the implanted probes to less than 100 μm. Such structures are produced by micromachining, in particular, by types of anisotropic etching. In this case, the size and shape of the probe are influenced by the etching conditions. The latter should be taken into account at the designing of the probe. The paper evaluates the ranges of the geometric parameters of a silicon microprobe taking into account the etching conditions and the number of electrodes. Analytical calculations were carried out for the structure of the probe, represented by four regions of different widths, carrying up to seven electrodes. Corresponding dependencies are received, admissible ranges of sizes are established. The correction value of the mask size is estimated, reflecting the effect of etching conditions on the probe geometry.

Multielectrode microprobe, anisotropic liquid etching, silicon.

Введение

Нейроинтерфейс – система обмена информации между компьютером и мозгом человека [1]. В зависимости от типа устройства данная технология может быть однонаправленной и двунаправленной [2]. Первый тип позволяет либо считывать сигналы от мозга, либо посылать их. Второй может одновременно посылать и принимать сигналы мозга.

В зависимости от воздействия нейроинтерфейсов на мозг их разделяют на три группы: неинвазивные (взаимодействующие только с поверхностью тела) [3], полуинвазивные (взаимодействующие с открытой поверхностью мозга) [4], инвазивные (взаимодействующие непосредственно с корой головного мозга) [5]. Неинвазивные нейроинтерфейсы значительно безопаснее, но им характерна малая пропускная способность сигнала из-за чего повышается вероятность возникновения множественных шумов. Ин-

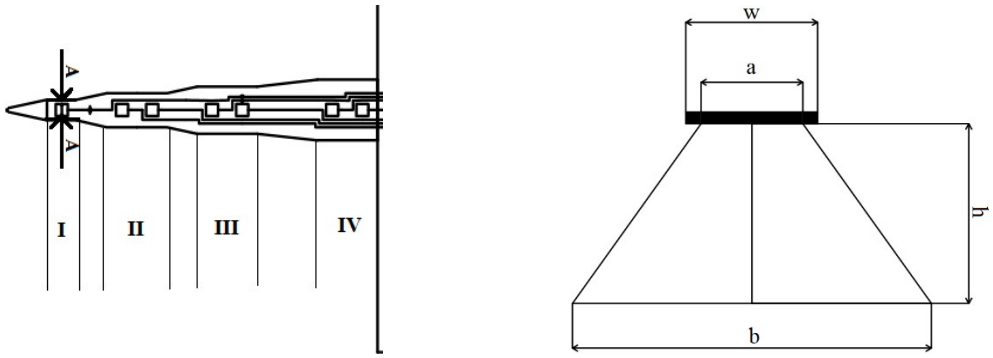
вазивные, напротив, благодаря контакту с нейронами позволяют передавать сигналы без помех с высоким разрешением. Существенно снизить степень повреждения тканей позволяет использование миниатюрных зондов с размерами поперечного сечения менее 100 мкм [1-3].

Разработано множество методов микрообработки, обеспечивающих изготовление микрозондов с такими размерами [6,7]. Одним из них является анизотропное жидкостное травление, которое отличается высокой скоростью, точностью, а также высокой воспроизводимостью [6]. В случае кремниевого микрозонда в качестве травителя обычно используют KOH [8,9]. При этом на размеры и геометрию микрозонда оказывают влияние условия анизотропного травления, такие как концентрация и температура раствора [10, 11]. Последние должны учитываться на этапе проектирования зонда и разработки комплекта фотошаблонов.

Цель работы заключается в установлении диапазонов геометрических параметров кремниевого микрозонда с размером поперечного сечения менее 100 мкм с учетом условий анизотропного жидкостного травления и количества электродов.

Модель и методика исследования

Геометрическая форма кремниевого микрозонда определяется природой и условиями проведения анизотпромного жидкостного травления. В качестве материалов зонда и маскирующего покрытия (маски) рассматривали КЭФ (100) 4,5 и оксид кремния, соответственно. В результате анизотропного травления структура зонда приобретает вид, показанный на рисунке. Поперечное сечение зонда представляет трапецию с основаниями *a* и *b*, высотой *h* с углом α между гранями.



Верхнее основание представляет исходную лицевую поверхность подложки кремния с электродами, закрытыми от травления маскирующим покрытием. Положение нижнего основания определяется скоростью и дли-

тельностью процесса травления с тыльной стороны подложки. Легко видеть, что размеры трапециевидного зонда связаны следующим соотношением:

$$b = a + 2h \cdot (\tan\alpha)^{-1}, \qquad (1)$$

где α – угол между гранями (100) и (111). Можно показать, что α = 54,74° [9].

Минимальное значение *a* зависит от количества электродов, ширины проводящей дорожки, расстояния между дорожками и отступа от края. Фактическое значение а определяется размерами элементов топологического рисунка маски *w*, а также величиной подтрава под маску (*w*-*a*)/2 (см. рисунок).

Учитывая, что конструктивная толщина зонда, обеспечивающая его прочностные характеристики, не может быть меньше 30 мкм [12], а поперечный размер зонда не должен превышать 100 мкм интерес представляет определение допустимых диапазонов геометрических параметров зонда в зависимости от экспериментальных условий анизотропного жидкостного травления. Значения скорости травления по направлениям [100] и [111] и др. брали из [6-11].

Расчеты проводили для структуры зонда, представленной четырьмя областями различной ширины ($a_1<a_2<a_3<a_4$). В первой области, т.е. области острия, располагается один электрод, в остальных – по два.

Результаты

Определены минимальные значения а, равные 17, 28, 39 и 50 мкм для областей I-IV, соответственно. По результатам расчетов построены зависимости *b*(*h*), *w*(*h*) при фиксированных значениях *a*, *b*(*a*), *w*(*a*) для ряда *h*, а также зависимость размера маски от условий травления.

Анализ полученных зависимостей позволил определить диапазоны геометрических размеров четырехуровневого зонда (*a*, *b*, *h*), размеров маски *w*, подходящие для расположения до семи электродов.

Установлено, что для зонда с одним электродом диапазон допустимых значений толщины балки составляет от 30 до 58 мкм. При этом минимальная ширина верхнего основания, необходимая для расположения одного электрода равна 17 мкм. Очевидно, что по мере увеличения количества электродов на зонде, возрастает ширина верхнего основания, и соответственно, ширина нижнего основания зонда. Показано, что количество электродов, которые можно разместить на зонде, будет зависеть и от его

толщины. Проведённый расчёт позволил определить диапазон допустимых толщин зондов с 3-7 электродами. Для зонда с тремя электродами максимально допустимая толщина составляет 51 мкм, с пятью электродами – 43 мкм, а для случая зонда с 7 электродами – 35 мкм.

Заключение

В работе установлены диапазоны геометрических параметров четырехуровневого кремниевого микрозонда размерами не более 100 мкм с учетом условий анизотропного жидкостного травления и количества электродов (до семи). Получены соответствующие зависимости. Выполнена оценка величины коррекции размера маски, отражающая влияния условий травления на размеры зонда.

Результаты исследования могут быть полезны при разработке конструкций многоэлектродных кремниевых микрозондов, изготавливаемых методом жидкостного анизотропного травления.

Результаты получены с использованием инфраструктуры Научно-образовательного центра «Нанотехнологии» Южного федерального университета.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Rivnay J., Wang H., Fenno, L. [et al.]*. Next-generation probes, particles, and proteins for neural interfacing // Science Advances. – 2017. – V. 3(6). –e1601649.
2. *Obidin N., Tasnim F., Dagdeviren C.* The Future of Neuroimplantable Devices: A Materials Science and Regulatory Perspective // Advanced Materials. – 2019. – Vol. 32(15). – 1901482.
3. *Szostak K.M., Grand L., Constandinou T.G.* Neural Interfaces for Intracortical Recording: Requirements, Fabrication Methods, and Characteristics // Frontiers in Neuroscience. – 2017. – V.11. – 665.
4. *Leuthardt E.C., Schalk G., Wolpaw J.R. [et al.].* A brain-computer interface using electrocorticographic signals in humans // J. Neural Eng. – 2004 – V. 1 – P. 63-71.
5. *Normann R.A., Fernandez E.* Clinical applications of penetrating neural interfaces and Utah Electrode Array technologies // Journal of Neural Engineering. – 2016. – V. 13(6). – 061003.
6. *Negi S., Bhandari R.* Silicon isotropic and anisotropic etching for MEMS applications // Microsystem Technologies. – 2013. – Vol. 19(2). – P. 203-210.
7. Нанотехнологии в микроэлектронике / Под ред. О.А. Агеева, Б.Г. Коноплёва. – Москва: Наука, 2019. – С. 511.

8. *Shikida M., Sato K., Tokoro K., Uchikawa D.* Differences in anisotropic etching properties of KOH and TMAH solutions // Sensors and Actuators A: Physical. – 2000 – V. 80. № 2. – P. 179-188.
9. *Zubel I.* Anisotropic etching of Si // Journal of Micromechanics and Microengineering. – 2019. – V. 29, N. 9. – 093002.
10. *Narasimha Rao A. V., Swarnalatha V., Pal P.* Etching characteristics of Si {110} in 20% KOH with addition of hydroxylamine for the fabrication of bulk micromachined MEMS /// Micro and Nano Systems Letters. – 2017. – V. 5. № 23. – P. 1-9.
11. *Малохатко С.В., Гусев Е. Ю.* Исследование маскирующих свойств пленок оксида кремния для создания кремниевых мембран методом жидкостного травления // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2020. – № 6. – С. 196-203.
12. *Stiller A.M., González-González M.A., Boothby J.M. [et al.].* Mechanical considerations for design and implementation of peripheral intraneural devices // Journal of Neural Engineering. – 2019. – Vol. 16(6). – 064001.

Сарыев Артур Владимирович – студент; Южный Федеральный Университет, кафедра нанотехнологий и микросистемной техники; 347928, г. Таганрог, ул. Шевченко, 2, корп. Е; тел.: +7(8634)37-19-40; e-mail: asaryev@sfedu.ru.

Гусев Евгений Юрьевич – доцент; Южный Федеральный Университет, кафедра нанотехнологий и микросистемной техники; 347928, г. Таганрог, ул. Шевченко, 2, корп. Е; e-mail: eyugusev@sfedu.ru.

Saryev Artur Vladimirovich – student; Southern Federal University; the department of nanotechnology and microsystems technology; 2, Shevchenko street, build E, Taganrog, 347928, Russia; e-mail: asaryev@sfedu.ru.

Gusev Evgeny Yuryevich – associate professor; Southern Federal University; the department of nanotechnology and microsystems technology; 2, Shevchenko street, build E, Taganrog, 347928, Russia; e -mail: eyugusev@sfedu.ru.

УДК 666.655

Малыхин Анатолий Юрьевич, Мараховский Михаил Алексеевич,
Парфёнов Александр Алексеевич

СПОСОБЫ ОПТИМИЗАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА ПКП-12

В работе приводится сравнительный анализ электрофизических и механических характеристик сегнетомягкого материала системы цирконата-титаната свинца. Исследованы структурные особенности образцов, изготовленных методом горячего изостатического прессования (ГИП) и спекания при атмосферном давлении. Проведён спектральный анализ локальных вырезок образцов с целью определения наличия примесных фаз. На основе полученных данных сделаны выводы о целесообразности применения ГИП-метода в качестве приёма, позволяющего увеличить электрофизические характеристики до 50%.

Пьезокерамика, пьезоэлектрический, система ЦТС, ПКП-12, горячее прессование.

Malykhin Anatoliy Yurievich, Marakhovsky Mikhail Alekseevich,
Parfenov Alexander Alekseevich

THE WAYS TO OPTIMISE CHARACTERISTICS OF PIEZOCERAMIC MATERIAL PKP-12

The paper presents a comparative analysis of the electrophysical and mechanical characteristics of the ferroalloy material of the lead zirconate-titanate system. The structural features of samples made by hot isostatic pressing (GIP) and roasting at atmospheric pressure are studied. Spectral analysis of local sample clippings was performed to determine the presence of impurity phases. Based on the obtained data, conclusions are drawn about the feasibility of using the GIP method as a technique that allows increasing the electrophysical characteristics up to 50%.

Piezoceramics, piezoelectric, PZT system, PKP-12, hot pressing.

Введение

Настоящее исследование направлено на поиск способов улучшения механических и электрофизических параметров (ЭФП) пьезокерамического материала ПКП-12, выпускаемого в НКТБ

«Пьезоприбор» ЮФУ. Объект исследования представляет собой «мягкий» сегнетоэлектрик системы цирконата-титаната свинца (ЦТС), имеющий размытый фазовый переход из ромбоэдрической в тетрагональную форму кристаллической решётки [1]. Существуют различные методы и технологии изготовления пьезокерамических элементов из порошков [2-5].

Основная часть

В ходе выполнения работы получены образцы пьезокерамического материала (ПКМ) ПКП-12. Применены методы спекания при атмосферном давлении (САД) и горячего изостатического прессования (ГИП). Метод ГИП ранее не был использован применительно к данному ПКМ, что подчёркивает новизну и актуальность данной работы.

В синтезированную и измельчённую шихту ПКП-12 вводился пластификатор – 7% поливиниловый спирт в количестве 3% от массы порошка. Шихта протиралась через сито с размером ячейки 50 мкм. Полученный пресс-порошок был разделён на две равные части. Из первой половины методом полусухого прессования изготавливались пробные образцы, спекаемые в дальнейшем при температуре 1230 □ и атмосферном давлении. Из второй половины ГИП-методом был изготовлен цельнокерамический блок размером 105*105*22 мм. Далее блок подвергался резке на пластины и бруски с целью изготовления пробных образцов и снятия ЭФП. В процессе резки выяснилось, что пластины имеют различную окраску (рис. 1), что является нехарактерным признаком во время процессов температурной обработки ПКМ.

Рис.1. Распиленные и отшлифованные фрагменты блока ПКП-12, полученного методом горячего изостатического прессования

Такое распределение цвета натолкнуло на мысль, что под воздействием высокого давления и температуры, инертная в нормальных условиях засыпка, состоящая преимущественно из крупнодисперсной фракции оксида алюминия, могла вступить реакцию с поверхностными слоями пьезокерамики, образовав тем самым новые соединения, отличающиеся по цвету и, возможно, другим параметрам. Другой причиной возникшего явления мог стать оксид свинца, неполностью прореагировавший во время процесса синтеза и имеющий похожий цвет.

Для подтверждения или опровержения выдвинутых гипотез был проведен спектральный анализ образцов, взятых из разных областей (тёмный край, светлый край, середина). Срезы образцов были запрессованы в радио-нейтральную борную кислоту и на спектрометре ARL OptimX были получены концентрационные соотношения элементов, входящих в состав керамики. Результаты показали высокую сходимость (99,5%) основных элементов, входящих в состав ПКП-12: Pb, Zr, Ti. Это свидетельствует о равномерном распределении и высокой степени прохождения процессов синтеза. Концентрации легирующих добавок также имеют высокую сходимость, однако на образце тёмного края вырезки имеются аномальные спектральные линии, соответствующие наличию примеси алюминия в количестве 2,99%. Данная аномалия подтверждает гипотезу о диффузном характере реакции алюмооксидной засыпки с поверхностными слоями пьезокерамики.

Следующий этап настоящего исследования заключается в изучении влияния ГИП-метода на ЭФП образцов. Из вырезки горячепресованного блока, полученной ранее, были изготовлены образцы диаметром 20 мм и высотой 1 мм. Для работы бралась только та часть блока, которая не вступала в реакцию с оксидом алюминия. Аналогичные по размеру образцы были изготовлены методом САД. На рис.2 приведены результаты микроструктурного анализа поверхностей изготовленных образцов при различной степени увеличения.

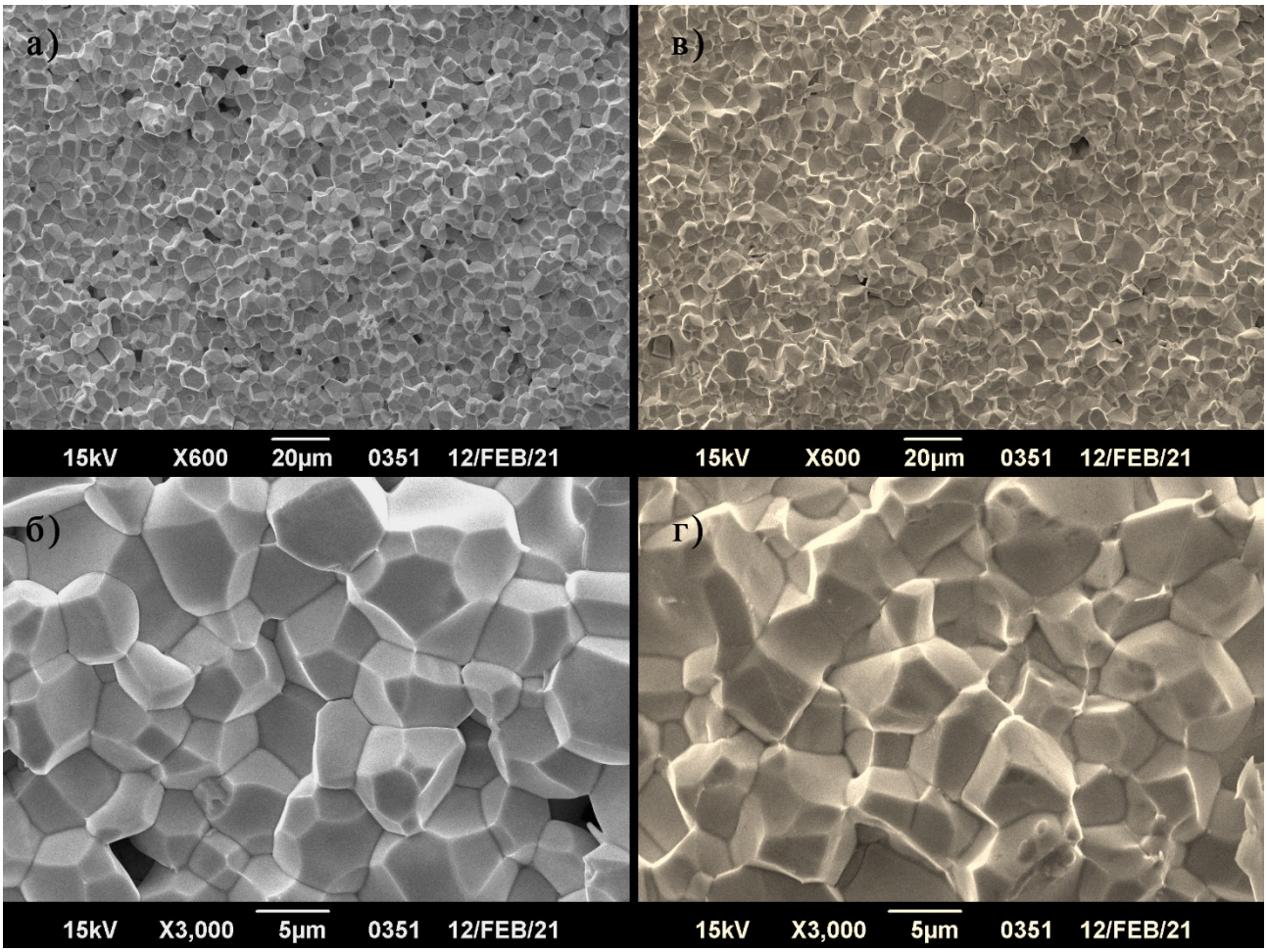


Рис. 2. Микроструктура образцов, полученных методами спекания при атмосферном давлении (а, б) и горячим изостатическим прессованием (в, г)

В обоих случаях элементы имеют равномерную поликристаллическую структуру. Форма и размер зерна (5-8 мкм) свидетельствуют об успешном прохождении процесса кристаллизации керамического каркаса. Образцы полученные методом САД имеют выраженные поры размером 1-2 мкм. Аналогичные поры присутствуют и в ГИП-образцах, но в меньшем количестве. Кристаллы горячепрессованных образцов обладают большей степенью спайности, отмечается наличие кристаллитов со связанной межзёренной границей, в то время как границы кристаллитов САД-образцов явно прослеживаются. В результате проведенного анализа можно отметить увеличение плотности спеченной по ГИП-методу керамики, а также потерю межзёренных границ, что может свидетельствовать об увеличении диэлектрической проницаемости и как следствие, пьезоэлектрических модулей и коэффициентов.

С использованием аппаратуры «Цензурка-2» производства НКТБ «Пьезоприбор», определены основные ЭФП материалов, полученных разными методами. Результаты измерений приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные электрофизические параметры образцов ПКП-12, полученных разными методами

Метод получения	tg δ	$\varepsilon_{33}^{T}/\varepsilon_0$	$\lvert d_{31}\rvert$, пКл/Н	Q_m	K_p
САД	0,029	4548	273	68	0,55
ГИП	0,034	7033	298	47	0,52

Выводы

В результате проделанной работы получены характеристики образцов пьезоэлектрического материала ПКП-12 (производство НКТБ «Пьезоприбор» ЮФУ), полученных методом спекания при атмосферном давлении и изостатическом одноосном давлении. В случае использования ГИП-метода отмечается повышение диэлектрической проницаемости, плотности, тангенса угла диэлектрических потерь, пьезоэлектрических модулей, при одновременном снижении добротности и коэффициента электромеханической связи. Это, в первую очередь, связано с отсутствием в структуре пористых вкраплений и более плотной упаковкой кристаллитов. Негативным фактором при изготовлении ГИП-блоков является диффузия оксида алюминия в процессе спекания. Данный фактор необходимо учитывать при дальнейших работах. Одним из возможных способов ухода от выявленных негативных последствий является замена засыпки из оксида алюминия на смесь оксидов свинца и циркония.

Авторы выражают благодарность ЦКП «Высокие технологии» за предоставленное измерительное оборудование.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Skrylev A. V., Burkhanov A. I., Akbaeva G. M. & Dykina L. A.* (2019) Electrophysical and mechanical properties of PZT-based soft ferroelectric material in wide range of temperatures, Ferroelectrics, 538:1, 146-153, DOI: 10.1080/00150193.2019.1569997
2. Влияние методов спекания на диэлектрический гистерезис сегнетожесткого пьезокерамического материала на основе цирконата-титаната свинца / М. А. Мараховский, А. А. Панич, М. В. Таланов, В. А. Мараховский // Известия

Российской академии наук. Серия физическая. – 2020. – Т. 84. – № 11. – С. 1667-1669. – DOI 10.31857/S0367676520110186.
3. Моделирование, разработка и создание сегнетоактивных материалов на основе многокомпонентных сложнооксидных систем / К. П. Андрюшин, И. Н. Андрюшина, И. А. Вербенко [и др.] // Физические основы приборостроения. – 2020. – Т. 9. – № 3(37). – С. 52-63. – DOI 10.25210/jfop-2003-052063.
4. *Яффе Б., Кук У., Яффе Г.* Пьезоэлектрическая керамика. М.: Изд-во "Мир". 1974. 288 с.
5. *Мараховский, М.А.* Перспективные методы изготовления пьезоэлектрической керамики для гидроакустических преобразователей / М. А. Мараховский, А. А. Панич, В. А. Мараховский // Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики : труды XV Всероссийской конференции, Санкт-Петербург, 21–25 сентября 2020 года. – Санкт-Петербург: Б. и., 2020. – С. 537-540.

Малыхин Анатолий Юрьевич, ведущий инженер НКТБ «Пьезоприбор» Южного федерального университета, Россия, город Ростов-на-Дону, улица Мильчакова, 10, 344090, телефон: +7-918-598-73-49, email: malyhin@sfedu.ru.

Мараховский Михаил Алексеевич, кандидат технических наук, начальник сектора НКТБ «Пьезоприбор» Южного федерального университета, Россия, город Ростов-на-Дону, улица Мильчакова, 10, 344090, телефон: +7-904-501-54-31, email: marmisha@mail.ru.

Парфёнов Александр Алексеевич, инженер 2 категории НКТБ «Пьезоприбор» Южного федерального университета, Россия, город Ростов-на-Дону, улица Мильчакова, 10, 344090, телефон: +7-908-171-71-28, email: parfenov94@yandex.ru.

Malykhin Anatoly Yurievich, Leading Engineer of the NKTB "Piezopribor" of the Southern Federal University, Russia, Rostov-on-Don, Milchakova Street, 10, 344090, phone: +7 (918)-598-73-49, email address: malyhin@sfedu.ru.

Marakhovskiy Mikhail Alekseevich, Candidate of Technical Sciences, Head of the Sector of the NKTB "Piezopribor" of the Southern Federal University, Rostov-on-Don, 10 Milchakova Street, 344090, phone: +7-904-501-54-31, email: marmisha@mail.ru.

Parfenov Alexander Alekseevich, engineer of the 2nd category of the NKTB "Piezopribor" of the Southern Federal University, Russia, Rostov-on-Don, Milchakova street, 10, 344090, phone: +7-908-171-71-28, email: parfenov94@yandex.ru.

УДК: 53.096

Калмыков Рустам Мухамедович, Кармоков Ахмед Мацевич

К ВОПРОСУ ОБ ОБРАЗОВАНИИ НАНОРАЗМЕРНЫХ ФАЗ В СПЛАВАХ PbTe С ПРИМЕСЯМИ CdSe

В работе проведены электронно-микроскопические исследования полупроводниковых соединений на основе PbTe с примесями CdSe. Как показали результаты исследований, в исходном нелегированном соединении PbTe содержание атомов свинца составляет около 63,8 вес%, а содержание теллура составляет 36,2 вес%, т.е. соответствует стехиометрическому составу. Согласно изображениям электронного микроскопа, эти компоненты равномерно распределены по площади. Результаты исследования также показали, что образующиеся новые фазы имеют размеры зерен от 90 нм до 2 мкм.

Теллурид свинца, селенид кадмия, нанофазы, параметр решетки, фазовые изменения.

Kalmykov Rustam Muhamedovich, Karmokov Ahmed Macevich

ON THE FORMATION OF NANOSIZED PHASES IN PbTe ALLOYS WITH CdSe DOPANTS

In this work, electron microscopic studies of semiconductor compounds based on PbTe with CdSe impurities have been carried out. As shown by the research results, in the initial undoped PbTe compound, the content of lead atoms is about 63.8 wt.%, and the content of tellurium is 36.2 wt.%. This compound corresponds to the stoichiometric composition. According to the electron microscope images, these components are evenly distributed over the area. The results of the study also showed that the formed new phases have grain sizes from 90 nm to 2 μm.

Lead telluride, cadmium selenide, nanophases, lattice parameter, phase changes.

Введение

Электрофизические, теплофизические и оптические свойства теллурида свинца и твердых растворов на его основе, как эффективных материалов для термоэлектрических преобразователей и приборов ИК-области, исследовались многократно [1-5]. Повышение эффективности преобразования тепловой энергии в электрическую, а также создание высокочувствительных приемников ИК-излучения является актуальной задачей современной электроники. Наибольший интерес при этом представляет исследование термоэлектрических свойств PbTe и твердых растворов на его основе как перспективного материала для выше указанных направлений электроники. В частности, добавление наночастиц Na до 1 ат.% увеличивает эффективность при температурах около 700 К, а добавки In повышают чувствительность фотоприемника тонких пленок в терагерцовой области спектра [6]. При этом повышенный интерес представляет исследование поведения в матрице данного полупроводникового соединения примесей, близких по своей физико-химической природе к исходному сплаву. Анализ фазовой диаграммы состояния теллурида свинца показывает [7], что данное полупроводниковое соединение относится к веществам, которые могут существовать при неточном стехиометрическом соотношении компонентов.

В связи с этим, целью настоящей работы являлось исследование образования новых фаз в матрице PbTe при добавлении примесей полупроводниковых соединений CdSe различных мольных концентраций.

Основная часть

Для проведения исследования были приготовлены образцы теллурида свинца с добавками частиц CdSe (0,5 мол%, 1 мол%, 2 мол%, 3 мол%, 5 мол%, 7 мол%, 10 мол%) [8,9]. Исходными компонентами были свинец особой чистоты (99,999 %), теллур особой чистоты (99,999 %) и селенид кадмия особой чистоты (99,999 %) в форме дисперсного порошка размером 28-35 мкм [10,11]. Процесс синтеза проводился под высокотемпературным флюсом в атмосферной среде при температуре ~ 1190 К. Образовавшийся расплав подвергался постоянному перемешиванию с помощью акустических волн частотой 22 кГц и мощностью 400 Вт. Затем расплав выдерживался в течение 20 мин при температуре 1220 К. Полученный сплав охлаждался со скоростью ~ 130 град/мин до температуры 850 К, после чего подвергался отжигу в течение 10 ч.

В целях стабилизации структуры исследуемые образцы подвергались повторному изотермическому отжигу в течение 10 ч при температуре 750 К.

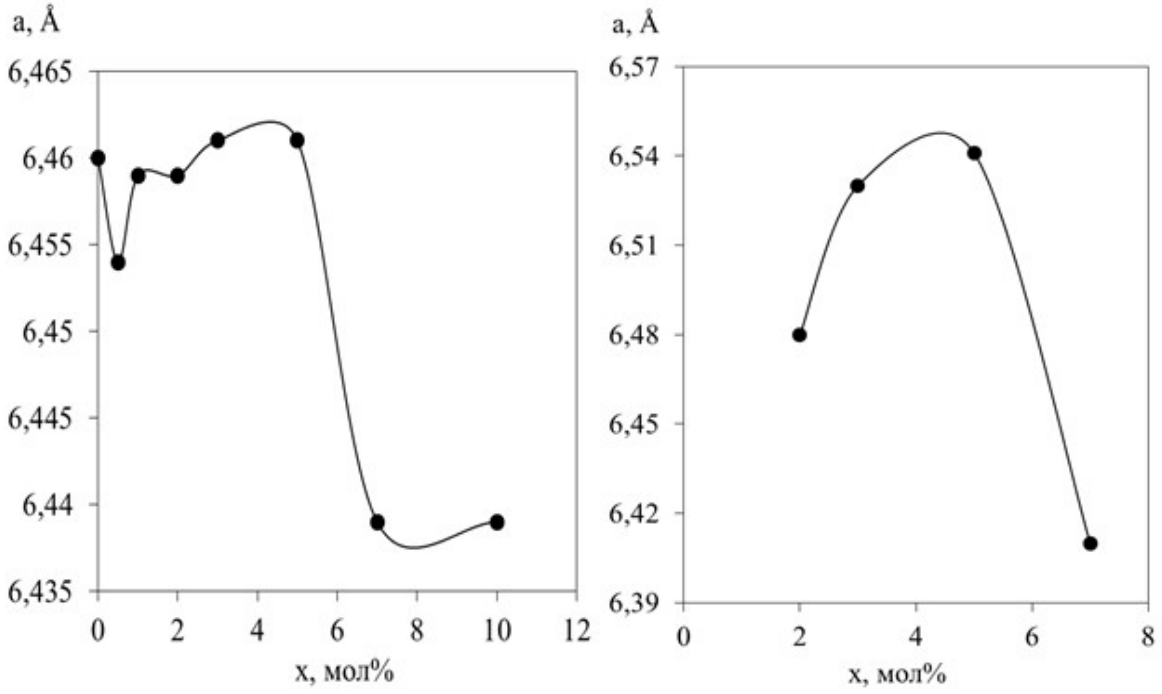
Полученные значения параметра решетки для соединения теллурида свинца и сингония хорошо согласуются с литературными данными [1] и составляют a = 6,46 Å, а сингония – Fm-3m (225). При добавлении в матрицу теллурида свинца примеси селенида кадмия порядка 0,5 мол% наблюдается образование новых фаз. Структура образующих фаз имеет такую же симметрию, как и исходное нелегированное соединение PbTe, гранецентрированную кубическую решетку с классом симметрии Fm3m. Дальнейшее увеличение легирующей примеси CdSe порядка 1 мол% приводит к повышению значения параметра решетки двух фаз, которые также присутствуют в матрице теллурида свинца с содержанием 0,5 мол% примеси CdSe: $(Cd_{0.16}Pb_{0.84})Te$ и $Pb(Se_{0.18}Te_{0.82})$.

При увеличении концентрации легирующей примеси CdSe до 2 и 3 мол% формируются новые фазы, которые присутствуют в обоих образцах: CdTe и $Cd(Se_{0.6}Te_{0.4})$. Эти фазы имеют гранецентрированную кубическую и примитивную гексагональную симметрии с пространственной группой F-43m и P63mc, соответственно.

На рис. 1а представлена зависимость параметра решетки от концентрации для исходной матрицы PbTe, а на рис. 1б – для новой фазы CdTe.

При этом параметр решетки a для фазы CdTe растет с увеличением концентрации легирующей примеси: a = 6,480 Å для 2 мол%, a = 6,530 Å для 3 мол%, а значения параметров решетки a и c фазы $Cd(Se_{0.6}Te_{0.4})$ остаются постоянными, и составляют 4,404 Å и 7,205 Å, соответственно.

Для соединения теллурида свинца с содержанием 2 мол% CdSe помимо указанных фаз также присутствуют новые фазы: $Cd(Pb_{19}Te_{20})$ и $Cd(Se_{0.7}Te_{0.3})$. Кристаллографическая симметрия и параметр решетки этих фаз существенно различаются и составляют Fm-3m (225), a = 6,454 Å и P63mc (186), a = 6,360 Å, соответственно.



а) *б)*

Рис. 1. Зависимость параметра решетки от концентрации для соединения:
а) PbTe; б) CdTe

Для образца с содержанием примеси 3 мол% CdSe также характерно присутствие новой фазы: $(Cd_{0.06}Pb_{0.94})Se$. Симметрия данной фазы совпадает с исходной матрицей, гранецентрированный куб с пространственной группой Fm-3m, но параметр решетки существенно уменьшается и составляет a = 6,105 Å. Эти изменения в процессах фазообразования существенно оказывают влияние на термоэлектрические свойства исследованных образцов.

Получено, что с увеличением концентрации примеси CdSe параметры кубических решеток образующих фаз уменьшаются при 0,5 мол% CdSe, затем возрастают в идентичных фазах и при концентрациях 2 и 3 мол% образуются еще фазы с гексагональной симметрией.

Дальнейшее увеличение концентрации легирующей примеси CdSe до 5 мол% не приводит к образованию новых молекул в соединении и имеющаяся в этом образце фаза $Cd(Se_{0.6}Te_{0.4})$ характеризуется теми же значениями параметра решетки a, что и для PbTe при концентрациях примеси 2 и 3 мол% CdSe. Однако значение параметра решетки a для фазы CdTe выше, чем в остальных образцах, и составляет a = 6,541 Å.

На рис. 2 представлены результаты исследования электронно-микроскопического анализа для соединения теллурида свинца, содержащего 0,5 мол% CdSe, размер участка которого составляет ~ 50 мкм, а на рис. 3 показан его же суммарный спектр карты.

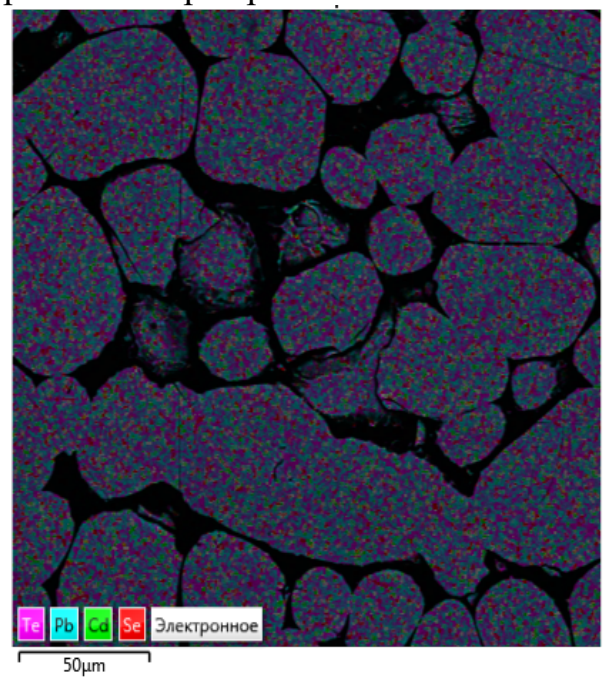


Рис. 2. Распределение атомов в матрице PbTe, содержащая 0,5 мол% CdSe

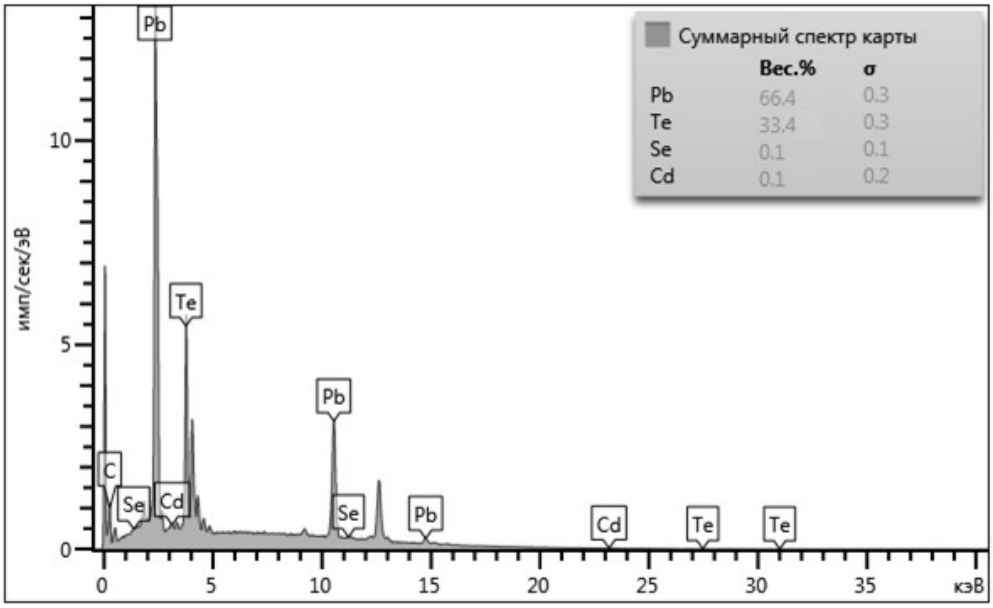


Рис. 3. Суммарный спектр карты соединения PbTe, содержащего 0,5 мол% CdSe

Как следует из рисунка, содержание атомов свинца в сплаве составляет около 66,4 вес.% с погрешностью ~0,3. Содержание атомов теллура составляет 33,4 вес.% того же значения погрешности. Доля примесных атомов селена и кадмия в данном сплаве составляет практически одинаковы и составляют около 0,1 вес.%.

На рис. 4 представлены результаты исследования электронно-микроскопического анализа для соединения теллурида свинца, содержащего 3 мол% CdSe, размер участка которого составляет ~ 50 мкм, а на рис. 5 показан его же суммарный спектр карты.

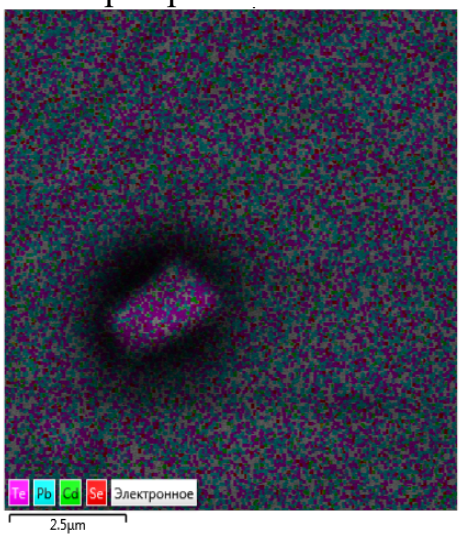


Рис. 4. Распределение атомов в матрице PbTe, содержащая 3 мол% CdSe

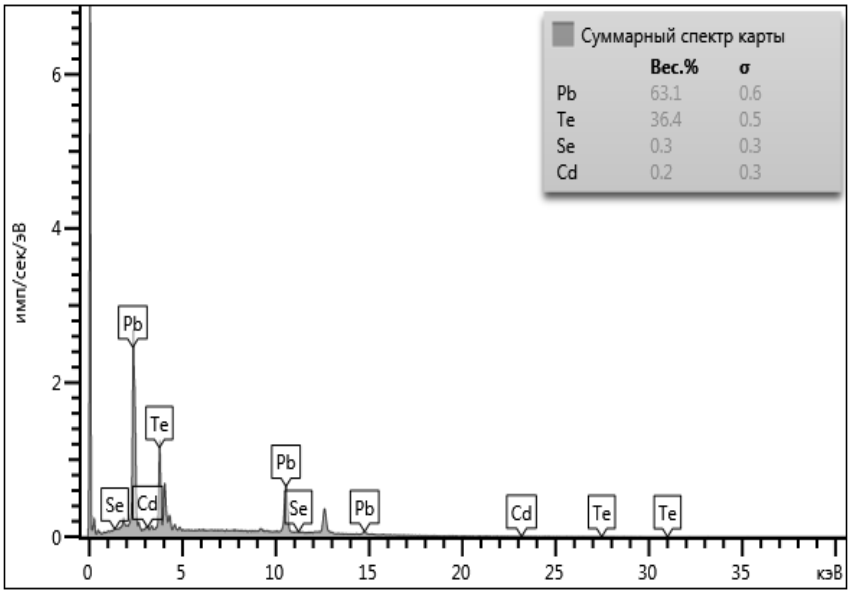


Рис. 5. Суммарный спектр карты соединения PbTe, содержащего 3 мол% CdSe

Как показали исследования на сканирующем электронном микроскопе, для данного образца обнаружено небольшое включение (рис. 4). Предполагается, что это включение новой фазы. Состав этой фазы значительно отличается от основной матрицы. Результаты исследования также показали, что образующие фазы имеют размеры зерен от 90 нм до 2 мкм.

Выводы

Таким образом, результаты исследования показывают, что в поверхностном слое исследованных образцов наблюдается равномерное распределение элементов сплава. Однако, состав на границах раздела между зернами отличается от содержания элементов в зернах. Очевидно, это связано с сегрегацией отдельных примесей содержащихся в сплаве и фазовыми переходами в твердой фазе при образовании новых включений.

Из полученных результатов рентгенофазового анализа следует, что в молекулах новых образующихся фаз, в которых преобладают содержания элементов Cd и Se, наблюдается изменение сингонии кристаллической решетки. Причем, чем больше концентрация этих примесных атомов, тем меньше параметр решетки *a*, что приводит к изменению кристаллической решетки матрицы.

Авторы выражают благодарность Центру коллективного пользования «Рентгеновская диагностика материалов» КБГУ за проведенный рентгенофазовый анализ исследуемых образцов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Равич Ю.И.* Методы исследования полупроводников в применении к халькогенидам свинца PbTe, PbSe и PbS / Ю.И. Равич, Б.А. Ефимова, И.А. Смирнов. – М.: Наука, 1968. – 382с.
2. *Патли Е.* Материалы, используемые в полупроводниковых приборах Е. Патли. – М.: Мир, 1968. – 97с.
3. *Зимин С.П., Горлачев Е.С.* Наноструктурированные халькогениды свинца. – Я.: Ярославский государственный университет, 2011г., 232с.
4. *Дмитриев А.В.* Современные тенденции развития физики термоэлектрических материалов / А.В. Дмитриев, И.П. Звягин // Успехи физических наук. – 2010. – Т. 180, №8. – С. 821-837.
5. *Калмыков Р.М.* Термоэлектрическая добротность композита PbTe-углеродные наночастицы / Р.М. Калмыков, А.М. Кармоков, О.О. Молоканова, О.А. Молоканов, М.М. Кармоков, А.Х. Дышекова, А.А. Усаев // Фундаментальные исследования. – 2017. – Т.1, №11. – С.76-81.

6. *Рябова Л.И.* Терагерцовая фотопроводимость и нетривиальные локальные электронные состояния в легированных полупроводниках на основе теллурида свинца / Л.И. Рябова, Д.Р. Хохлов // Успехи физических наук. – 2014. – Т.184, №10. – С. 1033-1044.
7. *Чижиков Д.М.* Теллур и теллуриды. М.: Изд-во «Наука», 1966г., с.286.
8. *Раевский С.Д., Збигли К.Р., Казак Г.Ф., Прунич М.Д.* Диаграмма состояния системы PbTe – CdSe // Неорганические материалы. Т. 19, №6, 1983г., с. 889–892.
9. *Калмыков Р.М.* Методические особенности синтеза полупроводниковых сплавов на основе теллурида свинца / Р.М. Калмыков, А.М. Кармоков // Известия КБГУ. – 2016. – Т.6, №4. – С.31-34.
10. ПАТЕНТ РФ №2642890 от 29.01.2018г. Кармоков А.М., Калмыков Р.М. Способ получения термоэлектрического материала для термоэлектрических генераторных устройств на основе теллурида свинца.
11. *Калмыков Р.М.* Влияние изотермического отжига на электропроводность и термоЭДС PbTe, легированного CdSe / Р.М. Калмыков, А.М. Кармоков // Прикладная физика. – 2017. – №4. – С. 55-59.

Калмыков Рустам Мухамедович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры электроники и цифровых информационных технологий ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова», 360004, Россия, Кабардино-Балкарская республика, город Нальчик, улица Чернышевского 173, телефон: +7 (928) 912-19-20, e-mail: kalmykov.rustam@yandex.ru

Кармоков Ахмед Мацевич, доктор физико-математических наук, профессор кафедры электроники и цифровых информационных технологий ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова», 360004, Россия, Кабардино-Балкарская республика, город Нальчик, улица Чернышевского 173, телефон: +7 (928) 721-88-18, e-mail: karmokov@kbsu.ru

Kalmykov Rustam Muhamedovich, Candidate of Physical and Mathematical Science, Docent of the Department of Electronics and Digital Information Technolodies of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov”, 360004, Russia, Kabardino-Balkaria, Nalchik city, Chernyshevsky street, phone: +7 (928) 912-19-20, e-mail: kalmykov.rustam@yandex.ru

Karmokov Ahmed Macevich, Doctor of Physical and Mathematical Science, Professor of the Department of Electronics and Digital Information Technolodies of the Fed-

eral State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov”, 360004, Russia, Kabardino-Balkaria, Nalchik city, Chernyshevsky street, phone: +7 (928) 721-88-18, e-mail: karmokov@kbsu.ru

УДК 621.315.592

Богатов Николай Маркович, Володин Владимир Сергеевич,
Григорьян Леонтий Рустемович, Коваленко Максим Сергеевич

ВРЕМЯ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ КРЕМНИЕВЫХ СТРУКТУР С N-P ПЕРЕХОДОМ, ОБЛУЧЕННЫХ ПРОТОНАМИ

Цель – исследование импульсных характеристики кремниевых структур с n^+-p переходом, облученных низкоэнергетическими протонами. Задача – определение эффективного времени жизни τ носителей заряда в области пространственного заряда (ОПЗ) n^+-p перехода. Показано, что облучение протонами с дозой 10^{15} cm^{-2} и энергией 40 keV не изменяет значение τ, а с энергией 180 keV создает в ОПЗ n^+-p перехода область с эффективным временем жизни $5.5 \cdot 10^{-8}$ s.

Кремний, n^+-p переход, время жизни, протон.

Nikolay Markovich Bogatov, Vladimir Sergeevich Volodin,
Leontiy Rustemovich Grigoryan, Maxim Sergeevich Kovalenko

THE SWITCHING TIME OF SILICON STRUCTURES WITH N-P JUNCTION IRRADIATED BY PROTONS

The aim is to study the impulse characteristics of silicon structures with an n^+-p junction irradiated with low-energy protons. The task is to determine the effective lifetime τ of charge carriers in the space charge region (SCR) of the n^+-p junction. It is shown that irradiation with protons with a dose of 10^{15} cm^{-2} and an energy of 40 keV does not change the value of τ, but with an energy of 180 keV creates a region with an effective lifetime of $5.5 \cdot 10^{-8}$ s in the SCR of the n^+-p junction.

Silicon, n^+-p transition, lifetime, proton.

Введение

Управление свойствами полупроводниковых материалов и создание новых полупроводниковых структур с помощью облучения ионизирующими частицами (инженерия радиационных дефектов) – одно

из современных направлений полупроводниковой технологии [1]. Взаимодействие собственных точечных дефектов, примесных атомов, радиационных дефектов, дислокаций и других структурных дефектов обусловливает появление новых свойств у полупроводниковых материалов [2, 3]. Облучение кремниевых структур протонами позволяет уменьшить время жизни носителей заряда в локальном объеме структуры, что позволяет улучшить совокупность статических и частотных характеристик приборов [4]. Импульсные характеристики полупроводниковых структур с n^+-p переходом определяются рекомбинационными параметрами полупроводниковых структур.

Для измерения времени жизни неравновесных носителей заряда в кремнии с учетом влияния поверхностной рекомбинации используются методы измерения спада фотопроводимости [5, 6]. Для определения влияния структурных дефектов на объемную составляющую времени жизни неосновных носителей заряда и скорости рекомбинации в p-n-переходе в двухстороннем солнечном элементе из поликристаллического кремния применяется импульсное освещение [7].

В данной работе измерялось переходное напряжение в неосвещенных кремниевых n^+-p-p^+ структурах, облученных низкоэнергетическими протонами, чтобы исключить временную зависимость фототока и фотопроводимости, использующуюся в методиках [5 – 7].

Результаты исследования импульсных характеристик

Исследовались n^+-p-p^+ структуры из кремния, выращенного методом Чохральского, с глубиной диффузионного n^+-p перехода $d_n \approx 0{,}45\ \mu$m, облученные со стороны n^+-слоя потоком протонов дозой $F_p = 10^{15}$ cm^{-2} с энергией E_p при температуре образцов T_p: №1 – $E_p = 180$ keV, $T_p = 83$ K; №2 – $E_p = 40$ keV, $T_p = 83$ K; №3 – $E_p = 40$ keV, $T_p = 300$ K. Контрольный образец №4 не облучался. Импульсные характеристики измерялись с помощью цифрового осциллографа DSOX2022A, включающего функции генератора импульсов напряжения и мультиметра. Для определения времени переключения использовались биполярные прямоугольные импульсы напряжения с постоянной амплитудой 10 mV и частотой 200 kHz (рис. 1) и 1 MHz. Зависимость напряжения U от времени для исследуемых образцов измерялась в темноте.

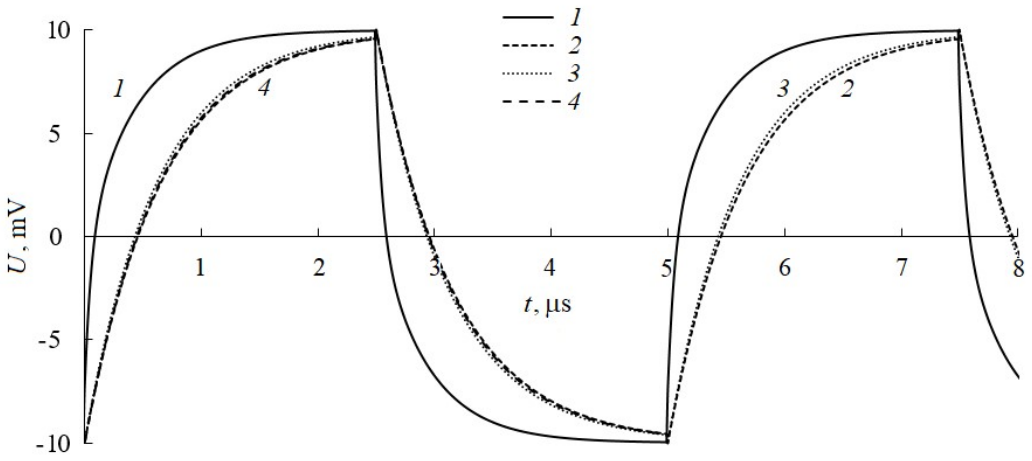


Рис. 1. Импульсные характеристики при частоте импульсов 200 kHz: 1 – образец №1, 2 – образец №2, 3 – образец №3, 4 – образец №4

Импульсные характеристики исследуемых структур с достаточной точностью аппроксимируются одно экспоненциальной зависимостью напряжения от времени (формула 1) для образцов №2, №3, №4, а образца №1 – двух экспоненциальной зависимостью (формула 2).

$$U(t) = 2Ae^{-(t-t_0)/\tau} - A, \quad (1)$$

$$U(t) = 2A\left(a_1 e^{-(t-t_0)/\tau_1} + a_2 e^{-(t-t_0)/\tau_2}\right) - A, \quad (2)$$

где $A = \pm$ 10 mV – амплитуда биполярного импульса напряжения, t_0 – начало отсчета, τ, τ_1, τ_2, a_1, a_2, – параметры, определяемые в результате аппроксимации. Зависимости $U(t)$ для образцов №2, №3, №4 близки. Для этих образцов найдены следующие значения времени переключения: №2 – $\tau = 6.6\cdot10^{-7}$ s, №3 – $\tau = 6.3\cdot10^{-7}$ s, №4 – $\tau = 6.4\cdot10^{-7}$ s. Для образца №1 найдены два значения $\tau_1 = 4.2\cdot10^{-7}$ s, $\tau_2 = 5.5\cdot10^{-8}$ s [8].

Найденные значения времени переключения можно объяснить, используя результаты численного моделирования распределения по глубине среднего числа первичных радиационных дефектов (ПРД) [9, 10]: G_{Si} – междоузельного кремния, G_V – вакансий, G_W – дивакансий, созданных на единице длины проективного пробега одним протоном, показанные на рис. 2.

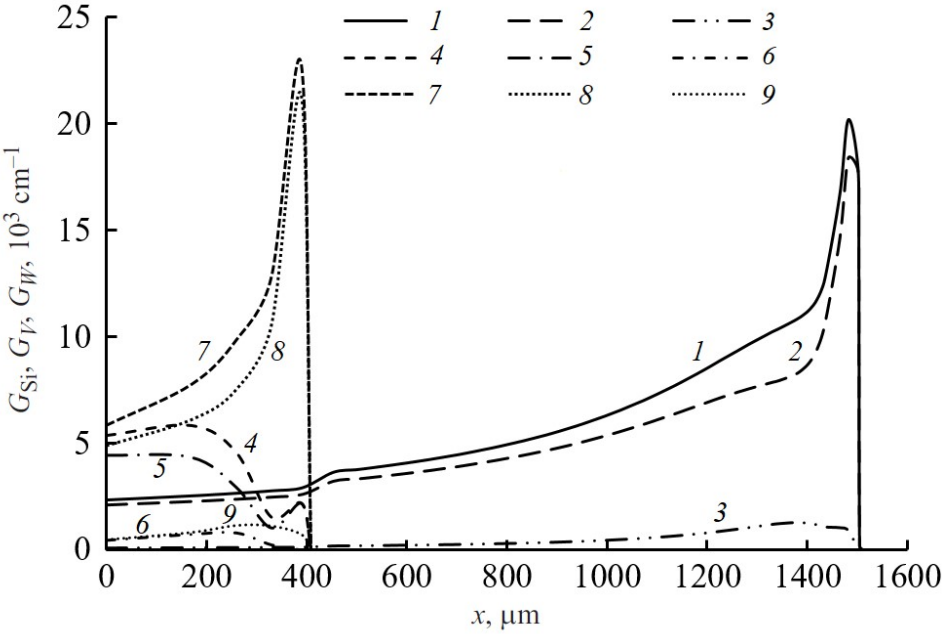


Рис. 2. Распределение среднего числа ПРД, созданных на единице длины проективного пробега одним протоном. E_p = 180 keV, T_p = 83 K: 1 – G_{Si}, 2 – G_V, 3 – G_W; E_p = 40 keV, T_p = 83 K: 4 – G_{Si}, 5 – G_V, 6 – G_W; E_p = 40 keV, T_p = 300 K: 7 – G_{Si}, 8 – G_V, 9 – G_W

Количество ПРД, созданных в n^+-слое на расстоянии 0.41 μm от поверхности протонами с E_p = 40 keV при T_p = 83 K и T_p = 300 K, отличается в несколько раз. Однако значения τ в облученных №2, №3 и необлученном №4 образце близки и, следовательно, не могут быть временем жизни дырок в n^+-слое. Эти значения много меньше времени жизни электронов в базе p-типа. Поэтому считаем, что измеренные зависимости $U(t)$ определяются падением напряжения в ОПЗ n^+-p перехода, а значения τ являются эффективным временем жизни носителей заряда в этой области.

Протоны с E_p = 180 keV создают ПРД на глубине 1.51 μm во всей ОПЗ n^+-p-перехода (рис. 2). Следовательно, структура ОПЗ образца №1 изменилась, в ней существуют две области с различными значениями эффективного времени жизни τ_1 и τ_2. Значение τ_2 относится к области с высокой концентрацией радиационных дефектов в окрестности пика Брэгга, расположенного при x = 1.48 μm (рис 2).

Выводы

В кремниевой структуре протоны с энергией 180 keV создают ПРД в слое толщиной 1.51 μm, а протоны с энергией 40 keV – в слое толщиной

0.41 μm. При $T_p = 83$ K количество ПРД в пике распределения в конце проективного пробега протона с $E_p = 40$ keV оказывается много меньше, чем для протона с $E_p = 180$ keV, что обусловлено различием процессов разделения пар Si_I, V в кремнии n- и p-типа проводимости. Облучение протонами с $E_p = 180$ keV изменяет физические свойства n^+-слоя и всей ОПЗ n^+-p перехода. Протоны с $E_p = 40$ keV изменяют только свойства n^+-слоя, если глубина залегания n^+-p перехода превышает среднюю длину проективного пробега протона.

В результате облучения протонами с энергией 180 keV и дозой 10^{15} cm^{-2} изменились свойства ОПЗ n^+-p перехода так, что время переключения снизилось до $5.5 \cdot 10^{-8}$ s.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Челядинский А.Р., Комаров Ф.Ф.* Дефектно-примесная инженерия в имплантированном кремнии // Успехи физ. наук. 2003. Т.173. №8. С.813–846.
2. *Брудный В.Н.* Радиационные эффекты в полупроводниках // Вестник Томского государственного университета. 2005. № 285: Серия “Физика”. С.95–102.
3. *Соболев Н.А.* Инженерия дефектов в имплантационной технологии кремниевых светоизлучающих структур с дислокационной люминесценцией // Физика и техника полупроводников. 2010. Т.44. В.1. С.3–25.
4. *Козлов В.А., Козловский В.В.* Легирование полупроводников радиационными дефектами при облучении протонами и α-частицами // Физика и техника полупроводников. 2001. Т.35. В.7. С.769–795.
5. *Anfimov I.M., Kobeleva S.P., Pylnev A.V., Schemerov I.V., Egorov D.S., Yurchuk S.Yu.* On the Problem of Determining the Bulk Lifetime by Photoconductivity Decay on the Unpassivated Samples of Monocrystalline Silicon // Russian Microelectronics. 2017. V.46. N.8. P.585–590.
6. *Koshelev O.G., Vasiljev N.G.* Separate determination of the photoelectric parameters of n^+-$p(n)$-p^+ silicon structure base region by noncontact method based on measurements of quantum efficiency relationships at two wavelengths // Modern Electronic Materials. 2017. V.3. N.3. P.127–130.
7. *Sam R., Zouma B., Zougmoré F., Koalaga Z., Zoungrana M., Zerbo I.* 3D determination of the minority carrier lifetime and the p-n junction recombination velocity of a polycrystalline silicon solar cell // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2012. V.29 N.012018. P.1–8.

8. *Богатов Н.М., Григорьян Л.Р., Коваленко А.И., Коваленко М.С., Лунин Л.С.* Импульсные характеристики кремниевых фотоэлектрических преобразователей, облученных низкоэнергетическими протонами // Письма в ЖТФ. 2021. Т.47. В.7 С.10–12.
9. *Агафонов Ю.А., Богатов Н.М., Григорьян Л.Р., Зиненко В.И., Коваленко А.И., Коваленко М.С., Колоколов Ф.А.* Влияние радиационных дефектов, созданных низкоэнергетическими протонами в сильнолегированном слое, на характеристики кремниевых n^+–p–p^+-структур // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2018. №10. С.86–91.
10. *Богатов Н.М., Григорьян Л.Р., Коваленко А.И., Коваленко М.С., Колоколов Ф.А., Лунин Л.С.* Влияние радиационных дефектов, созданных низкоэнергетическими протонами при температуре 83 K, на характеристики кремниевых фотоэлектрических структур // Физика и техника полупроводников. 2020. Т.54. В.2. С.144–149.

Богатов Николай Маркович, д.ф.-м.н., профессор, Кубанский государственный университет, Россия, город Краснодар, улица Ставропольская 149, 350040, телефон: +7(903) 451-31-06, email: bogatov@phys.kubsu.ru.

Володин Владимир Сергеевич, аспирант, Кубанский государственный университет, Россия, город Краснодар, улица Ставропольская 149, 350040, телефон: +7(989) 820-36-72, email: volodinvs1995@mail.ru.

Григорьян Леонтий Рустемович, к.ф.-м.н., доцент, Кубанский государственный университет, Россия, город Краснодар, улица Ставропольская 149, 350040, телефон: +7(918) 168-17-19, email: leonmezon@mail.ru.

Коваленко Максим Сергеевич, к.ф.-м.н., доцент, Кубанский государственный университет, Россия, город Краснодар, улица Ставропольская 149, 350040, телефон: +7(918) 469-49-54, email: m.s.kovalenko@ya.ru.

Bogatov Nikolay Markovich, Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Kuban State University, 350040, Russia, Krasnodar, 149, Stavropolskaya street, phone: +7(903) 451-31-06, email: bogatov@phys.kubsu.ru.

Volodin Vladimir Sergeevich, Graduate Student, Kuban State University, 350040, Russia, Krasnodar, 149, Stavropolskaya street, phone: +7(989) 820-36-72, email: volodinvs1995@mail.ru.

Grigoryan Leontiy Rustemovich, Candidate of Physics and Mathematics Sciences, Associate Professor, Kuban State University, 350040, Russia, Krasnodar, 149, Stavropolskaya street, phone: +7(918) 168-17-19, email: leonmezon@mail.ru.

Kovalenko Maxim Sergeevich, Candidate of Physics and Mathematics Sciences, Associate Professor, Kuban State University, 350040, Russia, Krasnodar, 149, Stavropolskaya street, phone: +7(918) 469-49-54, email: m.s.kovalenko@ya.ru.

УДК 621.375, 621.382.3

Жук Алексей Андреевич, Титов Алексей Евгеньевич,
Чумаков Владислав Евгеньевич, Прокопенко Николай Николаевич

ВХОДНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ КАСКАД НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ НА КОМПЛЕМЕНТАРНЫХ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРАХ С УПРАВЛЯЮЩИМ P-N ПЕРЕХОДОМ

Исследуется дифференциальный каскад на моделях CJFET транзисторов АО «Интеграл» (г. Минск). Цель статьи – показать его преимущества в сравнении с классическими дифференциальными каскадами (ДК) по температурной стабильности статического режима для работы при низких температурах. Эффективность предлагаемого схемотехнического решения подтверждается результатами компьютерного моделирования в среде LTspice.

Дифференциальный каскад, операционный усилитель, низкие температуры, температурная стабильность, полевой транзистор с управляющим p-n-переходом, LTspice.

Zhuk Alexey Andreevich, Titov Alexey Evgeniyevich,
Chumakov Vladislav Evgenievich, Prokopenko Nikolay Nikolaevich

THE INPUT DIFFERENTIAL STAGE OF LOW-TEMPERATURE OPERATIONAL AMPLIFIER ON COMPLEMENTARY FIELD-EFFECT TRANSISTORS WITH A P-N JUNCTION CONTROL

The differential cascade on CJFET transistor models of JSC "Integral" (Minsk) is investigated. The purpose of the article is to show its advantages in comparison with classical differential stages (DS) in terms of the temperature stability of the static mode for operation at low temperatures. The effectiveness of the proposed circuit

design solution is confirmed by the results of computer simulation in the LTspice simulation software.

Differential input stage, operational amplifier, low temperatures, temperature stability, field-effect transistor with p-n junction control, LTspice.

Введение

Дифференциальные каскады (ДК) являются базовым элементом операционных усилителей, в том числе работающих при низких температурах и воздействии радиации. При отрицательных температурах и жестких ограничениях на уровень шумов перспективно использование JFet полевых транзисторов [1-4]. ДК данного класса активно применяются в структуре малошумящих аналоговых интерфейсов для обработки сигналов датчиков [3]. Известны модификации ДК на комплементарных транзисторах с управляющим p-n переходом (JFet) [5-8], которые стали основой многих аналоговых устройств с малым уровнем шумов.

Описание схемы предлагаемого ДК и компьютерное моделирование. Основная цель исследования состоит в создании условий, при которых в ДК рис. 1 обеспечивается более высокая стабильность статического режима входных транзисторов при воздействии отрицательных температур. Это положительно сказывается на основных статических и динамических параметрах ДК – систематической составляющей напряжения смещения нуля, коэффициенте ослабления входных синфазных сигналов ДК, коэффициенте подавления помех по шинам питания, коэффициенте усиления по напряжению.

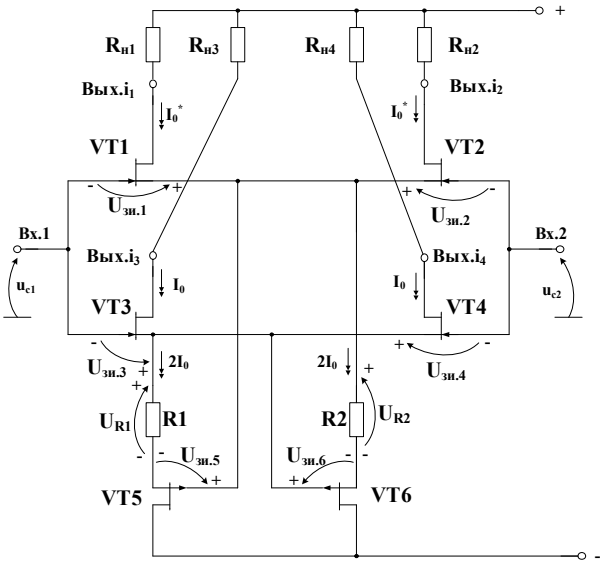


Рис.1 Схема предлагаемого ДК [9]

Графики рис. 2 показывают, что при изменении сопротивления резистора R2 ток в этом резисторе при R2=2 кОм изменяется не более чем на 10% в диапазоне температур от -126°С до +27°С.

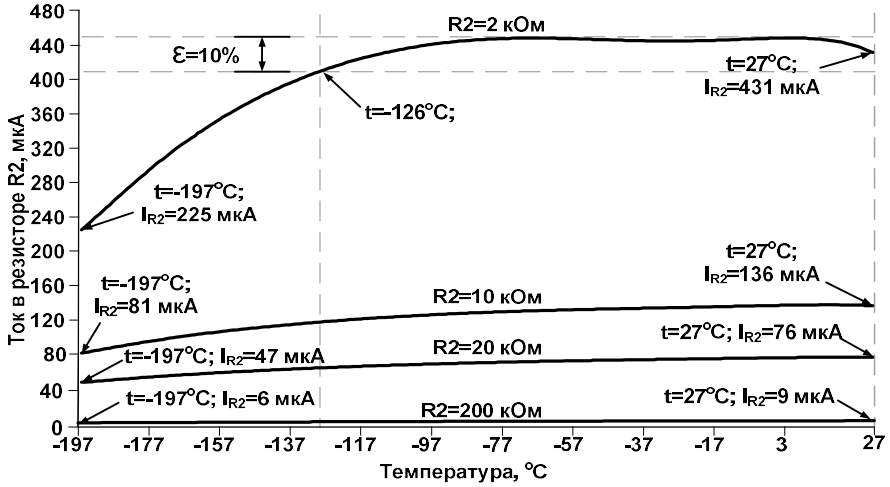


Рис.2 Результаты компьютерного моделирования в среде LTspice температурной зависимости тока в резисторе R2 ДК рис. 1 при R1=10 кОм= const, R2= 2 кОм, 10 кОм, 20 кОм, 200 кОм

Результаты компьютерного моделирования (рис. 3) температурной зависимости тока в резисторе R1 ДК рис. 1 показывают, что при определенных сопротивлениях резистора R2 ток в резисторе R1 незначительно изменяется в диапазоне температур от -119°С до +27°С.

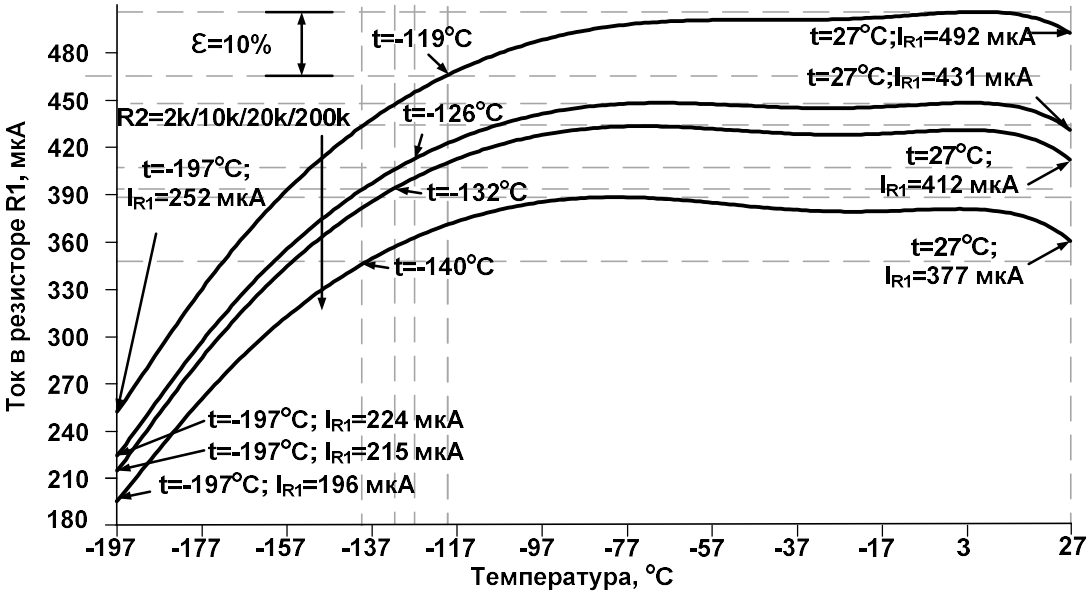


Рис.3 Результаты компьютерного моделирования в среде LTspice температурной зависимости тока в резисторе R1 ДК рис. 1 при R1=2 кОм=const, R2= 2 кОм, 10 кОм, 20 кОм, 200 кОм

Аналогичные выводы можно сделать и по результатам анализа графиков рис. 4.

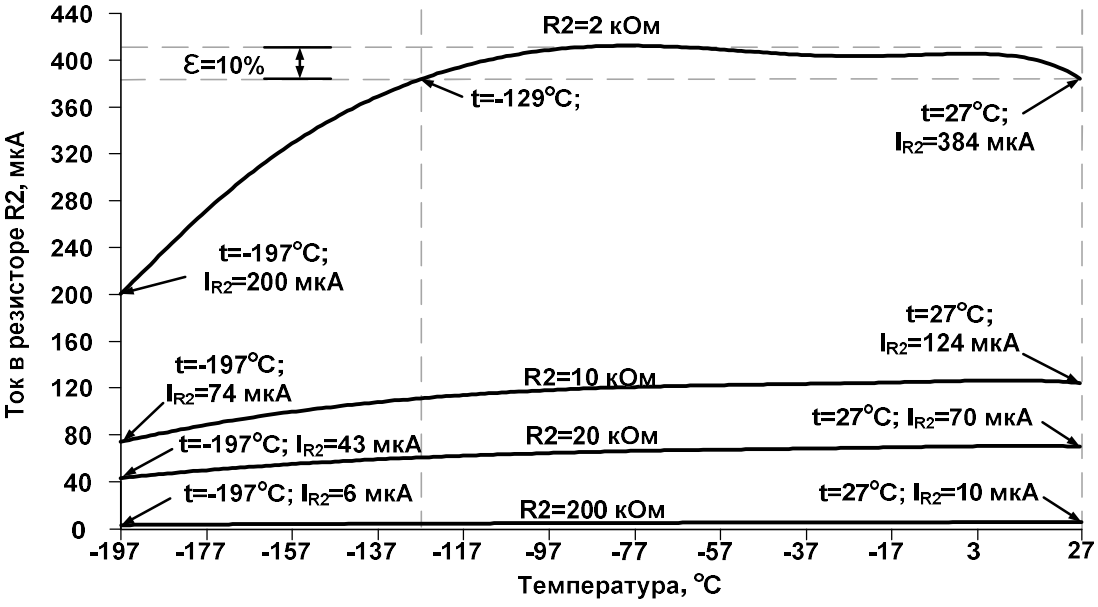


Рис.4 Результаты компьютерного моделирования в среде LTspice температурной зависимости тока в резисторе R2 ДК рис. 1 при R1=100 кОм=const, R2= 100 кОм, 10 кОм, 20 кОм, 200 кОм

Графики рис. 3 – 4 позволяют сделать вывод о существовании некоторых оптимальных значений R1, R2, при которых температурные изменения статических токов в резисторе R2 (токов общей истоковой цепи ДК) незначительны.

Представленная на чертеже рис. 5 температурная зависимость тока в резисторе R2 для оптимальных значений R1 и R2, которые получены в результате параметрической оптимизации схемы фиг. 2 с помощью, рассмотренной в [10] САПР, показывает, что за счет рационального выбора численных значений R1, R2 можно обеспечить незначительные изменения токов в резисторе R2 в широком диапазоне температур. Этот эффект позволяет стабилизировать крутизну ДК рис. 1 и обеспечить температурно-стабильные значения основных статических и динамических параметров ДК.

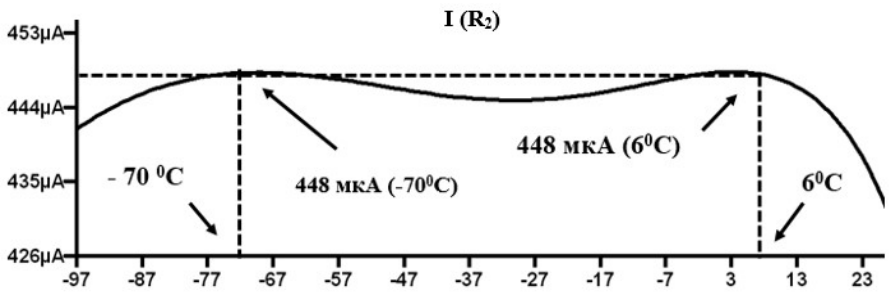


Рис.5 Компьютерное моделирование в среде LTspice температурной зависимости тока в резисторе R2 ДК рис. 1 при R1 = 10кОм, R2 = 2кОм на моделях JFET транзисторов АО «Интеграл» (г. Минск)

Выводы

В результате параметрической оптимизации найдены оптимальные значения токостабилизирующих резисторов (R1=10кОм и R2=2кОм) предлагаемого ДК, при которых обеспечивается незначительное изменение статического тока входных полевых транзисторов в широком диапазоне температур. Это позволяет рекомендовать рассмотренную схему ДК для практического использования в прецизионных ОУ и построения других малошумящих, низкотемпературных и радиационно-стойких аналоговых микросхем по техпроцессу CJFet ОАО «Интеграл» (г. Минск), а также комплементарному биполярно-полевому технологическому процессу АО «НПП «Пульсар» (г. Москва).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. The accounting of the simultaneous exposure of the low temperatures and the penetrating radiation at the circuit simulation of the BiJFET analog interfaces of the sensors / Dvornikov O. V., Dziatlau V. L., Prokopenko N. N., Petrosiants K. O., Kozhukhov N. V. and Tchekhovski V. A. // 2017 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON), 2017, Astana, Kazahstan.
2. Automation of parameter extraction procedure for Si JFET SPICE model in the −200…+110°C temperature range / Petrosyants K.O., Ismail-zade M.R., Sambursky L. M., Dvornikov O.V., Lvov B. G. and Kharitonov I. A. // 2018 Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies (MWENT), 2018, Moscow, Russia.
3. Создание низкотемпературных аналоговых ИС для обработки импульсных сигналов датчиков. Часть 2 / О. Дворников, В. Чеховский, В. Дятлов, Н. Прокопенко // Современная электроника. 2015. № 5. С. 24-28

4. The differential and differential difference operational amplifiers of sensor systems based on bipolar-field technological process AGAMC / Dvornikov O.V., Prokopenko N.N., Butyrlagin N.V. and Pakhomov I.V. // 2016 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON), 2016, Moscow, Russia.
5. *Прокопенко Н.Н., Жук А.А., Бугакова А.В., Пахомов И.В.* Дифференциальный каскад на комплементарных JFET полевых транзисторах с повышенным ослаблением входного синфазного сигнала. Патент RU 2710296, 25.12.19.
6. *Бугакова А.В, Прокопенко Н.Н, Дворников О.В., Будяков П.С.* Дифференциальный каскад на комплементарных полевых транзисторах Патент RU 2684473, 09.04.19.
7. *Бугакова А.В., Жук А.А., Прокопенко Н.Н.* Дифференциальный усилитель на комплементарных полевых транзисторах с управляющим p-n переходом. Патент RU 2688225, 21.05.19.
8. *Бугакова А.В., Прокопенко Н.Н., Дворников О.В.* Дифференциальный усилитель на комплементарных полевых транзисторах с управляемым напряжением ограничения проходной характеристики. Патент RU 2679970, 14.02.19.
9. *Прокопенко Н.Н., Жук А.А., Будяков П.С., Чумаков В.Е.* Дифференциальный каскад на комплементарных полевых транзисторах с повышенной температурной стабильностью статического режима. Патент RU 2746888, 21.04.21.
10. Parametric Optimization Subsystem in LTspice Environment of Analog Microcircuits for Operation at Low Temperatures / M. V. Liashov, N. N. Prokopenko, A. A. Ignashin, O. V. Dvornikov and A. A. Zhuk // Proceedings of 17th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS-2019), September 13-16, 2019, Batumi, Georgia. pp. 356-359.

Жук Алексей Андреевич – аспирант кафедры «Информационные системы и радиотехника» Донского государственного технического университета, Россия, город Ростов-на-Дону, пл. Гагарина 1, 344000, телефон: +79185880301, email: alexey.zhuk96@mail.ru.

Титов Алексей Евгеньевич – доцент кафедры «Системы автоматического управления», Старший научный сотрудник «Научно-исследовательский институт робототехники и процессов управления» Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, ул. Энгельса 1, 347900, телефон: +7863 4371689, email: alex.evgeny.titov@gmail.com.

Чумаков Владислав Евгеньевич – аспирант кафедры «Информационные системы и радиотехника» Донского государственного технического университета, Россия, город Ростов-на-Дону, пл. Гагарина 1, 344000, телефон: +79185880301, email: alexey.zhuk96@mail.ru

Прокопенко Николай Николаевич – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Информационные системы и радиотехника» Донской государственный технический университет, Россия, город Ростов-на-Дону, пл. Гагарина 1, 344000; заведующий Научно-исследовательской лабораторией проблем проектирования в экстремальной микроэлектронике ИППМ РАН и ДГТУ, ул. Советская, 3, 124681 Зеленоград, Россия, телефон: +7 928 120 19 84, email: prokopenko@sssu.ru.

Zhuk Alexey Andreevich – PhD student of Department of Information Systems and Radio Engineering of Don State Technical University, Russia, Rostov-on-Don, 1 Gagarin square, 344000, phone: +79185880301, email: alexey.zhuk96@mail.ru.

Titov Alexey Evgenievich – Associate Professor of the Department "Automatic Control Systems", Senior Researcher "Research Institute of Robotics and Control Processes" of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, Engels str. 1, 347900, phone: +78634371689, email: alex.evgeny.titov@gmail.com.

Chumakov Vladislav Evgenievich – PhD student of Department of Information Systems and Radio Engineering of Don State Technical University, Russia, Rostov-on-Don, 1 Gagarin square, 344000, phone: +79895020032, email: vladislav.230497@mail.ru.

Prokopenko Nikolay Nikolayevich - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department «Information Systems and Radio Engineering» of Don State Technical University, Russia, Gagarin's sq., 1, 344010 Rostov-on-Don; Head of the Research Laboratory of Design Problems in Extreme Microelectronics IPPM RAS and DSTU, Russia, Zelenograd, Sovetskaya St., 3, 124681, phone: +7 928 120 19 84, email: prokopenko@sssu.ru.

УДК 621.396.98

Сытенький Василий Дмитриевич,
Аль-Мусави Висам Мохаммедтаки М. Джавади

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ АМПЛИТУДНО-ГИПЕРБОЛИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ПАССИВНОЙ ЛОКАЦИИ

В работе рассматривается возможность применения амплитудно-гиперболического метода пассивной локации для определения местоположения космического аппарата в солнечной системе. Приведены результаты теоретических расчетов дальности с учетом передающих и приёмных пунктов, а также погрешности местоопределения.

Пассивная локация, амплитудно-гиперболический метод, радиально-базовый метод, космический аппарат, дальность, помеха, среднеквадратическое отклонение.

Syten'ky Vasiliy Dmitrievish, Almusawi Wisam Mohammedtaqi M. Jawad

A SPACECRAFT LOCATION DETERMINATION IN THE SOLAR SYSTEM BY MEANS OF AMPLITUDE-HYPERBOLIC METHOD

The paper analyses the potential existing in the radial basic method of passive location for determining the location of a spacecraft in the solar system. The article presents the results of theoretical calculation of the distance to an object taking into account transmitting and receiving points, as well as measurement errors in the location determination.

Passive location, amplitude-hyperbolic method, radial basic method, spacecraft, distance, noise, mean square deviation.

Введение

В современном мире с развитием авиации, ракетостроения, космонавтики звёздное небо стало ещё ближе и насущнее. Полеты космических аппаратов к планетам солнечной системы и за её пределы потребовали новых знаний о звёздном небе, о местоположении звезд и галактик в космическом пространстве.

Методы пассивной локации: триангуляционный, разностно-дальномерный, угломерно-разностно-дальномерный и др. [1], применяемые в земных условиях, в космическом пространстве могут быть использованы ограниченно. Так в ближнем космосе высокую точность местоопределения источников излучения обеспечивает разностно-дальномерный метод, реализуемый сложной системой, состоящей из трех летательных аппаратов, координаты которых определяются наземными системами или спутниковой системой *Navstar* [2].

Для определения местоположения планет и источников излучения (ИИ) электромагнитных колебаний (ЭМК) как видимого, так и невидимого спектра в космическом пространстве, применяются методы, основанные на следующих принципах измерения: периодов вращения планет вокруг Солнца (использованием третьего закона Кеплера), угломерного, фотометрического и эффекта Доплера [3]. В последнее время для более точного местоопределения космических аппаратов стали использовать сигналы пульсаров [4].

Расстояния до Луны, астероидов и планет солнечной системы с высокой точностью определяются также методами радиолокации [5].

В астрономии нет единого универсального способа определения расстояний. По мере перехода от близких небесных тел к более далеким одни методы определения расстояний сменяют другие, служащие, как правило, основой для последующих.

В работах [6,7] рассматривается возможность использования радиально-базового метода для определения местоположения источников излучения, расположенных в космическом пространстве.

Одним из способов повышения точности определения координат источников излучения является комбинация методов, использующих разные принципы. Так амплитудно-гиперболический метод [8] представляет собой симбиоз разностно-дальномерного и амплитудного методов. Реализация этого метода представлена в земных условиях. В настоящей работе рассматривается возможность применения этого метода для определения местоположения космического аппарата в Солнечной системе.

Основная часть

Амплитудно-гиперболический метод (АГМ) пассивной локации ИИ реализуется двухпозиционной амплитудно-гиперболической системой (ДАГС), регистрирующей два параметра: амплитуды и разность моментов времени прихода волны на приёмные позиции [8].

Измеряемый параметр τ, характеризующий задержку сигнала космического аппарата (КА) при его распространении от пункта 1 до пункта 2 (рис. 1), определяется как $\tau = c^{-1}(R_2 - R_1) = c^{-1}\Delta_R$, где R_1, R_2 − расстояния от КА до приемных позиций 1 и 2; $\Delta_R = R_2 - R_1 \in D, \tau \epsilon D/c$, D − базовое расстояние; c – скорость света. В нашем случае, как следует из рис. 1, $\Delta_R = R_2 - R_1 = D cos\alpha$.

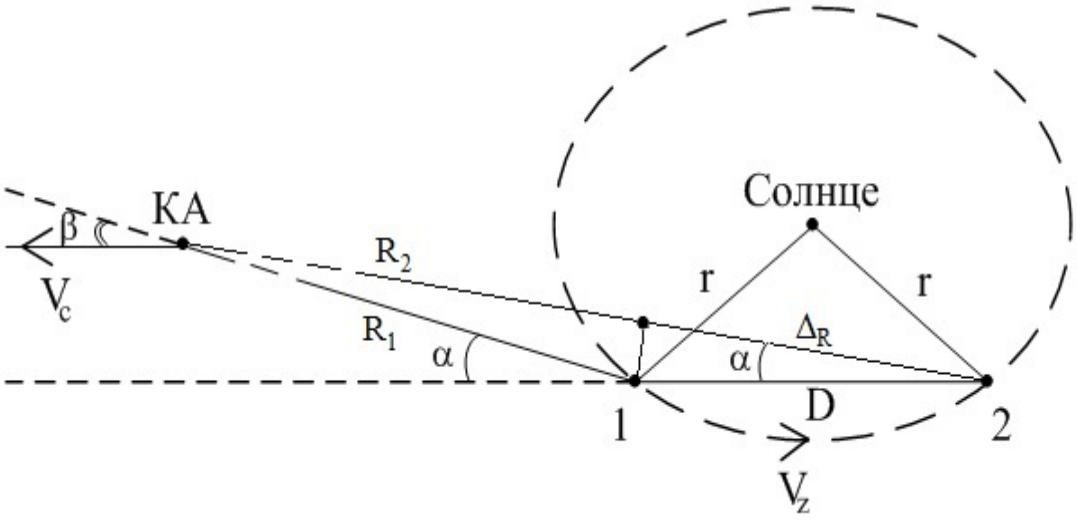


Рис. 1.

С учетом того, что A_1 и A_2 − амплитуды колебаний в первой и второй приёмных позициях, и что $R_1 = \frac{A_2 R_2}{A_1}$,

$$\tau = c^{-1}\left(R_2 - \frac{A_2 R_2}{A_1}\right) = c^{-1} R_2 \frac{A_1 - A_2}{A_1}. \quad (1)$$

Непосредственно из (1) вытекает формула для определения дальности:

$$R_2 = \tau c \frac{A_1}{A_1 - A_2} = \Delta_R \frac{A_1}{A_1 - A_2} = D cos\alpha \frac{A_1}{A_1 - A_2}. \quad (2)$$

По аналогии с (1) и (2) имеем:

$$R_1 = \tau c \frac{A_2}{A_1 - A_2} = \Delta_R \frac{A_2}{A_1 - A_2} = D cos\alpha \frac{A_2}{A_1 - A_2}. \quad (3)$$

Выражения (2) и (3) совпадают полностью с формулой определения дальности (8) в радиально-базовом методе [9]. Возможность определения базового расстояний D с помощью измерения задержки сигнала τ указывает на благоприятный симбиоз разностно-дальномерного и радиально-базового методов.

Абсолютные погрешности измерения дальностей R_1 (1) и R_2 (2) в зависимости от отношения сигнал/шум вычислим с помощью выражения [10]:

$$\sigma_{R_1} = \sqrt{\left[\frac{\partial R_1}{\partial \tau}\right]^2 \sigma_\tau^2 + \left[\frac{\partial R_1}{\partial A_1}\right]^2 \sigma_{A_1}^2 + \left[\frac{\partial R_1}{\partial A_2}\right] \sigma_{A_2}^2} =$$

$$= \sqrt{\frac{(cA_2)^2}{(A_1-A_2)^2}\sigma_\tau^2 + \frac{(c\tau A_2)^2}{(A_1-A_2)^4}\sigma_{A_1}^2 + \frac{(c\tau A_1)^2}{(A_1-A_2)^4}\sigma_{A_1}^2} =$$

$$= \frac{c}{(A_1-A_2)}\sqrt{A_2^2\sigma_\tau^2 + \frac{(\tau A_2)^2}{(A_1-A_2)^2}\sigma_{A_1}^2 + \frac{(\tau A_1)^2}{(A_1-A_2)^2}\sigma_{A_2}^2} =$$

$$= \frac{c\tau}{(A_1-A_2)}\sqrt{\frac{A_2^2}{q_\tau^2} + \frac{A_1^2 A_2^2}{(A_1-A_2)^2}\left[\frac{1}{q_{A_1}^2} + \frac{1}{q_{A_2}^2}\right]}, \quad (4)$$

$$\sigma_{R_2} = \frac{c\tau}{(A_1-A_2)}\sqrt{\frac{A_1^2}{q_\tau^2} + \frac{A_1^2 A_2^2}{(A_1-A_2)^2}\left[\frac{1}{q_{A_1}^2} + \frac{1}{q_{A_2}^2}\right]}, \quad (5)$$

где $q_\tau^2 = \frac{\tau^2}{\sigma_\tau^2}$, $q_{A_1}^2 = \frac{A_1^2}{\sigma_{A_1}^2}$, $q_{A_2}^2 = \frac{A_2^2}{\sigma_{A_2}^2}$ – отношения сигнал/шум по задержке τ и по уровням сигналов.

Как следует из (4) и (5), первое слагаемое в подкорреном выражении учитывает влияние неточности измерения задержки сигнала между ПП 1 и 2 (Рис.1).

Произведём с помощью ДАГС определение дальности, находящегося в Солнечной системе КА, и направление на него с планеты Земля. При вычислении полагаем, что КА может находиться на расстоянии R1=2·10^6 км от Земли. Также полагаем, что мощность передатчика КА W=23 Вт и работает он в S диапазоне, т.е. f=2295 МГц (λ=13 см). Антенна КА параболического типа диаметром d=3м излучает фозоманипулированный сигнал со скоростью передачи информации Vi=160 бит/с, т.е. длительность одной битовой посылки $\tau_П$=6,25мсек.

Приемное устройство, находящееся на планете Земля, принимает сигналы КА с помощью параболической антенны диаметром d1=34м. Мощность сигнала КА в точке приема 1 с учетом коэффициента усиления передающей антенны $G_{пер} = h(\frac{\pi d}{\lambda})^2$ [5], а также скорости перемещения КА V_c и Земли V_z вычисляется по формуле

$$P_{пр1} = \frac{W G_{пер}}{4\pi(R1+V_z T_s+V_c(T_s+t)\cos(\beta))^2}, \quad (6)$$

где T_s - время обработки сигнала КА в согласованном фильтре, t – время нахождения Земли на орбите между точками 1 и 2 (рис.1), β – угол, учитывающий отклонение траектории движения КА от прямой линии, соединяющей КА с приемным пунктом (ПП) на Земле.

Применение амплитудно-гиперболического метода измерения дальности до КА предполагает наличие второго пункта приема сигнала КА (рис.1), отстоящего от первого ПП на вычисленное базовое расстояние

$$D = \frac{\Delta_R}{cos\alpha} = \frac{\tau c}{cos\alpha}, \quad (7)$$

Мощность сигнала КА в точке приема 2 будет определяться выражением

$$P_{пр2} = \frac{W G_{пер}}{4\pi(R1+V_z T_s+V_c(T_s+t)\cos(\beta)+D)^2}. \quad (8)$$

Приведенные выражения (6) и (8) содержат в себе факторы, влияющие на распространяющийся от КА до приемных пунктов на траектории движения Земли за время t, сигнал: V_c - скорость КА, V_z – скорость Земли, T_s – время обработки сигнала, D – базовое расстояние, $G_{пер}$ – коэффициент усиления передающей антенны, а также расстояние $R_c=V_c(T_s+t)cos(\beta)$, которое пройдет КА за время t.

На Земле в точках приема 1 и 2 формируются оценки параметров сигнала, полученных на выходе ПП, т.е. значения корреляционных функций пачек фазоманипулированных импульсов [11] длительностью T_s. В рассматриваемом случае в точке приема 1 величина оценки будет $\tilde{A}_1 = P_{пр1}\tau_П N G_{пр}$, а в точке 2 оценка будет $\tilde{A}_2 = P_{пр2}\tau_П N G_{пр}$, где N =T_s/$\tau_П$ – число импульсов в пачке, $G_{пр} = h(\frac{\pi d1}{\lambda})^2$– коэффициент усиления приемной антенны.

Вычисление дальности до КА осуществляется по (3) и (4) с учетом, что фиксируется мощность сигнала, т.е.

$$R1 = Dcos(\alpha)\frac{\tilde{A}_2^{\frac{1}{2}}}{\tilde{A}_1^{\frac{1}{2}}-\tilde{A}_2^{\frac{1}{2}}}, \quad (9)$$

$$R2 = Dcos(\alpha)\frac{\tilde{A}_1^{\frac{1}{2}}}{\tilde{A}_1^{\frac{1}{2}}-\tilde{A}_2^{\frac{1}{2}}}, \quad (10)$$

где α – угол между прямой, соединяющей приемные пункты 1 и 2 и направлением на КА (Рис. 1). Угол α определяется по положению диаграммы направленности антенны в пространстве относительно базового расстояния D.

Вычисление абсолютной погрешности измерения дальности осуществляется по выражению (4).

Считая, что траектория полета КА известна, что позволяет определить угол β, а также известна скорость КА. Известен угол α. Полагая, что антенная система может следить за КА 10 часов в сутки, примем это время за максимальное для обработки сигнала КА, т.е. T_s =10 ч. Применение амплитудно-гиперболического метода измерения дальности до КА предполагает наличие второго пункта приема сигнала КА (Рис.1), отстоящего от первого ПП на известное базовое расстояние [5]

$$D = 2r\sin\left(\frac{V_z t}{2\pi r}\right), \qquad (11)$$

где r=149597867,9 астрономическая единица. Задержка сигнала между точками 1 и 2 орбиты Земли $\tau = \frac{\Delta_R}{c} = \frac{D\cos\alpha}{c}$ уточняется в процессе обработки импульсной последовательности по максимумам корреляционных функций на выходе согласованного фильтра в точках 1 и 2.

При $d1$=34 м, Vi=160 бит/с, (τ=6,25 мсек), T_s=1ч, V_s=10 км/с, $\beta=10^0$, t=10ч, $\alpha=15^0$, предполагаемое удаление КА от Земли R1=$2\cdot10^6$ км, уровень сигнала в пункте приема 1 будет $P_{p1}=1{,}151\cdot10^{-9}$Вт, в пункте приема 2 будет $P_{p2}=8{,}544\cdot10^{-10}$Вт. После обработки в согласованном фильтре $\tilde{A}_1 = 1{,}538$Дж и $\tilde{A}_2 = 1{,}142$Дж. Расстояние до КА вычисляется по выражению (3) и равно R1=$2{,}144\bullet10^6$км. Базовое расстояние при этом D=$3{,}445\cdot10^5$км. Задержка сигнала τ=1,1099727 сек. При $\sigma_\tau = 2\cdot10^{-8}$ вычисленные значения σ_R по формуле (4) при q=1….50 приведены на Рис.2. Они полностью совпали с результатами, приведенными в работе [7]. Влияние неточности измерения задержки наступает при $\sigma_\tau = 2\cdot10^{-2}$, что показано на рис.3.

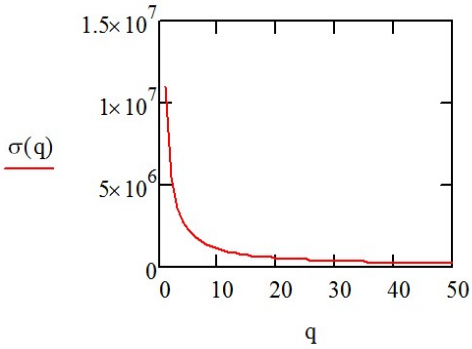


Рис.2.

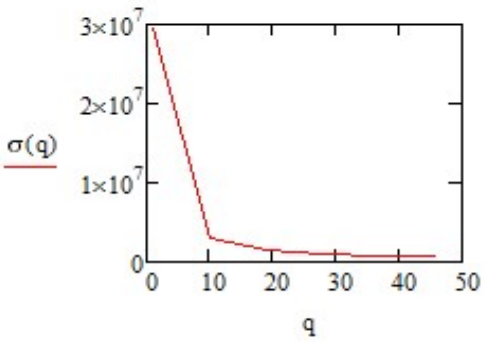


Рис.3.

Выводы

Проделанные расчеты указывают на возможность применения амплитудно-гиперболического метода для определения местоположения

космического аппарата в Солнечной системе с учетом движения планеты Земля, на которой расположен приемный пункт сигналов КА. Погрешность определения местоположения космического аппарата уменьшается с ростом отношения сигнал/помеха. Показано влияние задержки сигнала на расчетные данные: с ростом нестабильности задержки растет погрешность измерения дальности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Беляевский Л.С., Новиков В.С., Олянюк П.В.* Основы радионавигации: Учебник для вузов гражд. авиации.-М.: «Транспорт», 1982.– 288 с.
2. *Вознюк В.В.* Космическая система радиотехнического мониторинга на основе группировки низкоорбитальных малогабаритных космических аппаратов / В.В. Вознюк, С.А. Зайцев // Изв. вузов. Приборостроение. – 2005. – Т. 48, № 6. – С. 26–31.
3. *Кондратьев Н.Я.* Ориентировка по звездам. Воен. издат. МО СССР, М:, 1961. – 98 с.
4. *Bernhardt M. G., Becker W., Prinz T., Breithuth F. M., & Walter U.* (2011). Autonomous Space-craft Navigation Based on Pulsar Timing Infor-mation.In2nd International Conference on Space Technology (pp. 1–4).
5. *Бакулев П.А.* Радиолокационные системы. Учебник для вузов. – М.: Радиотехника, 2004. 320 с.
6. *Сытенький В.Д.* Определение местоположения источника излучения в космическом пространстве. Материалы всероссийской научно-технической конференции “Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении” с международным участием, «КомТех-2019», Таганрог, ИРТСУ ЮФУ, 5-7 июнь, 2019 г., с. 250-256.
7. *Сытенький В.Д., Аль-Мусави В. М. М. Д.* Определение местоположения космического аппарата в Солнечной системе радиально-базовым методом пассивной локации. . Материалы всероссийской научно-технической конференции “Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении” с международным участием, «КомТех-2019», Таганрог, ИРТСУ ЮФУ, 6-9 июнь, 2020 г., с. 274-280.
8. *Булычев Ю.Г., Насенков И.Г., Ячменов А.В.* Амплитудно-гиперболический метод пассивной локации источника излучения. Автометрия. Т.54, № 4. 2018. С. 43-50.
9. *Сытенький В.Д.* Пассивная локация на основе амплитудных измерений// Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2011. Вып. 1. С. 69 – 76.

10. *Мирский Г.Я.* Радиоэлектронные измерения. – М.: Энергия, 1975. – 265 с.
11. *Гоноровский И.С.* Радиотехнические цепи и сигналы: учеб. пособие для вузов / И.С. Гоноровский. – 5-е изд., испр. и доп. – М.: Дрофа, 2006. – 719.

Сытенький Василий Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретических основ радиотехники Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, переулок Некрасовский, 44, 347928, телефон: +7 (8634) 37-16-32, email: sytenky@rambler.ru.

Аль-Мусави Висам Мохаммедтаки М. Джавади, магистрант кафедры теоретических основ радиотехники Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, переулок Некрасовский, 44, 347928, телефон: +7 (8634) 37-16-32, email: wesamalmussawi@gmail.com.

Syten'ky Vasily Dmitrievish, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), associate professor, **The Department of Fundamentals of Radio Engineering (FRE),** Institute of Radio Engineering Systems and Control, Southern Federal University, 44 Nekrasovsky lane, Taganrog 347928, Russia, phone: +7 (8634) 37-16-32 email: sytenky@rambler.ru.

Almusawi Wisam Mohammedtaqi M. Jawad, postgraduate student **The Department of Fundamentals of Radio Engineering (FRE),** Institute of Radio Engineering Systems and Control, Southern Federal University, 44 Nekrasovsky lane, Taganrog 347928, Russia, phone: +7 (8634) 37-16-32 email: wesamalmussawi@gmail.com.

Темрин Денис Владимирович, Яцемирская Виктория Сергеевна

ЗАЩИЩЕННАЯ ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА СВЯЗИ С ГРУППОЙ ДРОНОВ

В данной работе рассматривается процесс организации оптической связи для безопасного управления группой дронов и обеспечения надежного взаимодействия между ними. Разработан принцип функционирования системы. Рассмотрены аспекты, влияющие на беспрепятственную работу группы, выбран тип помехоустойчивого кодирования.

Дрон, квадрокоптер, лазер, светодиод, фотоприемник, система, группа, FSO.

Temrin Denis Vladimirovich, Yatsemirskaya Victoria Sergeevna

PROTECTED OPTICAL SYSTEM OF COMMUNICATION WITH A GROUP OF DRONES

In this paper, we consider the process of organizing optical communication for the safe control of a group of drones and ensuring reliable interaction between them. The principle of functioning of the system is developed. The aspects that affect the smooth operation of the group are considered, and the type of noise-resistant coding is selected.

Drone, quadcopter, laser, LED, photodetector, system, group, FSO.

Введение

Применение групп дронов в военной сфере, сфере деятельности органов безопасности является наиболее актуальным [1,2]. Подобное использование дронов наблюдается не только в российских вооруженных силах, но и за рубежом. Так, например, российские инженеры разработали систему управления малыми беспилотниками для нанесения массированного удара, и министерство обороны США считает, что будущее авиации будет кардинально меняться с быстрым развитием технологий БЛА [3,4]. По этой причине вопрос обеспечения надежного управления стоит особенно остро.

Авторами предлагается использовать технологию управления в оптическом диапазоне, обладающей повышенной защищенностью, в сочетании с применением помехоустойчивого кодирования.

Принцип работы системы

Для наглядного представления работы системы была разработана ее общая схема, изображенная на рис. 1.

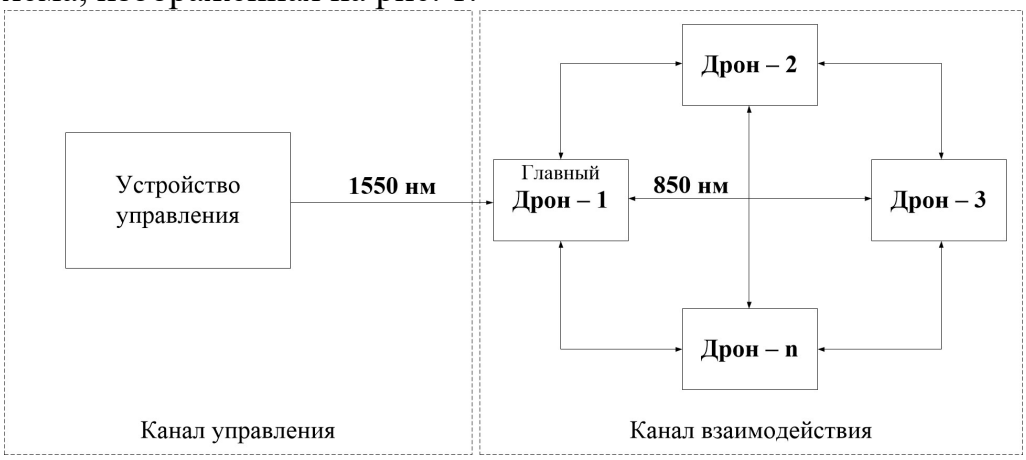


Рис. 1. Общая схема системы

Оптическая система состоит из канала управления, в котором оператор на длине волны 1550 нм подает сигнал в виде лазерного луча на один из дронов в группе и канала взаимодействия, где дроны обмениваются информацией между собой, посредством светодиодов, на длине волны 850 нм.

На каждом квадрокоптере размещено необходимое количество оптических приемо-передающих устройств, что позволяет оператору без перебоев управлять группой через любой дрон системы.

При каждом взлете группы БЛА вместе с информацией управления на дроны поступает аутентификационный код, который действует на протяжении одного полета. При поступлении команды управления в полете на дрон происходит ее проверка и если аутентификационный код совпадает с заявленным, то группа выполняет команды легального пользователя. Данный вид доступа к управлению дронами позволяет обезопасить работу системы от воздействия на нее злоумышленников.

При возникновении ситуации, когда два дрона находятся в непосредственной близости друг от друга и принимают оптическое излучение, то приоритет на управление группой отдается тому квадрокоптеру, на фотоприемник которого поступает более мощный сигнал. Сравнение мощностей производится путем периодического обмена информацией между дронами, после этого дрон с наивысшей мощность становится главным и передает об этом информацию остальным [5].

Помехоустойчивое кодирование

Оптический канал связи обеспечивает большую пропускную способность, очень высокие скорости передачи информации и повышенную безопасность данных. Системы FSO (Free Space Optic) используют узкие размеры луча и, следовательно, утечка мощности практически незначительна. В оптических системах требуется низкое энергопотребление и высокая надежность соединения. Энергопотребление лазерных диодов и фотоприемников практически не зависит от скорости передачи данных. Это позволяет передавать большее количество бит за короткий интервал времени с меньшим энергопотреблением, чем по радиочастотным каналам, которые подвержены электромагнитным помехам и менее безопасны [6-8].

Однако на характеристики оптического канала связи сильно влияют атмосферные явления такие, как турбулентность и туман, вследствие чего возникают ошибки, приводящие к потерям передаваемых данных.

В данной статье рассматривается использование помехоустойчивого кодирования прямой коррекции ошибок LT (Luby Transform), а также сравнение производительности кодов БЧХ (Боуза – Чоудхури – Хоквингема) и кодов LT в оптическом канале вязи.

Ранее, для данной системы предлагалось использовать помехоустойчивое кодирование на основе кодов БЧХ, которые широко используются в качестве метода контроля ошибок в спутниковой связи. Они представляют собой класс кодов для исправления ошибок и являются предпочтительными из-за простоты конструкции декодера, меньшей трудоемкости и вычислительной сложности.

Коды LT являются классом кодов «фонтана», в которых передатчик, генерирует практически бесконечное количество «капель воды», которые соответствуют передаваемым символам. Они могут использоваться независимо от скорости канала и поэтому считаются бесскоростными. Могут сгенерировать столько кодовых слов, сколько требуется для восстановления всех битов сообщения, независимо от характеристик канала. Декодер может восстанавливать исходные данные из произвольно собранных кодированных символов с небольшими затратами на декодирование.

Анализ функционирования помехоустойчивых кодов в условиях сильной турбулентности в оптическом канале показал, что коды БЧХ по производительности уступают кодам LT, которым и было отдано предпочтение.

Для наглядного представления на рис. 2 показана зависимость частоты ошибок по битам (BER) от соотношения сигнал/шум (SNR) кодов БЧХ и кодов LT в оптическом канале при сильной турбулентности.

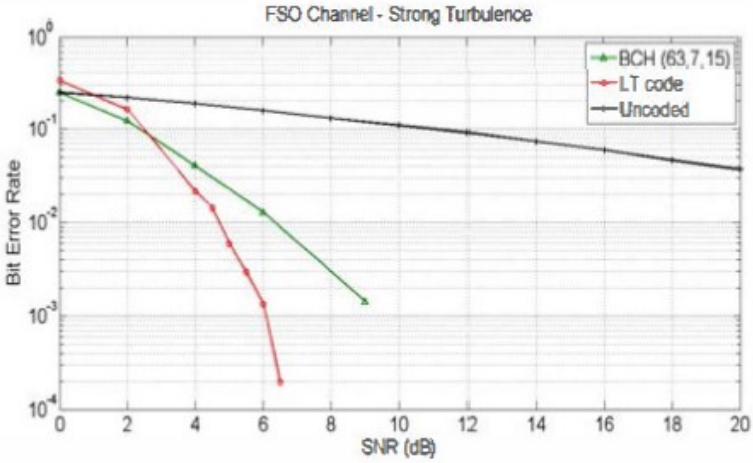


Рис. 2. Зависимость BER от SNR при сильной турбулентности

На рис. 3 представлено сравнение производительности при сильной турбулентности кодов БЧХ и кодов LT [9,10].

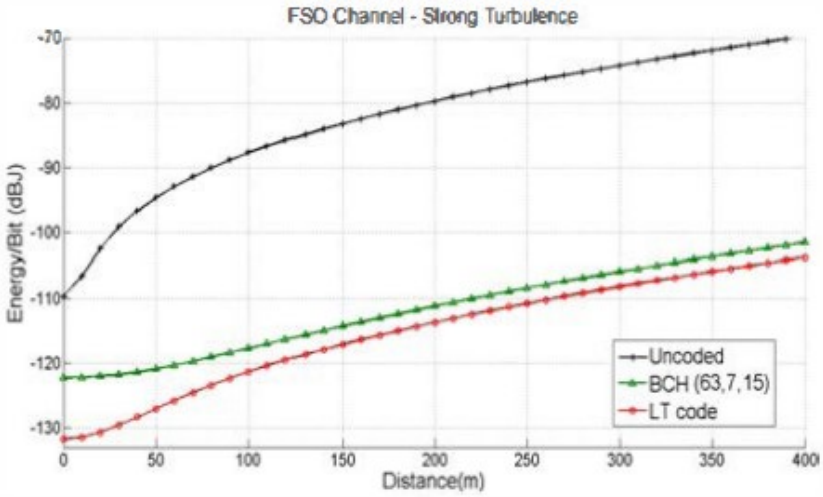


Рис. 3. Сравнение производительности кодов БЧХ и кодов LT

Выводы

Обобщая все вышесказанное можно сделать вывод, что для определенных сфер применения подобных дронов, в частности в военной сфере, спецслужбах, разведке, разработанная система является актуальной. В связи с этим, использование защищенной атмосферной оптической связи для управления группами дронов является эффективным и надежным.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Тетерюк А. С, Чижевский Я.А.* Беспилотные летательные аппараты в асимметричных конфликтах // Клуб учебной аналитики / Научная статья – М.:2012.
2. Drone swarm with free-space optical communication to detect and make deep decisions about physical problems for area surveillance / W. Mazher, O. N. Ucan, H. T. Al-Rayes. // Optical Engineering – Vol. 57(03). – 2018.
3. Рои беспилотников // RoboTrends URL: http://robotrends.ru/robopedia/roi-bespilotnikov (дата обращения: 15.05.2021).
4. Watch: us military releases swarm of micro-drones from f/a-18 // SOFREP URL: https://sofrep.com/fightersweep/watch-us-military-releases-swarm-of-micro-drones-from-f-a-18/ (дата обращения: 01.04.2020).

5. *Темрин Д.В., Яцемирская В.С.* ЗАЩИЩЕННАЯ ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ГРУППОЙ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ // Студенческий вестник / Научная статья – Таганрог:2020.
6. Analysis of Free-Space Optics Development / J. Mikołajczyk, Z. Bielecki, M. Bugajski, J. Piotrowski // Metrology and Measurement Systems– Vol.24. – 2017.
7. Free Space Optical Communications: An Overview / M.N.O. Sadiku, S.M. Musa, Sudarshan R. Nelatury // European Scientific Journal – Vol. 12 №9. – February 2016.
8. Outdoor Visible Light Communication in Intelligent Transportation Systems: Impact of Snow and Rain / R. W. Zaki, H. A. Fayed, A. A. Aziz, M. H. Aly // Article – 2019.
9. BER performance and Energy Efficiency of Luby Transform codes with varying BPSK thresholds over the Free Space Optical channel / G. Prakash, M. Kulkarni, U. Sripati // International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics – 2013.
10. *Nayak A.* Performance Analysis of LT codes and BCH codes in RF and FSO Wireless Sensor Networks // International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics – 2014.

Темрин Денис Владимирович, студент Института компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Чехова 2, 347922, телефон: +7 (928) 107-01-99, email: temrin@sfedu.ru.

Яцемирская Виктория Сергеевна, студент Института компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Чехова 2, 347922, телефон: +7 (928) 107-08-83, email: yacemirskaya@sfedu.ru.

Temrin Denis Vladimirovich, student of the Institute of Computer Technologies and Information Security of the Southern Federal University, Taganrog, Russia, Chekhov Street 2, 347922, phone: +7 (928) 107-01-99, email: temrin@sfedu.ru.

Yatsemirskaya Victoria Sergeevna, student of the Institute of Computer Technologies and Information Security of the Southern Federal University, Taganrog, Russia, Chekhov Street 2, 347922, phone: +7 (928) 107-08-83, email: yacemirskaya @sfedu.ru.

УДК 621.391.3

Плаксиенко Владимир Сергеевич, Плаксиенко Нина Евгеньевна

ОСОБЕННОСТИ КОМБИНИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ ПРИ МНОГОЛУЧЕВОМ ПРИЕМЕ

Анализируются процедуры комбинирования при реализации решающих правил уровневой обработки сигналов в условиях многолучевого приема при значительной априорной неопределенности. Показана эффективность такой обработки в условиях многолучевого распространения.

Прием, комбинирование, сигналы, замирания.

Plaksienko Vladimir Sergeevith, Plaksienko Nina Evgenievna

SPECIFIC FEATURES OF SIGNAL COMBINATION IN MULTI-BEAM RECEPTION

Combination procedures are analyzed for the implementation of decision rules for level signal processing under conditions of multipath reception with significant a priori uncertainty. The efficiency of such processing in the conditions of multi-beam propagation is shown.

Reception, combination, signals, fading.

Введение

Принятие решения при обработке дискретных сигналов может сводиться к установлению факта: энергия какого из процессов при обработке сигналов больше [1-3]. Использование теории выбросов даже при анализе их детальных характеристик является сложной задачей. Ряд аспектов теории принятия решений сводятся к рассмотрению вопроса о соотношении уровней процессов. Прием сигналов можно условно разбить на два этапа: выделение или селекция сигнала, т.е. на основе использования априорной информации получение максимального соотношения сигнал/шум и принятие решения.

Эффективность решения зависит от условий приема и допустимой сложности аппаратуры, в том числе от количества процедур обработки, когда точность и быстрота реализации определяют целесообразность их применения.

Узкополосные фильтры ограничивают скорость работы. Широкополосные фильтры приводят к взаимопроникновению сигналов

соседних по частоте каналов, т.е. нарушается ортогональность.

В реальных условиях процессы на выходах фильтров соседних каналов имеют статистические взаимосвязи, тем большие, чем больше взаимные перекрытия спектров сигналов. Детальное рассмотрение процедуры разделения сигналов по частотному признаку показывает, что в случае перекрывающихся амплитудно-частотных характеристик фильтров можно говорить о попарно-зависимых процессах соседних по частоте каналов. Это важно при использовании нелинейных, либо линейно-логических процедур оптимизации.

Основная часть

Постановка задачи. Если при приеме невозможна реализация обработки в полосе, согласованной с шириной спектра сигналов, например при их замираниях, необходимо использовать избыточность ширины спектров обрабатываемых процессов. Описанные в литературе [1-9] процедуры комбинирования сигналов по сути являются процедурами уровневой обработки и относятся к статистическим алгоритмам оптимизации. Оценим их эффективность.

Синтез алгоритма принятия решения. В [1,6-9] проведено рассмотрение особенностей обработки дискретных сигналов в условиях априорной неопределенности. Задачу можно решить путем параллелизма процедуры принятия решения, которая тем сложнее, чем выше требуемая точность шире диапазон изменения длительностей элементарного символа.

Применение адаптивных процедур либо требует значительного времени на адаптацию, либо технически нереализуемо из-за значительной априорной неопределенности. Синтезируемый эвристически алгоритм основан на исследовании и учете свойств взаимных превышений двух и более случайных процессов.

В указанных условиях возможно применение только непараметрических алгоритмов принятия решения. Такие статистические характеристики выбросов случайных процессов, как длительность выбросов (превышений) $t_П$, длительность интервалов между выбросами $T_И$, значения максимумов выбросов ξ_m и т.д. [4,5], сами по себе представляют интерес как детальные характеристики выбросов.

Алгоритмы оптимизации принятия решения могут быть основаны именно на учете одной из детальных характеристик выбросов случайных процессов, например, число пересечений порога за время наблюдения, длительность интервалов превышения порога и т.д. Задача определить

информативные признаки детальных характеристик взаимных превышений случайных процессов, инженерный учет которых позволит оптимизировать прием и обработку дискретных сигналов в указанных условиях.

С энергетической точки зрения в условиях значительной априорной неопределенности наибольшую точность обеспечит учет площадей взаимных превышений $S_П$ (в пределе энергий), но это сложно реализовать в реальном масштабе времени алгоритмически, и тем более технически.

Понятие выброс одного над порогом процесса является частным случаем понятия взаимных превышений для двух и более случайных процессов. При обработке бинарных сигналов задача анализа выбросов разностного процесса относительно нулевого порога адекватна задаче анализа взаимных превышений огибающих двух процессов в каналах обработки сигналов.

Исследования показали, что в реальном масштабе времени наиболее перспективным является совместный учет при принятии решения двух и более детальных характеристик выбросов, являющихся оценками площадей превышений, в частности по длительности и по величине превышения. Так как именно произведение длительности на уровень (амплитуду) превышения (с учетом коэффициента формы превышения) является параметром, прямо пропорционально связанным с площадью превышения.

При анализе целесообразно пользоваться *относительным превышением* $q = X_i(t)/X_j(t)$, где $X_i(t)$ и $X_j(t)$ − анализируемые процессы и *относительной длительностью* превышений $\Theta = t_П/\tau_К$, где $t_П$ – длительность превышения , $\tau_К$ – интервал корреляции процессов на выходе линейной части приемника, определяемый его полосой пропускания.

Именно учет Θ и q приближается по достоверности к показателям, получаемым при учете площадей превышений $S_П$, и сравнительно несложно реализуется технически. В бинарной ситуации при формировании двухпараметрических распределений в соответствии с термином превышения q должно быть больше единицы, поэтому оно определяется соотношением [6-8]

$$q = \begin{cases} \dfrac{x_1(t)}{x_2(t)}; & x_1(t) \geq x_2(t); \\ \dfrac{x_2(t)}{x_1(t)}; & x_2(t) \geq x_1(t). \end{cases} \qquad (1)$$

Можно анализировать двух и многопараметрические распределения взаимных превышений, соответственно для двух и более случайных процессов.

Исследования законов распределения взаимных превышений огибающей смеси сигнала и шума и огибающей шума показали, что для повышения точности принятия решения необходимо сократить общее количество взаимных превышений процессов. Следует преобразовать процессы таким образом, чтобы, не нарушая отношения правдоподобия, получить формы двумерных распределений, легко различаемые решающим устройством.

Задачу можно решить применением модифицированного алгоритма комбинированного сложения [6,8]

$$X_{1П}(t) = [X_1(t) - K\,X_{2П}(t)]\;1\;[X_1(t) - K\,X_2(t)] \qquad (2)$$
$$X_{2П}(t) = [X_2(t) - K\,X_{1П}(t)]\;1\;[X_2(t) - K\,X_1(t)],$$

где $X_{1П}(t)$ и $X_{2П}(t)$ – процессы после обработки; K − коэффициент, принимающий значения от 0 до 1; $1[Z(t)]$ − единичная ступенчатая функция, которая равна 1 при $Z(t) > 0$ и 0 при $Z(t) < 0$.

После линейно-логической обработки по алгоритму (2) спектры процессов $X_{1П}(t)$ и $X_{2П}(t)$ расширяются, и их необходимо ограничить до ширины спектров исходных процессов $X_1(t)$ и $X_2(t)$. Значение K определяет реализуемые модификации методов и устройств комбинированного сложения.

Так, при К=1 реализуется автовыбор в разнесенном приеме [4] и взаимное преобразование при принятии решения [6], при этом из детальных характеристик превышений учитывается только факт превышения одного процесса другим. При К= 0,414 реализуется комбинированное сложение в разнесенном приеме, а при 1≥К≥0 – реализуется модифицированный алгоритм комбинированного сложения, то есть при принятии решения, учитывается и факт превышения одного процесса другим и уровень превышения q [6].

В результате эвристического синтеза реализуются линейно-логические статистические процедуры над исходными процессами. Так, при К = 1, (2) реализуется автовыбор процессов во времени, т.е. непрерывные во времени процессы (рис. 1,а) превращаются в последовательности импульсов со случайными амплитудами $x_1^{(1)}(t)$ и $x_2^{(1)}(t)$ (рис. 1,б и рис. 1,в), плотности распределения вероятностей которых представлены на рис. 2,а ($W_2^{(1)}$) и на рис. 2,б ($W_1^{(1)}$)

$$W_1^{(1)}(x) = A_1\delta(x) + W_1(x)F_2(x), \quad (3)$$

$$W_2^{(1)}(x) = A_2\delta(x) + W_2(x)F_1(x), \quad (4)$$

где коэффициенты A_1 и $A2$ определяются из условия нормировки

$$A_1 = 1 - \int_0^\infty W_1(x)F_2(x)dx, \qquad A_2 = 1 - \int_0^\infty W_2(x)F_1(x)dx \quad (5)$$

где $F_1(x)$ и $F_2(x)$ − интегральные функции распределения.

Часть времени процессы $x_2^{(1)}(t)$ и $x_1^{(1)}(t)$ равны нулю, поэтому их плотности распределения вероятностей будут содержать дельта-функции δ(x) (рис. 2).

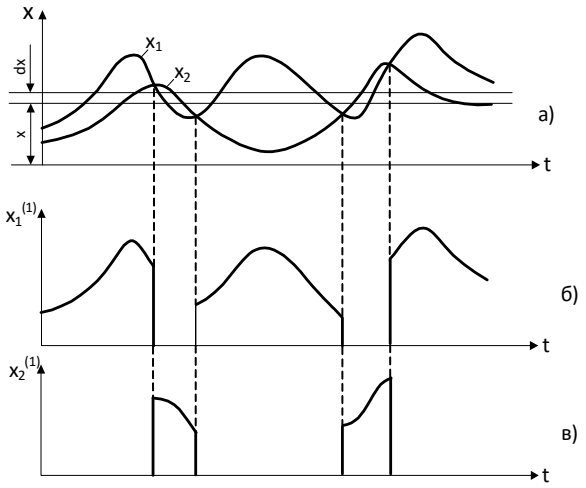


Рис. 1

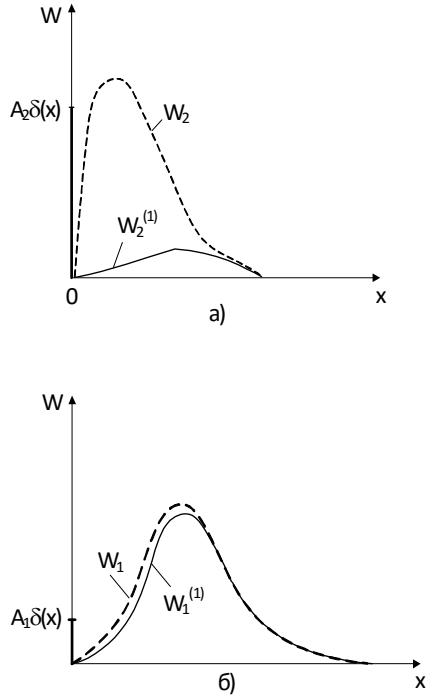


Рис. 2

Из рассмотрения соотношений (3) и (4) и рис. 2 видим, что плотности вероятности процессов после обработки по правилу (2) при К=1 определяются произведениями плотностей распределения вероятностей исходных процессов на функции распределения вероятностей процессов в другом канале.

Из рассмотрения рис. 1,б и рис. 1,в следует, что процессы после обработки по правилу (2) имеют импульсный характер, поэтому их спектры будут значительно шире спектров исходных непрерывных процессов. В итоге полная процедура обработки включает две операции: линейно-логическую по правилу (2) и операцию фильтрации. Именно фильтрация учитывает второй параметр – относительную длительность и

ограничивает спектры полученных процессов в границах, задаваемых при формировании исходных процессов $X_1(t)$ и $X_2(t)$.

лгоритм (2) эффективен и в случае, когда сигналы зависимы вплоть до значений коэффициентов взаимной корреляции $\rho = 0{,}5 – 0.6$. Это согласуется с результатами, полученными в ряде работ для задач разнесенного приема [2,3].

Выводы

Оптимизация процедуры принятия решения при обработке сигналов в условиях априорной неопределенности может быть выполнена на основе непараметрических алгоритмов, основанных на эвристическом учете одной, двух и более детальных характеристик взаимных превышений случайных процессов. Чем большее количество детальных характеристик учитывается, тем сложнее алгоритм и тем большую инвариантность по помехоустойчивости, в условиях изменения длительности ожидаемых сигналов, он обеспечивает.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Финк Л.М.* Теория передачи дискретных сообщений. М.: Сов. радио, 1970. - 728 с.
2. Лекции по теории систем связи/ Под ред. Е.Дж. Багдади: Пер. с англ./ Под ред. Б.Р. Левина.- М.: Мир, 1964.- 649 с.
3. Связь с подвижными объектами на СВЧ/ Под ред. У.К. Джейкса: Пер. с англ./Под ред. М.С. Ярлыкова, М.В. Чернякова.- М.: Связь, 1979.- 520 с.
4. *Фомин Я.А.* Теория выбросов случайных процессов. - М.: Связь, 1980.- 216 с.
5. *Тихонов В.И.* Выбросы случайных процессов.- М.: Наука, 1970.- 392 с.
6. Уровневая стстистическая обработка дискретных сигналов./В.С. Плаксиенко. – М.: Учебно-методический и издательский центр «Учебная литература», 2006. – 274 с.
7. *Плаксиенко В.С., Плаксиенко Д.В.* Комбинированное сложение сигналов. Радиотехника. Вып.54. Радиоэлектронные устройства и системы управления, локации и связи. М., ИПРЖР, 2001, №7. С.70-72.
8. А.с. 1067613 СССР. Способ некогерентного приема двоичных сигналов/ Плаксиенко В.С. Опубл. в Б.И., 1984, № 2.
9. *Плаксиенко В.С., Плаксиенко Н.Е.* Оптимизация приема и обработки замирающих сигналов. Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении «КомТех-2020» том 1. Материалы ВНТК с между-

народным участием имени профессора О.Н. Пьявченко: в 2 т. / ЮФУ. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство ЮФУ, 2020. С. 291-296.

Плаксиенко Владимир Сергеевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры ВиРС ИРТСУ ИТА Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, пер. Некрасовский 1, 347900, телефон: +7 (8634) 37-16-26, email: vsplaksienko@sfedu.ru.

Плаксиенко Нина Евгеньевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры ВиРС ИРТСУ ИТА Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, пер. Некрасовский 1, 347900, телефон: +7 (8634) 37-16-26, email: neplaksienko@sfedu.ru.

Plaksienko Vladimir Sergeevith, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), professor of ViRS department Southern Federal University, 347900, Russia, Taganrog, Nekrasovsky, phone: +7 (8634) 37-16-26, email: vsplaksienko@sfedu.ru.

Plaksienko Nina Evgenievna, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), assistance professor of ViRS department Southern Federal University, 347900, Russia, Taganrog, Nekrasovsky, phone: +7 (8634) 37-16-26, email: neplaksienko@sfedu.ru.

УДК 621.391.3

Плаксиенко Владимир Сергеевич, Плаксиенко Нина Евгеньевна

АЛГОРИТМЫ КОМБИНИРОВАНИЯ ПРИ ПРИЕМЕ СИГНАЛОВ

Приводится классификация методов обработки сигналов при разнесенном приеме, анализируются потенциальные возможности этих методов, приводятся временные диаграммы при реализации соответствующих процедур комбинирования Показана эффективность модифицированного метода комбинированного сложения.

Прием, обработка, комбинирование, сигналы, замирания.

Plaksienko Vladimir Sergeevith, Plaksienko Nina Evgenievna

COMBINATION ALGORITHMS FOR RECEIVING SIGNALS

A classification of signal processing methods for diversity reception is given, the potential capabilities of these methods are analyzed, time diagrams are given for

the implementation of the appropriate combination procedures. The effectiveness of the modified combined addition method is shown.

Reception, processing, combining, signals, fading.

Введение

В настоящее время уделяется большое внимание развитию многоканальных антенных систем, которые находят применение в информационных системах различного назначения.

Главной проблемой является значительное увеличение скорости передачи данных и повышение качества обслуживания пользователей (уменьшение вероятности ошибки). Эта проблема особенно актуальна в мобильных (сотовых) системах связи и в беспроводных компьютерных сетях, работающих в сложных условиях распространения радиоволн.

Например, чтобы в условиях релеевских замираний сигналов уменьшить вероятность ошибки в 10 раз мощность должна быть увеличена на 10 дБ. Иными словами, задачу увеличения скорости передачи данных в беспроводных системах связи необходимо решать в условиях жестких ограничений на частотную полосу сигналов и на мощность передающих устройств.

Основная часть

Ошибки передачи информации можно существенно уменьшить, а пропускную способность увеличить с помощью разнесенного в пространстве приема/передачи сигналов несколькими антеннами, то есть за счет использования, например, антенной решетки (АР) с адаптивной пространственной обработкой сигналов. Разнесение антенн должно быть выбрано таким, чтобы замирания сигналов в различных антеннах были бы достаточно слабо-коррелированными между собой.

Более перспективным, но и более сложным является использование АР на обоих концах линии связи, то есть применение так называемых MIMO (multiple input – multiple output) систем, которые *позволяют* более *эффективно* использовать мощность передатчика и *бороться с замираниями сигналов*. Увеличение эффективности достигается за счет использования методов пространственно-временной обработки (кодирования), обеспечивающих передачу и прием параллельных потоков информации.

Системы, где применяются АР только на передающей стороне называются MISO (multiple input – single output). Аналогичными свойствами

обладают известные в литературе системы разнесенного приема [1 – 4, 6, 7]. Именно алгоритмы разнесенного приема в той или иной степени могут быть реализованы в АР. В случае, когда антенны передатчика и/или приемника не расположены в тех же самых устройствах, системы MIMO упоминаются как множественные передатчики множественные приемники (MTMR – Multiple Transmitters Multiple Receivers).

Разнесение должно быть выполнено таким образом, чтобы замирания сигналов в различных каналах были бы слабо-коррелированными между собой. Известно однако, что даже при значительной корреляции (до значений коэффициента взаимной корреляции $\rho = 0.7$) основные преимущества разнесенного приема сохраняются.

В [1] проведено детальное рассмотрение методов формирования каналов разнесенного приема, методов комбинирования сигналов и их фазирования, сформулированы требования к системам их реализации. АР позволяют сформировать достаточно слабо-коррелированные между собой сигналы и таким образом решить задачу формирования каналов разнесения сигналов.

Все методы комбинирования (обработки) сигналов различных каналов можно разбить на методы сложения и переключения [2], в работах [5-8] показано, что эффективен модифицированный метод комбинированного сложения, основанный на уровневой обработке сигналов (рис. 1).

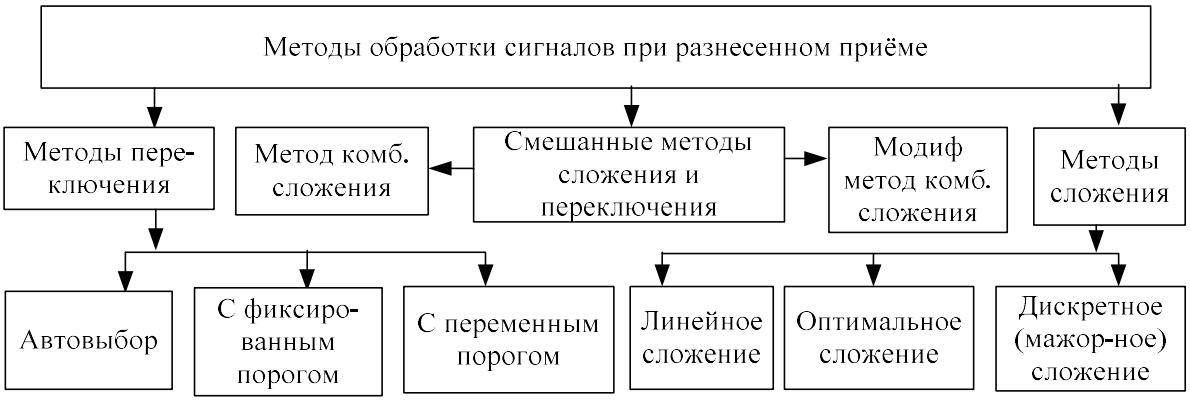


Рис. 1

Рассмотрим потенциальные возможности методов комбинирования разнесенных сигналов на примере сдвоенного приема. Определим, для каких пар величин эффективного отношения сигнал/шум в двух каналах $U_{Э2}/\sigma_П$ результирующее отношение будет равно некоторой величине h при использовании представленных на рис. 1 способов комбинирования разне-

сенных сигналов. Для этого используем кривые, по осям координат которых отложены эффективные отношения сигнал/шум в каждом канале [2] – рис. 2. На рис. 3 представлены временные диаграммы при реализации различных алгоритмов.

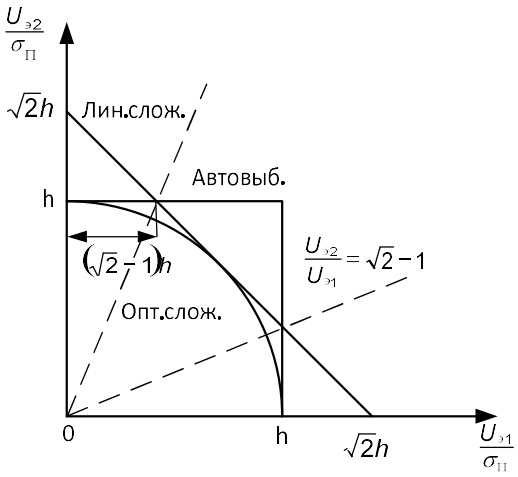


Рис. 2

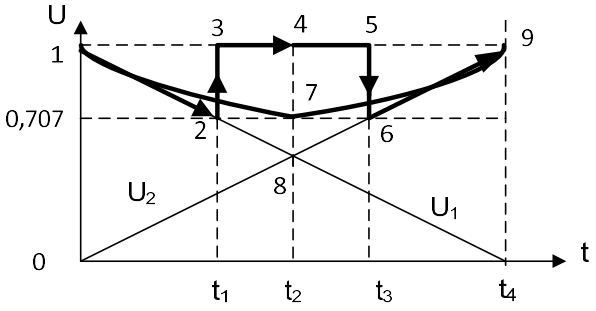


Рис. 3

При *автовыборе* выходное эффективное отношение сигнал/шум равно h только тогда, когда это отношение в одном из каналов равно h,а в другом - изменяется в пределах от 0 до h (процесс на рис. 3 пройдет через точки 1,2,8,6,9). При *оптимальном сложении* эффективное отношение сигнал/шум на выходе по теореме Бреннана равно h, если только

$$\left(\frac{S_1}{N_{эфф}}\right)^2 + \left(\frac{S_2}{N_{эфф}}\right)^2 = h^2.$$

Это равенство определяет соответствующую кривую как часть круга в первом квадранте радиусом h с центром в начале координат (процесс на рис. 3 пройдет через точки 1,7,9). При *линейном сложении* кривая определяется уравнением $\frac{S_1 + S_2}{\sqrt{N_{эфф}^2 + N_{эфф}^2}} = h$, откуда $\frac{S_1}{N_{эфф}} + \frac{S_2}{N_{эфф}} = \sqrt{2}h$.

Это уравнение прямой линии (процесс на рис. 3 пройдет через точки 1,3,4,5,9).

Кривая для оптимального сложения лежит внутри площадки, ограниченной двумя другими кривыми и осями координат, т.е. при оптимальном сложении для получения определенного уровня отношения сигнал/шум на выходе требуются самые низкие значения этого отношения в складываемых каналах. Оптимальное сложение всегда реализует максимальное отношение сигнал/шум.

При отношении амплитуд входных сигналов в пределах с $0.414 < \frac{S_1}{S_2} < \frac{1}{0.414}$ характеристики системы с линейным сложением лучше характеристик автовыбора, и, наоборот, вне этого интервала автовыбор лучше линейного сложения.

Кривая для линейного сложения удовлетворительно аппроксимирует кривую для оптимального сложения, пока $0.414 < \frac{S_1}{S_2} < \frac{1}{0.414}$, в то время как кривая для автовыбора хорошо аппроксимирует кривую для оптимального сложения вне этого интервала. Приближением к системе оптимального сложения служит система, характеристики которой соответствуют характеристикам линейного сложения до тех пор, пока $0.414 < \frac{S_1}{S_2} < \frac{1}{0.414}$, и характеристикам автовыбора вне этого интервала. Это пример *комбинированного метода сложения*. При *комбинорованном сложении* процесс на рис. 3 пройдет через точки 1,2,3,4,5,6,9.

Следует отметить, что при реализации метода комбинированного сложения принципиально имеют место коммутационные помехи и паразитная амплитудная модуляция при переходе от алгоритма сложения к алгоритму автовыбора и наоборот.

Выводы

Анализ показывает, что реализация *модифицированного алгоритма комбинированного сложения* обеспечивает соответствие кривых для комбинированного сложения на рис. 2 и отсутствие коммутационных помех и амплитудной модуляции, т.к. суммарный процесс пройдет через точки 1,2,6,9 – рис. 3,а [5].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Радиоприемные устройства: Учебник для вузов/Н.Н. Фомин, О.В. Головин, В.С. Плаксиенко, и др.; Под редакцией Н.Н. Фомина. – 3-е издание стереотип. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007 – 520 с.
2. Связь с подвижными объектами в диапазоне СВЧ./Под ред. У.К. Джейкса. – М.: Связь, 1979. –520 с.
3. *Brennan D.G.* Linear diversity combining techniques. “IRE”, 1959, Vol. 47 (b), N 6, p. 1075 – 1102.
4. *Багдади Е.Д.* Лекции по теории систем связи. – М.: Мир, 1964. –402 с.

5. *Плаксиенко В.С.* Уровневая статистическая обработка дискретных сигналов. – М.: Учебно-методический и издательский центр «Учебная литература», 2006. – 274 с.
6. *Плаксиенко В.С.* Методы разнесенного приема в мобильных системах связи. В кн.: Вопросы формирования и обработки сигналов в радиотехнических системах. Таганрог, 1979,вып. Ш , с. 45 – 49.
7. *Плаксиенко В.С.* Методы обработки сигналов при разнесенном приеме. В кн.: Вопросы формирования и обработки сигналов в радиотехнических системах. Таганрог, 1980, вып. IV, с. 46 – 50.
8. Устройства приема и обработки сигналов: Учебное пособие/ В.С. Плаксиенко, Н.Е. Плаксиенко, С.В. Плаксиенко; Под редакцией В.С. Плаксиенко. – М.: Учебно-методический и издательский центр «Учебная литература», 2004, - 376 с.
9. *Плаксиенко В.С., Плаксиенко Н.Е.* Оптимизация приема и обработки замирающих сигналов. Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении «КомТех-2020» том 1. Материалы ВНТК с международным участием имени профессора О.Н. Пьявченко: в 2 т. / ЮФУ. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство ЮФУ, 2020. С. 291-296.

Плаксиенко Владимир Сергеевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры ВиРС ИРТСУ ИТА Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, пер. Некрасовский 1, 347900, телефон: +7 (8634) 37-16-26, email: vsplaksienko@sfedu.ru.

Плаксиенко Нина Евгеньевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры ВиРС ИРТСУ ИТА Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, пер. Некрасовский 1, 347900, телефон: +7 (8634) 37-16-26, email: neplaksienko@sfedu.ru.

Plaksienko Vladimir Sergeevith, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), professor of ViRS department Southern Federal University, 347900, Russia, Taganrog, Nekrasovsky, phone: +7 (8634) 37-16-26, email: vsplaksienko@sfedu.ru.

Plaksienko Nina Evgenievna, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), assistance professor of ViRS department Southern Federal University, 347900, Russia, Taganrog, Nekrasovsky, phone: +7 (8634) 37-16-26, email: neplaksienko@sfedu.ru.

УДК 621.396

Федосов Валентин Петрович, Пацюк Тимур Тимофеевич

АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ MIMO-OFDM В УСЛОВИЯХ АКТИВНЫХ ПОМЕХ

В данной работе рассмотрен алгоритм обработки пространственно-временных сигналов на основе MIMO-OFDM системы связи при наличии активных помех. Приведены теоретические выкладки, уникальные подходы, математические операции, необходимые для повышения пропускной способности канала связи при нахождении в нём точечного источника активных помех.

MIMO (Multiple Input Multiple Output), OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), антенная решетка (АР), базовая станция (БС), мобильная станция (МС), беспроводная связь, пропускная способность, активная помеха.

Fedosov Valentin Petrovich, Patsyuk Timur Nimofeevich

ALGORITHM FOR PROCESSING SPACE-TIME SIGNALS BASED ON THE MIMO-OFDM SYSTEM UNDER ACTIVE INTERFERENCE

An algorithm for processing space-time signals based on a MIMO-OFDM communication system in the presence of active interference is described in this article. Theoretical calculations, unique approaches, mathematical operations necessary to increase the throughput of a communication channel when a point source of active interference is found in it are presented.

MIMO (Multiple Input Multiple Output), OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), antenna array (AR), base station (BS), mobile station (MS), wireless connection, bandwidth, active interference.

Введение

Стремительное развитие технологий передачи информации началось в середине XX века, благодаря развитию микроэлектроники и высокоскоростных цифровых процессоров. Сейчас с совершенствованием средств обмена данными, появлением сетей связи третьего (3G), четвертого (4G/LTE) и пятого (5G) поколения запросы пользователей невероятно возросли. Оттого значительно ценится скорость передачи и объёмы переданной информации. Потому сейчас большое развитие получили MIMO-OFDM (Multiple Input Multiple Output - Orthogonal Frequency Division

Multiplexing) системы связи. Они позволяют увеличивать пропускную способность без расширения полосы пропускания [1], эффективно использовать радиочастотный спектр, а также противостоять межсимвольным помехам и интерференциям между поднесущими.

Городская инфраструктура не позволяет нам рассчитывать на беспрепятственное распространение сигнала. Здания, автомобили, ЛЭП – всё это становится барьерами для прохождения сигнала от передатчика к приёмнику по прямому пути. Важным фактором в плотной городской застройке являются и другие каналы связи, которые могут «влезть» в полосу канала из-за нелинейности передатчика другой станции. Также качественный прием информации могут намеренно нарушать источники активных помех [2,3].

Постановка задачи

Целью проведенного исследования является повышение пропускной способности MIMO-OFDM-системы связи в условиях активных помех.

Исходные данные

Средой распространения сигнала выберем воздушную среду в городских условиях (плотная застройка). В качестве источника помехи используется модель точечного в пространстве источника с шумовой (нормальной) помехой. Источник с неизвестными координатами находится в канале связи.

Метод решения

Использование технологии MIMO (рис. 1) позволяет увеличить пропускную способность за счет одновременной передачи нескольких потоков данных через различные элементы антенной решетки (АР). Сигналы, излучаемые каждым из элементов, занимают одну полосу частот. Несмотря на то, что распространяются они в одной среде, за счет пространственной обработки такие сигналы могут быть разделены приемником, который также использует АР.

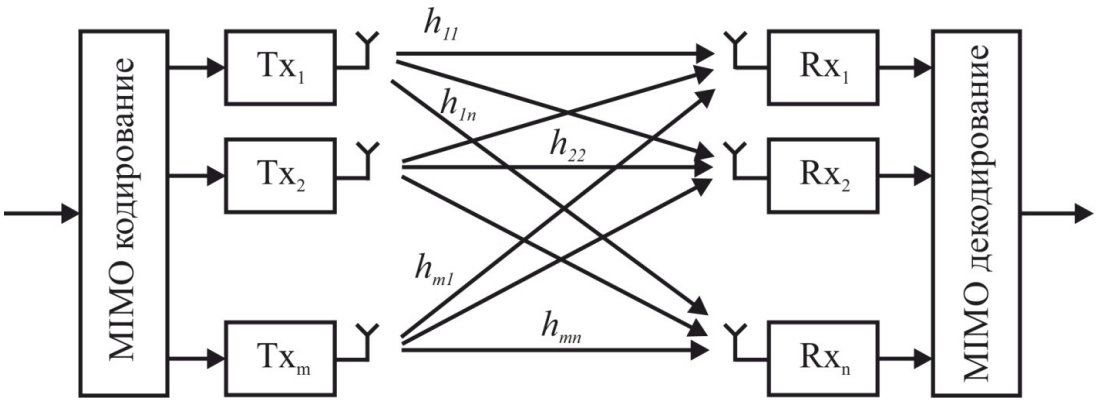


Рис 1. Структурная схема MIMO-системы связи

Матрица коэффициентов передачи канала связи при этом выглядит следующим образом:

$$\mathbf{H}(t,\tau)=\begin{bmatrix} h_{11}(t,\tau) & h_{12}(t,\tau) & h_{13}(t,\tau) & \dots & h_{1N_t}(t,\tau) \\ h_{21}(t,\tau) & h_{22}(t,\tau) & h_{21}(t,\tau) & \dots & h_{2N_t}(t,\tau) \\ h_{31}(t,\tau) & h_{32}(t,\tau) & h_{33}(t,\tau) & \dots & h_{3N_t}(t,\tau) \\ . & . & . & \dots & . \\ h_{N_r1}(t,\tau) & h_{N_r2}(t,\tau) & h_{N_r3}(t,\tau) & \dots & h_{N_rN_t}(t,\tau) \end{bmatrix}.$$

Технология OFDM представляет собой сочетание модуляции и мультиплексирования. Она повышает устойчивость канала связи против частотно-избирательных замираний, вызванных многопутным распространением сигналов. OFDM-сигнал состоит из множества ортогональных поднесущих, входящих в состав одного основного сигнала, а каждая поднесущая модулируется своим битовым потоком. При передаче информации ввиду наличия препятствий и помех отдельные поднесущие OFDM-сигнала могут быть искажены, а это может стать причиной потери информационных битов, входящих в состав передаваемого пакета. Тем не менее, применение технологии помехоустойчивого кодирования на передатчике позволяет в достаточной мере восстановить сигнал на приемной стороне.

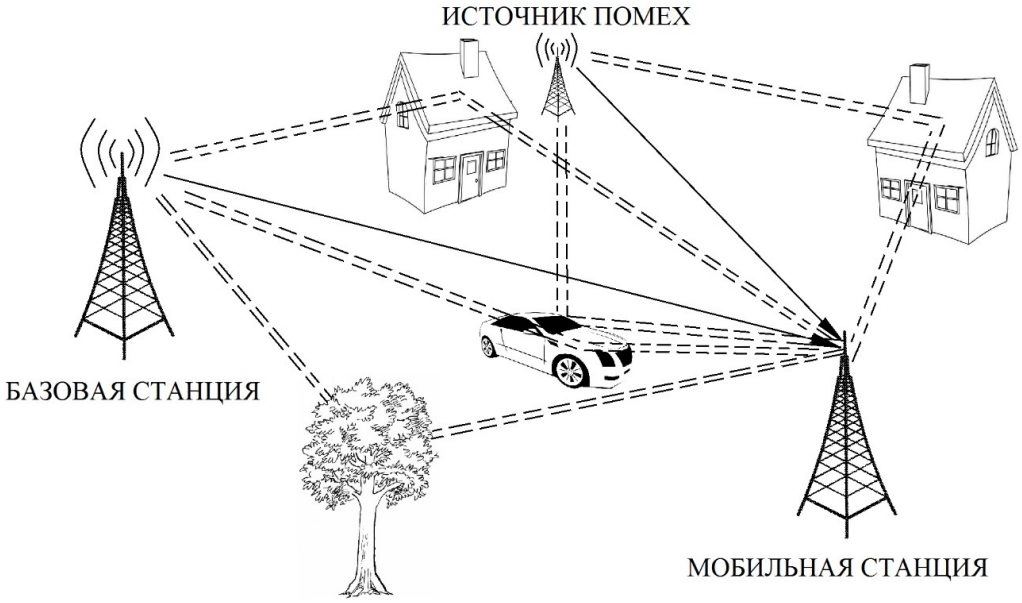
Рассмотрим упрощенную модель канала связи без помех. В нем присутствует базовая станция (БС) и мобильная станция (МС). И БС, и МС обладают как приёмниками, так и передатчиками. Чтобы обеспечить адаптацию MIMO на приёме [4], разобьём антенную решётку приёмника МС на несколько блоков. На выходе АР приёмника строится пространственная корреляционная матрица. Затем находятся собственные числа, собственные вектора и строится соответствующая матрица. Отметим, что собственные числа здесь представляют собой мощности сигналов, пришедших на АР приёмника разными путями в совокупности с шумами приемной системы.

Проанализируем собственные числа с помощью критерия максимума отношения сигнал/шум (ОСШ). В алгоритм закладывается операция выбора максимального собственного числа (т.е. на раскрыв АР приходит максимальная мощность этого пути). Тогда выбирается соответствующий собственный вектор и коэффициенты столбца используются как весовой вектор. В этом случае получаем отдельную антенну из блока, у которой мак-

симум характеристики направлен на конкретно выбранный путь, а на остальные пути формируются нулевые значения, и затем обеспечиваем такую обработку в каждом блоке.

Таким образом, приёмник адаптирован на один канал, однако эта же АР используется и для передачи [5]. По выбранному пути (чаще всего это будет прямой путь, если он есть) сигнал уйдет в обратную сторону, причем с максимальной мощностью. В приёмнике БС также обеспечивается адаптация, строится корреляционная матрица. Максимальное собственное число при этом будет одно, остальные подавляются (т.к. сигнал не излучается по другим направлениям). Собственный вектор, соответствующий собственному числу, используется уже для приёма MIMO-системы в БС. Иными словами, приемник БС аналогично разбивается на блоки, а затем они адаптируются на выбранный путь. Подобного рода адаптация является текущей, то есть она обеспечивается прямо в процессе приёма (приёмник в таком случае называется «информированным»).

Теперь рассмотрим работу алгоритма в условиях помех. Пусть имеем дезинформирующую активную помеху, которая создаётся точечным передатчиком. Он при этом не соответствует положению БС. Поскольку канал



распространения сигнала тот же самый, то число путей, приходящих на приёмник, увеличивается вдвое: сигнальные пути от БС и пути от помеховой станции (рис. 2).

Рис 2. Модель канала связи с источником активных помех

В предыдущем случае (без помехи) использовался критерий максимума ОСШ, однако здесь он не подходит: при выборе собственного числа возникает вопрос, каким оно является (помеховым или сигнальным). Потому будем использовать винеровский критерий [6], в котором обеспечивается минимум среднеквадратической погрешности воспроизведения пилот-сигнала в OFDM. В этом случае выбирается сигнальное собственное число, собственный вектор, производится весовая обработка, принимается сигнал, и мы проверяем его по критерию минимума ошибки.

Технология OFDM подразумевает наличие пилот-поднесущих, известных на приёмной стороне по частоте и по коду модуляции. В расшифрованном коде выбираются места этих пилотов, производится сравнение по среднеквадратической ошибке, затем обеспечивается пороговая обработка. При большой ошибке происходит отказ от этого собственного числа. Так методом перебора ищется минимальная приемлемая ошибка, которая будет на основе пилот-поднесущей. Это будет означать, что обнаружен сигнал и его собственный вектор будет использоваться для весовой обработки.

Выводы

Разработанный алгоритм позволяет увеличить пропускную способность канала при наличии в нем точечного источника активных помех. Обеспечение адаптации элементов АР на приемной стороне даёт возможность выбора одного (в большинстве случаев прямого) пути, по которому приходит максимальный сигнал, и подавления остальных (шумовых). Точно так же и при обратной передаче. Таким образом, мощность передатчика тратится исключительно на путь, позволяющий обеспечить максимальную эффективность работы канала на приём.

Использование винеровского критерия вместо критерия максимума ОСШ позволяет осуществлять качественную обработку сигнала даже тогда, когда на канал связи оказывают влияние помехи, как вызванные «влезанием» соседних станций (ввиду нелинейности передатчика), так и созданные намеренно источником активных помех. Благодаря пороговой обработке производится корректный выбор переданного БС сигнала, который пришел на раскрыв приемной АР.

Моделирование показывает существенное снижение вероятности битовой ошибки и повышение пропускной способности канала связи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Федосов В.П., Кучерявенко С.В., Муравицкий Н.С.* Повышение эффективности радиосвязи в релеевском канале на основе антенных решеток // Антенны. – 2008. – № 11. – С. 98-104.
2. *Муравицкий Н.С., Федосов В.П.* Метод улучшения приёма в системе беспроводной передачи данных на основе антенных решеток при наличии активных помех // Труды международной научной конференции «Излучение и рассеяние ЭВМ - ИРЭМВ». – Таганрог: ТТИ ЮФУ. 2009. – С. 412-515.
3. *Taiwen Tang, R.W. Heath*. Space-time interference cancellation in MIMO-OFDM systems // IEEE Transactions on Vehicular Technology. – 2005. – С. 1802-1816.
4. *Федосов В.П., Муравицкий Н.С.* Адаптивная приемная антенная решетка для обработки пространственно-временных сигналов в MIMO-системе беспроводной передачи данных // Антенны. – 2011. – № 8. – С. 35-43.
5. *Федосов В.П.* Алгоритмы совместной адаптации на приём и передачу в системе связи на основе антенных решёток при наличии активных помех. – Прикладная электродинамика и антенные измерения.
6. *Федосов В.П., Романов В.А.* Статистическая радиотехника // Электронное учебное пособие, Ростов-на-Дону, 2008.

Федосов Валентин Петрович, д.т.н.; профессор, кафедра теоретических основ радиотехники; Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: vpfedosov@sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: +78634371632.

Пацюк Тимур Тимофеевич, аспирант группы РТао2-29 кафедры теоретических основ радиотехники Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44, телефон: +7 (918) 512-08-31, email: patzyuck2011@yandex.ru.

Fedosov Valentin Petrovich, dr. of eng. sc.; professor, the department of fundamentals of radio engineering; Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: vpfedosov@sfedu.ru; 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371632.

Patsyuk Timur Timofeevich, graduate student of RTao2-29 group, the department of fundamentals of radio engineering Institute of Radioengineering Systems and Control, Southern Federal University; 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, phone: +7 (918) 512-08-31, email: patzyuck2011@yandex.ru.

УДК 621.396

Сафарьян Ольга Александровна, Пилипенко Ирина Александровна,
Сахаров Иван Александрович

ВАРИАЦИОННО-СТАТИСТИЧЕСКОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ

В докладе рассматриваются вопросы вариационно-статистического оценивания частотно-временных параметров сигналов. Проводится оценивание как случайных, так и постоянных отклонений частоты сигнала от предполагаемого значения на интервале наблюдения. Принято, что случайные отклонения частоты на каждом из измерительных интервалов в течение интервала наблюдения подчиняются нормальному закону распределения с постоянным значением среднеквадратического отклонения. Показано, что получаемые оценки являются несмещенными и асимптотически эффективными.

Частотно-временные параметры сигналов, вариационный ряд, статистическое распределение, стабильность частоты.

Safaryan Olga Aleksandrovna, Pilipenko Irina Aleksandrovna,
Sakharov Ivan Aleksandrovich

VARIATIONAL AND STATISTICAL ESTIMATION TIME-FREQUENCY PARAMETERS OF SIGNALS

The report deals with the issues of variational and statistical estimation of the time-frequency parameters of signals. The estimation of both random and constant deviations of the signal frequency from the expected value in the observation interval is carried out. It is assumed that the random frequency deviations at each of the measurement intervals during the observation interval obey the normal distribution law with a constant value of the standard deviation. It is shown that the obtained estimates are unbiased and asymptotically effective.

Time-frequency parameters of signals, variation series, statistical distribution, frequency stability.

Введение

Постоянный рост объемов передаваемой аудио- и видеоинформации, повешение требований к пропускной способности каналов связи и скорости передачи информации обуславливают необходимость решения вопро-

сов стабилизации частотно-временных параметров сигналов, используемых для передачи и обработки указанной информации.

В работах [1-10] проанализированы вопросы потенциально достижимой с использованием методов статистического оценивания стабильности частоты генераторов и формируемых сигналов. При этом развитие данного подхода позволит оценивать не только случайные отклонения частоты при каждом измерении, но и отклонение средней частоты (постоянное отклонение) от предполагаемого значения, а также вариацию Аллана на интервале измерений. Такое развитие подхода требует привлечения аппарата вариационно-статистического анализа результатов измерений и дальнейшего развития собственно метода обработки.

С учетом отмеченных выше особенностей цель статьи заключается в использовании аппарата вариационно-статистического анализа частотно-временных параметров сигналов, формируемых одновременно и независимо функционирующими генераторами.

Основная часть

Рассмотрим систему $N+1$ генераторов, формирующих сигналы с амплитудой, частотой и начальной фазой A_n, ω_n, φ_n соответственно

$$s_n(t) = A_n \cos\left(\omega_n \cdot t + \varphi_n\right),\ n = 1,...,N+1. \tag{1}$$

Сигнал одного из генераторов, например, $N+1$-го используем для формирования в течение некоторого интервала наблюдения M измерительных интервалов с номинальными длительностями $t_m^{(0)}$. Однако из-за нестабильности этого генератора временной интервал измерений отличается от номинального на величину Δt_m, принимающую случайное значение с нормальным законом распределения

$$p(\Delta t_m) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D_{N+1}}} \exp\left(-\frac{\Delta t_m^2}{2D_{N+1}}\right). \tag{2}$$

Вариационный ряд номинальных (предполагаемых) значений фазы n-го сигнала в соответствии с номинальным значением частоты $\omega_n^{(0)}$ и длительности $t_m^{(0)}$ определяется соотношением

$$\Phi_{m,n}^{(0)} = \omega_n^{(0)} \cdot t_m^{(0)}. \tag{3}$$

В свою очередь, измеряемое значение фазы этого сигнала позволяет сформировать вариационный ряд значений фаз, который может быть представлен следующим образом

$$\Phi_{m,n} = \left(\omega_n^{(0)} + \delta\omega_n + \Delta\omega_{m,n}\right)\left(t_m^{(0)} + \Delta t_m\right). \tag{4}$$

где $\delta\omega_n$ и $\Delta\omega_{m,n}$ - соответственно постоянное и случайное отклонение частоты на интервале наблюдения.

Невязка между измеряемым и предполагаемым значениями двух вариационных рядов определяется следующим образом

$$L_0 = \sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N}\left(\Phi_{m,n} - \Phi_{m,n}^{(0)} - \delta\omega_n t_m^{(0)} - \Delta\omega_n t_m^{(0)} - \omega_n^{(0)}\Delta t_m\right)^2. \quad (5)$$

В выражении (5) отброшены члены $\delta\omega_n\Delta t_m$ и $\Delta\omega_{m,n}\Delta t_m$, имеющие более высокий порядок малости.

Функция (5) является наиболее общим представлением и позволяет исследовать свойства оценок частотно-временных параметров сигналов $\delta\omega_n$, $\Delta\omega_{m,n}$ и нестабильности временного интервала измерений Δt_m ($n = 1,...,N$, $m = 1,...,M$) независимо от их законов распределения. Однако в ряде случаев при известном законе статистического распределения одного или нескольких параметров возможен переход к более простому представлению функции L_0.

В случае нормального закона распределения $\Delta\omega_{m,n}$ с дисперсией D_n с учетом (5) получаем ($m = 1,...,M$, $n = 1,...,N$)

$$p(\Delta\omega_{m,n}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D_n}}\exp\left(-\frac{\left(\Phi_{m,n} - \Phi_{m,n}^{(0)} - \delta\omega_n t_m^{(0)} - \omega_n^{(0)}\Delta t_m\right)^2}{2D_n}\right). \quad (6)$$

С учетом (6) может быть выполнен многомерный статистический анализ значений $\Delta\omega_{m,n}$ и $\delta\omega_n$. Вначале Из условия максимума $L_1(\Delta t_m, \mathbf{\Delta\omega})$ оценка Δt_m ($m = 1,...,M$) может быть представлена в виде

$$\Delta t_m = \frac{\sum_{n=1}^{N}\frac{\left(\Phi_{m,n} - \Phi_{m,n}^{(0)} - \delta\omega_n t_m^{(0)}\right)\omega_n^{(0)}}{2D_n}}{\sum_{n=1}^{N}\frac{\left(\omega_n^{(0)}\right)^2}{2D_n}}, \quad (7)$$

где

$$L_1(\Delta t_m, \mathbf{\delta\omega}) = -0,5\sum_{n=1}^{N}\ln\left(2\pi D_n\right) - \sum_{n=1}^{N}\left(\frac{\left(\Phi_{m,n} - \Phi_{m,n}^{(0)} - \delta\omega_n t_m^{(0)} - \omega_n^{(0)}\Delta t_m\right)^2}{2D_n}\right). \quad (8)$$

Затем с учетом соотношения (4) определяются $\Delta\omega_{m,n}$ и $\delta\omega_n$.

В рассматриваемом случае общее число неизвестных частотно-временных параметров, оцениваемых на каждом измерительном интервале, составляет $2N+1$ (N значений постоянного отклонения частоты $\delta\omega_n$ от номинального значения, одинаковых на каждом измерительном интервале, N случайных отклонений частоты $\Delta\omega_{m,n}$ от номинального значения

и отклонение длительности временного интервала от номинального значения Δt_m). После наложения N уравнений связи (4) число оцениваемых на каждом измерительном интервале уменьшается до $N+1$ (N постоянных отклонений частоты $\delta\omega_n$ от номинального значения, одинаковых на каждом измерительном интервале, и отклонение длительности временного интервала от номинального значения Δt_m). Таким образом, общее число оцениваемых на интервале наблюдения частотно-временных параметров составляет $N+M$.

С учетом M уравнений связи возможен переход к новому вариационному ряду, членами которой являются значения $\delta\omega_n$ ($n=1,...,N$)

$$L_2(\boldsymbol{\delta\omega}) = -0,5M\ln\left(2\pi D_n\right) - \sum_{m=1}^{M}\left\{\frac{\left[\sum_{n=1}^{N}\left(\frac{\left(\Phi_{m,n}-\Phi_{m,n}^{(0)}-\delta\omega_n t_m^{(0)}\right)\omega_n^{(0)}}{2D_n}\right)\right]^2}{2D_{N+1}\left[\sum_{n=1}^{N}\left(\frac{\left(\omega_n^{(0)}\right)^2}{2D_n}\right)\right]^2}\right\}. \qquad (9)$$

Оценки значений постоянного отклонения частоты каждого из генераторов на интервале наблюдения могут быть получены из условия обращения в нуль всех частных производных $L_2(\boldsymbol{\delta\omega})$.

Выводы

1. Предложенный статистический анализ вариационных рядов предполагаемых и измеряемых значений фазы сигналов на некотором интервале наблюдений позволяет получать оценки частотно-временных параметров сигналов (среднюю частоту на интервале наблюдения, случайное отклонение частоты от среднего значения на измерительном интервале, длительность измерительного интервала) по результатам измерений фаз одновременно и независимо функционирующих генераторов.

2. Полученные оценки обладают свойством несмещенности и асимптотической эффективности. При этом погрешность оценивания частотно-временных параметров уменьшается:

- при увеличении длины вариационного ряда;
- при увеличении частоты анализируемых сигналов;
- при увеличении числа одновременно и независимо анализируемых сигналов;
- при увеличении числа измерительных интервалов, в течение которых выполняется измерение фазы сигналов.

Работа выполнена при материальной поддержке РФФИ, грант № 19-01-00151/21.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Сафарьян О.А.* Метод оценки частоты генераторов в условиях непрогнозируемого изменения длительности интервала измерений // Вестник ДГТУ. 2014. № 4. Ч. 2. С. 47-54.
2. *Сафарьян О.А.* Моделирование процесса стабилизации частоты генераторов в инфокоммуникационных системах // Вестник ДГТУ. 2016. – Т. 16, № 4 (87), Ч. 2. С. 150-154.
3. *Габриэльян Д.Д., Прыгунов А.А., Прыгунов А.Г., Сафарьян О.А.* Метод оценки частот в системе генераторов // Физические основы приборостроения. 2012. Т. 1. № 2. С. 72-77.
4. *Сафарьян О.А.* Анализ метода стабилизации частоты в радио- и инфокоммуникационных системах // Современные проблемы радиоэлектроники: сб. науч. тр. [Электронныйресурс] Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2018. С. 37-40.
5. *Safaryan O.A., SakharovI., BoldyrikhinN., Yengibaryan I.* Method of Reducing Phase Noise in the System Simultaneously and Independently Operating the High-Frequency Signal Generators // Engineering Computations, No.8 (2). Volume 34. Emerald Group Publishing Ltd., 2017. С. 2586 – 2594.
6. *Енгибарян И.А., Кульбикаян Б.Х., Сафарьян О.А., Сахаров И.А., Тютюнникова А.И.* Численный метод анализа стабилизации частоты в распределенных инфокоммуникационных системах. // Системы связи и радионавигации: сб. тезисов. – Красноярск: АО «НПП «Радиосвязь», 2017. С. 101-103.
7. *Габриэльян Д.Д., Шацкий В.В., Сафарьян О.А.* Пат. на полезную модель № 144228 Российская Федерация, МПК H03L 7/00 Устройство стабилизации частоты генераторов. Патентообладатель: ФГБОУ ВПО «Донской государственный технический университет». - № 2014111456/08; заявл. 25.03.2014 г.; опубл. 10.08.2014 г. Бюл. № - 22.
8. Габриэльян Д.Д., Сафарьян О.А. Моделирование метода стабилизации частот генераторов. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2013661291. Заявка № 2013619498. Дата поступления 21.10.2013 г. Правообладатель: ДГТУ. Датарегистрации 5.12.13 г.
9. *Safaryan O.A., Pilipenko I.A., Saharov I.A.* Features of frequency generators stabilization in distributed information-measuring systems // Conference

Proceedings - 2019 Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves, RSEMW 2019. 2019. С. 208-211.
10. *Gabrielyan D.D., Kostoglotov A.A., Safaryan O.A., Cherckesova L.V., Dvornikov O.V.* Method for estimating time length using simultaneous phase measurements in the system of simultaneously and independently operating generators // Advanced Engineering Research. 2021. Т. 21. № 1. С. 105-110.

Сафарьян Ольга Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Кибербезопасность информационных систем» Донского Государственного технического университетета, Россия, город Ростов-на-Дону, площадь Гагариа 1, 344000, телефон: +7(918)557-67-71, email: safari_2006@mail.ru.

Пилипенко Ирина Александровна, старший преподаватель кафедры «Кибербезопасность информационных систем» Донского Государственного технического университетета, Россия, город Ростов-на-Дону, площадь Гагариа 1, 344000, телефон: +7(928)109-04-17, email: irenphil@ya.ru.

Сахаров Иван Александрович, начальник отдела сопровождения технических средств обучения Ростовского филиала Российской таможенной академии, 344002, Ростовская область, г. Ростов-на-Дону, пр. Буденновский, д. 20, тел: (863) 263-02-67, сот.: +7(903)473-58-47, sakharov_ia@donrta.ru .

Safaryan Olga Aleksandrovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Cybersecurity of Information Systems, Don State Technical University, Russia, Rostov-on-Don, Gagaria Square 1, 344000, phone: +7 (918) 557-67-71, email: irenphil @ ya .ru.

Pilipenko Irina Aleksandrovna, Senior Lecturer of the Department of Cybersecurity of Information Systems, Don State Technical University, Russia, Rostov-on-Don, Gagaria Square 1, 344000, phone: +7 (928) 109-04-17, email: irenphil @ ya .ru.

Sakharov Ivan Aleksandrovich, Head of the Department of Technical Training Support of the Rostov Branch of the Russian Customs Academy, 344002, Rostov region, Rostov-on-Don, Budennovsky ave., 20, tel: (863) 263-02-67, cell: +7 (903)473-58-47, sakharov_ia@donrta.ru.

УДК 621.396.969

Деркачев Владимир Александрович

МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В последнее время к изучению вопроса обнаружения и классификации малоразмерных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) наблюдается повышенный интерес. Использование предложенной модели может позволить получить радиолокационные изображения БПЛА различной конфигурации и размеров, что будет полезно в целях создания обучающих данных для нейронной сети. В данной работе предлагается программная модель рассеяния радиолокационного сигнала непрерывного излучения с частотной модуляцией от движущихся поверхностей БПЛА, которая учитывает конфигурацию и размеры цели.

Математическая модель, беспилотные летательные аппараты, БПЛА, FMCW, дальностно-скоростной портрет, ДСП.

Derkachev Vladimir Aleksandrovich

MODEL FOR FORMATION OF RADAR IMAGES OF UAV

Recently, there has been increased interest in the study of the detection and classification of small unmanned aerial vehicles (UAV). The use of the proposed model can make it possible to obtain radar images of UAVs of various configurations and sizes, which will be useful in order to create training data for a neural network. In this paper, we propose a software model of scattering of a CW radar signal with frequency modulation from the moving surfaces of the UAV, which takes into account the configuration and dimensions of the target.

Mathematical model, unmanned aerial vehicles, UAV, FMCW, range-speed portrait, RSP.

Введение

Основной проблемой в использовании нейронных сетей (НС) является создание репрезентативных обучающих данных. Для создания данных можно использовать натурные измерения, однако для обучения требуются тысячи изображений, что повышает трудозатратность и стоимость создания классификатора. Одним из вариантов решения данной проблемы мо-

жет быть создание имитационной модели рассеяния радиолокационного сигнала от БПЛА, что позволит создать большое количество радиолокационных изображений пригодных для обучения НС за сравнительно короткий срок. Наиболее популярным методом формирования данных для обучения классификаторов является выделения микродоплеровской сигнатуры (MDS), формируемой из-за вращения лопастей БПЛА [1–4]. Одним из наиболее подходящих вариантов данной методики для обработки в реальном времени является анализ с использованием метод оконного преобразования Фурье (STFT) [5, 6]. Применение методов дающих более высокое частно-временного разрешения, таких как MUSIC [7], сглаженного преобразования Вигнера-Вилля (SPWVD) [8] и итеративного адаптивного подхода (IAA) [9] является достаточно сложным со стороны вычислительной сложности данных алгоритмов. Исходя из этого было принято решение использовать метод оконного преобразования Фурье.

Целью данной работы является разработка модели рассеяния радиоволн радиолокационной станции непрерывного излучения с частотной модуляцией от поверхностей БПЛА.

Алгоритм процесса получения РЛИ.

Алгоритм работы модели показан на рис.1. Первоначально задаются параметры радиолокационной станции и параметров БПЛА. Далее осуществляется формирование первичного радиолокационного сигнала. Затем осуществляется вычисление откликов. После вычисления отраженного сигнала производится децимация отсчетов, с целью экономии вычислительных ресурсов и приведения параметров выходных данных модели к параметрам реальной радиолокационной станции. Полученные отсчеты сигнала позволяют осуществить формирование дальностно-скоростного портрета (ДСП).

Моделирование

В табл. 1 показаны основные параметры модели, используемые для дальнейшего моделирования. Прототипом РЛС, используемой для моделирования, является *TI AWR*1642 совместно с отладочным модулем *TI DCA*1000.

Рис. 1. Алгоритм работы модели

Таблица 1

Наименование параметра	Величина	Наименование параметра	Величина
Несущая частота	77 ГГц	Максимальная скорость объекта	6 м/с
Скорость изменения частоты	29,982 МГц/мкс	Разрешение по скорости	0,09 м/с
Ширина спектра сигнала (используемая)	767,54 МГц	Размеры лопасти (отладочные)	2 м
Частота дискретизации	1,6 ГГц	Частота вращения лопасти (отладочная)	0,0796 Гц
Число периодов ЛЧМ импульсов	128	Полное модельное время	20,3 мс
Длительность ЛЧМ импульса	60 мкс	Число лопастей на роторе	2
Период ЛЧМ импульсов	160 мкс	Число роторов	4
Частота дискретизации АЦП	10 МГц	Размеры лопасти	0,038 м
Число отсчетов АЦП за период ЛЧМ импульса	256	Радиус оси ротора	0,0025 м
Максимальная дальность обнаружения	50 м	Расстояние от геометрического центра до винта	0,0575 м
Разрешение по дальности	0,195 м	Частота вращения лопасти	±100 Гц

На рис.2 показан результат моделирования с учетом только одного винта (длина лопасти 2 м) с очень малой частотой вращения (0,3183 Гц), для моделирования использованы параметры БПЛА из таблицы 1. Применение данных параметров моделирования позволяет верифицировать модель. Радиальные скорости краев лопастей при начальном угле поворота 20^0 составили 1 м/с и минус 0,8 м/с, что можно увидеть на ДСП и его сечении по уровню минус 15 дБ.

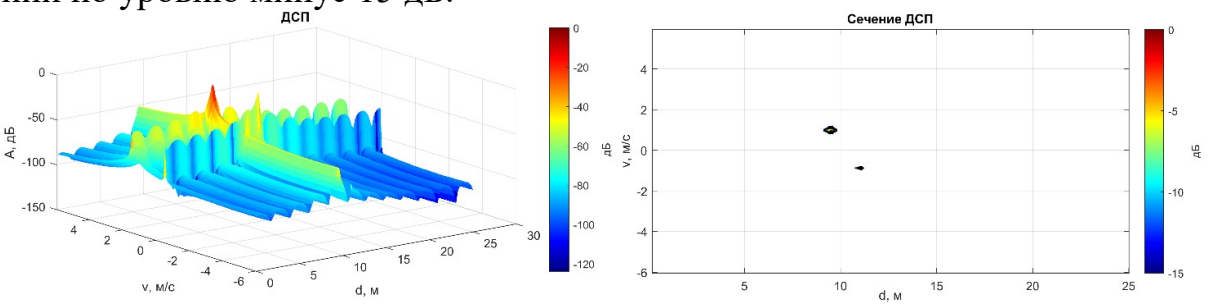


Рис. 2. ДСП одиночного винта большого размера с малой скоростью вращения

На рис.3 показаны результаты моделирования с учетом четырех винтов малого размера (длина лопасти0,038 м) и высокой частотой вращения (100 Гц, - 100 Гц, - 100 Гц, 100 Гц). Из-за эффекта алиасинга возникает большое число компонент, распределенных по различным скоростям.

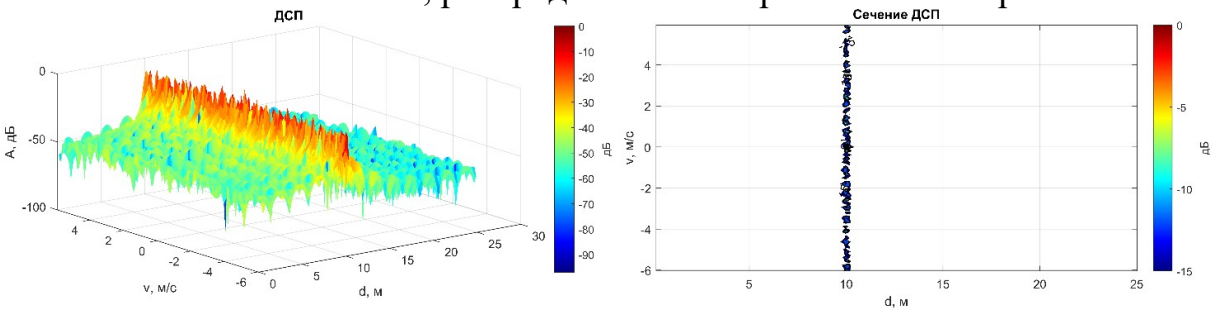


Рис. 3. ДСП 4 винтов малого размера с высокой скоростью вращения

Выводы

Предложенная модель рассеяния радиолокационных сигналов от беспилотных летательных аппаратов позволяет формировать радиолокационные изображения с произвольными параметрами зондирующего радиолокационного сигнала, характеристиками беспилотного летательного аппарата и текущими параметрами полета этого летательного аппарата. Использование данной модели для синтеза большого количества радиолокационных изображений может позволить сформировать обучающую выборку для последующего обучения нейросетевого классификатора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Harmanny R. I. A., de Wit J. J. M., Premel-Cabic G.* Radar micro-Doppler mini-UAV classification using spectrograms and cepstrograms //International Journal of Microwave and Wireless Technologies. – 2015. – Т. 7. – №. 3-4. – С. 469.
2. *Oh B. S. et al.* An EMD-based micro-Doppler signature analysis for mini-UAV blade flash reconstruction //2017 22nd International Conference on Digital Signal Processing (DSP). – IEEE, 2017. – С. 1-5.
3. *Tahmoush D.* Detection of small UAV helicopters using micro-Doppler //Radar Sensor Technology XVIII. – International Society for Optics and Photonics, 2014. – Т. 9077. – С. 907717.
4. *Molchanov P. et al*. Classification of small UAVs and birds by micro-Doppler signatures //International Journal of Microwave and Wireless Technologies. – 2014. – Т. 6. – №. 3-4. – С. 435-444.
5. *Stankovic L., Daković M., Thayaparan T.* Time-frequency signal analysis with applications. – Artech house, 2014.
6. *Stankovic L., Djurovic I., Thayaparan T.* Separation of target rigid body and micro-Doppler effects in ISAR imaging //IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. – 2006. – Т. 42. – №. 4. – С. 1496-1506.
7. *Schmidt R.* Multiple emitter location and signal parameter estimation //IEEE transactions on antennas and propagation. – 1986. – Vol. 34. – №. 3. – pp. 276-280.
8. *Tan R. et al.* Improved micro-Doppler features extraction using smoothed-pseudo Wigner-Ville distribution //2016 IEEE Region 10 Conference (TENCON). – IEEE, 2016. – pp. 730-733.
9. *Yardibi T. et al*. Source localization and sensing: A nonparametric iterative adaptive approach based on weighted least squares //IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. – 2010. – Vol. 46. – №. 1. – pp. 425-443.

Деркачев Владимир Александрович, ассистент, кафедра радиотехнических и телекоммуникационных систем ИРТСУ, Южный Федеральный Университет, Россия, город Таганрог, Некрасовский пер, 44, 347922, телефон: +79614154733, email: vderkachev@sfedu.ru.

Derkachev Vladimir Aleksandrovich, Assistant Professor, The Department of Radio engineering & Telecommunication Systems, Southern Federal University, 347922, Russia, Taganrog, 44 Nekrasovsky lane., phone +79614154733, email: vderkachev@sfedu.ru.

УДК 629.735.015

Асовский Валерий Павлович, Кузьменко Алла Сергеевна

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АВИАЦИОННОГО ОПРЫСКИВАНИЯ НА НЕТРАДИЦИОННЫХ РЕЖИМАХ ОБРАБОТОК

В докладе рассмотрены отдельные практические вопросы решения задач повышения качества и эффективности авиационного опрыскивания на нетрадиционных режимах обработок сельскохозяйственных угодий с использованием методов компьютерного моделирования его процессов. Нетрадиционные режимы авиационного опрыскивания характерны для обработок участков с препятствиями на границах, когда внесение рабочих жидкостей производится на режимах снижения воздушного судна при заходе на производственный проход над участком на требуемой высоте полета и наборе высоты после его окончания. Проведенные расчетно-теоретические исследования на примере самолета-биплана Ан-2 с использованием разработанных и апробированных ранее многофакторных программных средств моделирования процессов формирования вихревого следа самолета и осаждения в нем характерного для авиационного опрыскивания спектра капель рабочих жидкостей показали, что использование нетрадиционных технологических режимов обработок способно существенно повысить производительность, безопасность и интегральную эффективность авиационно-химических работ и мероприятий химизации сельскохозяйственного производства в целом.

Авиационно – химические работы, авиационное опрыскивание, компьютерное моделирование, воздушное судно, режимы полета, осаждение, производительность, эффективность.

Valery Pavlovich Asovsky, Alla Sergeevna Kuzmenko

SIMULATION OF AVIATION SPRAYING PROCESSES IN NON-TRADITIONAL TREATMENT MODES

The report considers the practical issues of solving problems of improving the quality and efficiency of aviation spraying in non-traditional modes of agricultural land treatment using computer modeling methods of its processes. Unconventional modes of aviation spraying are typical for the treatment of areas with obstacles at the borders, when the application of working fluids is carried out in the modes of lowering

the aircraft when entering the production pass over the site at the required flight altitude and climbing after its completion. The performed theoretical and computational studies on the example of the An-2 biplane aircraft using previously developed and tested multifactorial software tools for modeling the processes of the formation of a vortex trace of an aircraft and the deposition in it of a spectrum of working fluid droplets characteristic of aviation spraying showed that the use of non-traditional technological modes of processing can significantly to increase productivity, safety and integral efficiency of aerial – chemical works and chemicalization measures for agricultural production in general.

Aerial – chemical works, aerial spraying, computer simulation, aircraft, flight modes, deposition, productivity, efficiency.

Введение

Авиационно-химические работы (АХР), предусматривающие внесение воздушными судами (ВС) различных жидких, сыпучих и биологических веществ, являются значимым фактором обеспечения деятельности и эффективности сельского, лесного и коммунального хозяйства страны ([1,2]). Не смотря на более чем полувековой опыт массового производства АХР и отработанные на практике технологические режимы выполнения этих работ до настоящего времени остаются нерешенными ряд проблем, связанных с обеспечением качества и эффективности таких обработок.

Одной из таких проблем при производстве авиационного опрыскивания, составляющего до 90 % всех объемов АХР, является невозможность проведения с использованием традиционного способа опрыскивания при горизонтальном полете ВС с заданной предельно малой высотой обработок концевых участков сельхозугодий с препятствиями на их границах, что значительно уменьшает производительность и конкурентоспособность выполнения АХР. Решение этой проблемы, как показывает анализ, возможно только с использованием нетрадиционных способов авиационного опрыскивания на режимах переменных высот полета ВС, характерных для снижения и набора высоты при полете над концевыми участками с препятствиями на границах.

Предварительная оценка применимости и параметров авиационного опрыскивания на таких нетрадиционных режимах возможна с применением методов компьютерного моделирования его процессов, являющегося, как показывает опыт ([2-5 и др.), мощным средством оперативных и мало-

затратных исследований показателей производства АХР и основным элементом проведенных работ.

Основная часть

Основными значимыми препятствиями на границах сельскохозяйственных участков в настоящее время являются защитные лесополосы (ЛП), которые являются частью агролесомелиоративного комплекса и играют важную роль в борьбе с эрозионными процессами, предотвращении засухи, улучшении биомикроклимата почв и повышении урожайности ([6-8 и др.]). Высота защитных ЛП в зависимости от почвенно-климатических условий варьируется от 6 до 22 м и определяет типовые размеры сельскохозяйственных участков (длину, ширину) в соответствующих условиях [6, 8 и др.]. Степень обеспеченности сельскохозяйственных угодий ЛП в наиболее развитых сельскохозяйственных регионах страны (Краснодарский край, Ростовская область и др.) в настоящее время превышает 60 % при средней их высоте 12-16 м, т.е. проблема обработок участков с препятствиями на границах для этих регионов имеет массовый и значимый характер, что определяет актуальность ее решения.

Расчеты показывают, что при нормируемой для АХР безопасной высоте прохода ВС над препятствиями $h_{без}$ = 10 м ([9,10]) при высоте ЛП в пределах 10-20 м размах концевых зон участков, которые не обрабатываются при традиционной технологии опрыскивания, составляет 400-700 м, что ограничивает возможности авиационной обработки участков, особенно с малой длиной гона. Аналогичный диапазон при возможном уменьшении $h_{без}$ до 5 м составляет 270 - 550 м, что несколько расширяет возможности проведения АХР в таких условиях, но потенциально связан со снижением безопасности полетов и не может рассматриваться как действенное средство решения указанной проблемы. Примечательно, что при обработке сельхозучастков с характерными соотношениями размеров при длине фактического гона на АХР в пределах 500-2000 м остается не обработанными от 60-80 до 15-25 % площади подлежащих обработке участков, что связано с уменьшением заказов на проведение АХР, особенно небольших участков, и дополнительными затратами заказчиков АХР на «доработку» необработанных зон с использованием наземной техники. Это обстоятельство дополнительно подчеркивает масштаб проблемы обработки при АХР концевых участков и необходимость ее исследования и решения.

В рамках проведенных исследований для решения указанной проблемы в среде программирования DELPHI был сформирован

расчетный комплекс моделирования авиационного внесения рабочих веществ. В нем на новом уровне были реализованы апробированные ранее ([2]) математические модели описания условий и процессов осаждения капель многокомпонентных рабочий жидкостей с учетом испарения компонентов, диффузии, вращения и дробления капель в поле индуктивных скоростей вихревого следа ВС с возможностью его построения методом дискретных вихрей, в т.ч. при вертикальном и горизонтальном маневрировании ВС.

Оценка адекватности и точности сформированного программного комплекса проводилась сравнением имеющихся экспериментальных и полученных для одинаковых условий с использованием комплекса расчетных данных для традиционных режимов авиационного опрыскивания наиболее распространенного при производстве АХР самолета-биплана Ан-2 ([11]). Анализ показал, что, не смотря на объективный стохастический характер процессов и показателей авиационного опрыскивания, для расчетных и экспериментальных данных наблюдается качественная близость (вид эпюр, соотношения показателей, и т.д.) и имеет место статистическая значимость полученных при моделировании расчетных функциональных зависимостей, что указывает на адекватное отражение сформированным программным комплексом сути и особенностей осаждения рабочих веществ для рассмотренных условий. Точность оценки наиболее значимых обобщенных показателей внесения для рассмотренных вариантов составляет примерно 4-5 %, что следует признать достаточно высоким показателем и позволяет использовать программный комплекс для оценки нетрадиционных режимов авиационного опрыскивания.

Проведенные расчеты конфигурации вихревого следа самолета Ан-2 при реализации типовой схемы полета при опрыскивании участков с препятствиями (ЛС) на границах показывают, что формирование вихревого следа при этом качественно идентично стационарному режиму горизонтального полета на рабочей для опрыскивания высоте (сильное взаимодействие между собой свободных вихрей П-образных вихревых комбинаций крыльев и элементов их механизации, воздушного винта и оперения самолета с их смещением относительно линии пролета, формирование 2 характерных концевых вихревых «сгустков» свободных вихрей и т.д.), однако значительно отличается по пространственной конфигурации следа, прежде всего в вертикальной плоскости ввиду

изменения высот полета при заходе самолета на гон и выходе из него с учетом высоты препятствий. Полученная конфигурация вихревого следа и динамика его формирования позволяет выполнить моделирование процессов осаждения капель рабочих жидкостей, выпущенных с самолета на отмеченных элементах полета самолета над концевыми зонами обрабатываемого участка.

По результатам такого компьютерного моделирования, в частности, определено:

- эпюры распределения жидкости на обрабатываемом участке для режимов вертикального маневрирования самолета (при снижении и наборе высоты) существенно отличаются от традиционного режима опрыскивания;

- при опрыскивании концевых зон на режиме снижения наблюдается локальный рост концентрацией капель и действующего вещества вдоль линии пролета и поперечное «поджатие» волны осаждения жидкости при усилении этих тенденций по мере увеличения высоты выпуска жидкости (начала опрыскивания);

- для опрыскивания на режиме набора высоты при прочих одинаковых условиях характерно усиливающееся с высотой «растягивание» волны оседающей жидкости в поперечной плоскости и наличие ярко выраженных двух относительно однородных «пиков» показателей слева и справа от линии пролета;

- изменение показателей волн осаждения жидкости, выпущенной на режимах вертикального маневрирования самолета над концевыми зонами обрабатываемых участков, в целом связаны с уменьшение доли осевшей жидкости и ее дисперсности при росте концентрации препаратов в жидкости на участке, а также снижению при обработке с заданной шириной захвата средних величин плотности капель и дозировки препарата и их равномерности, что связано с падением показателей биологической эффективности авиационной обработки в концевых зонах.

Проведенный с использованием полученных данных комплексный анализ вариантов и схем обработок участков с препятствиями на границах для характерных производственных условий позволил констатировать, что для повышения эффективности авиационного опрыскивания участков, ограниченных препятствиями, технически возможно и экономически целесообразно использовать схему проведения работ, предусматривающую начало и окончание обработки таких участков на этапе снижения и набора

высоты при удалениях от препятствий, соответствующих 1-2 с полета ВС (для самолета Ан-2 на удалениях 50-150 м при высоте полета до 20 м).

Выводы

По совокупности результатов исследований можно сделать вывод, что сформированный программный комплекс адекватно и достаточно точно описывает процессы осаждения и распределении рабочих веществ при их авиационном внесении и может быть использован для решения актуальных научно-практических задач совершенствования способов и технологий производства АХР с учетом перечня внешних, технико-технологических, эксплуатационных и других параметров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Применение авиации в сельском и лесном хозяйстве / Под ред. В.А.Назарова. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Транспорт, 1975. - 312 с.
2. *Асовский В.П.* Теория и практика авиационного распределения веществ. - М.: Воздушный транспорт, 2008. - 580 с.
3. *Логачев Ю.Г.* О путях повышения эффективности авиационной обработки. // Механика процессов авиационного опрыскивания и рассеивания сыпучих веществ. Сб. науч.тр., N 3, вып.219. - Рига: РКИИГА, 1971. - С.3-16
4. *Деревянко В.С.* Влияние аэродинамических возмущений на процессы авиационного опыливания и опрыскивания. - М.: Транспорт, 1974. - 72 с.
5. *Дудник В.В.* Уменьшение вредного воздействия на окружающую среду при внесении химических веществ с сельскохозяйственных вертолетов. Диссертация ... канд. техн. наук. – Ростов-на-Дону: РД ГСХМ, 1998. – 154 с.
6. *Сулин М. А.* Землеустройство. - СПб.: Издательство «Лань», 2005. - 448 с.
7. Рекомендации по разработке проектов внутрихозяйственного землеустройства на эколого-ландшафтной основе, РОСЗЕМКАДАСТР Институт РосНИИземпроект, М.: 2000.–284 с.
8. Основы агролесомелиорации: учебное пособие / Е.Г. Парамонов, А.П. Симоненко. - Барнаул: Изд-во АГАУ, 2007. - 224 с.
9. Руководство по авиационно - химическим работам гражданской авиации СССР. - М.: Воздушный транспорт, 1984. - 63 с.
10. Методические рекомендации по инвентаризации сельхозугодий на их пригодность к обработке самолетами и вертолетами при выполнении авиационно – химических работ.– М.: МГА, 1980. - 13 с.
11. Самолет Ан - 2. / И.В. Радченко, В.П. Крамчанинов, В.П. Дубринский. - М.: Транспорт, 1969. - 440 с.

Кузьменко Алла Сергеевна, старший преподаватель кафедры летательных аппаратов Южного федерального университета, 347900 Россия, город Таганрог, пер. Тургеневский, 44, телефон: +7 (8634) 37-16-97, email: akuzm@sfedu.ru.

Асовский Валерий Павлович, доктор технических наук, ученый секретарь НПК «ПАНХ», Россия, город Краснодар, ул. Кирова 138, 350000, e-mail: vasov63@mail.ru.

Kuzmenko Alla Sergeevna, Senior Lecturer, Aircraft Department, Southern Federal University, 347900, Russia, Taganrog, trans. Turgenevsky, 44, phone: +7 (8634) 37-16-97, e-mail: akuzm@sfedu.ru.

Asovsky Valery Pavlovich, Doctor of Technical Sciences, scientific secretary of NPK "PANH", 350000, Russia, Krasnodar, 138 Kirova Str., e-mail: vasov63@mail.ru.

УДК 628.92

Коломийцев Антон Юрьевич

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИБРИДНОГО АВТОМОБИЛЯ НА СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЯХ

В докладе рассмотрена возможность использования гибридного автомобиля с фотоэлектрическими элементами в условиях интенсивности инсоляции в Московском регионе. По результатам использования среды имитационного моделирования Matlab/Simulink оценены минимальная требуемая мощность батареи и время её зарядки.

Гибридный автомобиль, фотоэлектрические элементы, моделирование, мощность батареи, время зарядки батареи.

Kolomiytsev Anton Yuryevich

SIMULATION OF A SOLAR-POWERED HYBRID CAR

The article discusses the possibility of using a hybrid vehicle with photovoltaic cells under conditions of insolation intensity in the Moscow region. Based on the results of using the Matlab / Simulink simulation environment, the minimum required battery power and its charging time were estimated.

Hybrid vehicle, photovoltaic cells, simulation, battery power, battery charging time.

Введение

Одним из приоритетных направлений из стратегии технического развития России сегодня является переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике с использованием возобновляемых источников энергии. В особенности это актуально, например, для транспортной промышленности, где использование продуктов переработки нефти в двигателях внутреннего сгорания с каждым годом не только становится менее рентабельным, но и наносит существенный вред окружающей среде (Bhatti 2018). Однако, одной из причин малого использования автомобилей с электрическими двигателями является недостаточность развития инфраструктуры станций зарядки аккумуляторов (Westbrook 2001). В этом ракурсе наиболее перспективным становится использование гибридных автомобилей, в том числе с технологией зарядки аккумуляторов от фотоэлектрических панелей, установленных на крыше автомобилей (Будько 2017; Arsie 2005; Grosso 2016; Winther 2018). Примерами внедрения данной технологии (Nikowitz 2016) являются уже серийно выпускающийся автомобиль Sonata Hybrid (Kim 2011; Shirk 2014) [1] и прототип Toyota Prius (Yamaguchi 2020) [2, 3]. Тем не менее, остается открытым вопрос о потенциале и актуальности данного технического решения в регионах с недостаточной инсоляцией.

В данной статье рассмотрена возможность использования гибридного легкового автомобиля с фотоэлектрическими элементами на крыше в условиях интенсивности инсоляции в Московском регионе.

Основная часть

Как и гибридный автомобиль с подзаряжаемыми от сети аккумуляторами, автомобиль с фотоэлектрическими панелями может работать как в режиме электромобиля, так и в режиме совместного использования двигателя внутреннего сгорания [4, 5]. На рис. 1 представлена схема конструкции гибридного автомобиля с фотоэлектрическими панелями.

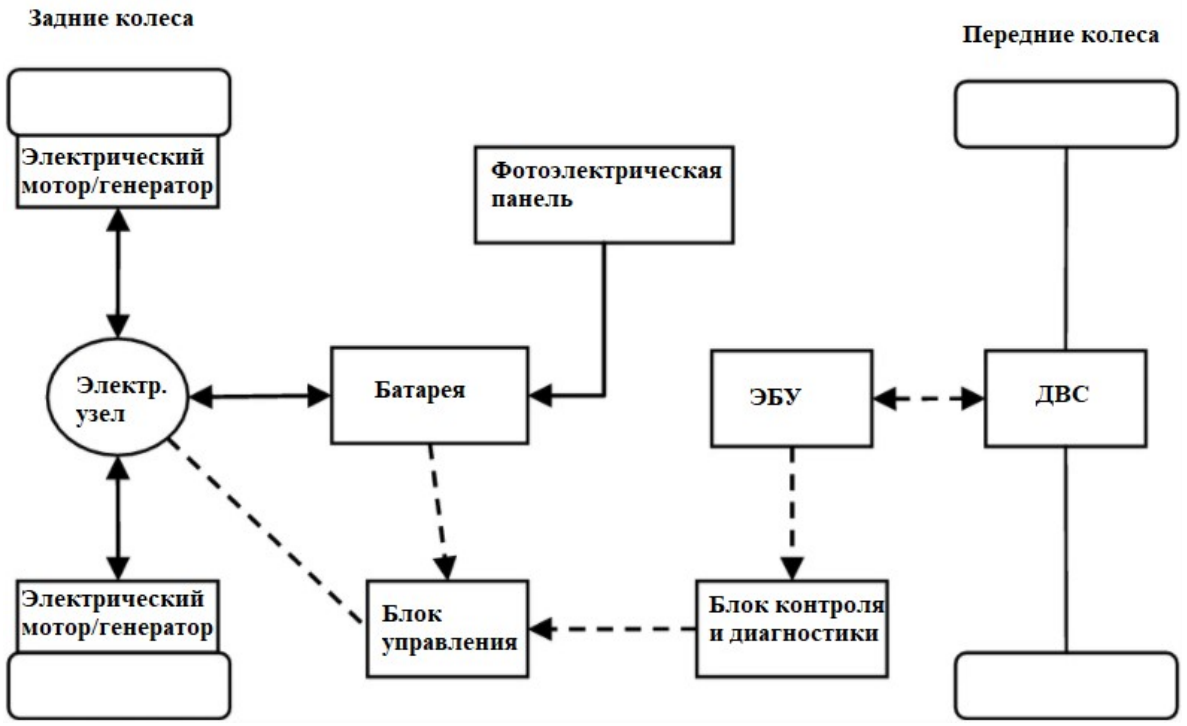


Рис.1. Схема конструкции гибридного автомобиля с фотоэлектрическими панелями

Автомобиль приводится в движение передними колесами двигателем внутреннего сгорания, управляемым блоком управления двигателем. Шлюз протокола бортовой диагностики (EOBD) представляет данные о положении педали, скорости транспортного средства, частоте вращения двигателя, давления в коллекторе и о других характеристиках состояния [6, 7]. В гибридном режиме двигатель внутреннего сгорания приводит в движение передние колеса, а задние колесные двигатели работают в режиме тяги или в режим генерации, соответствующий положительному или отрицательному крутящему моменту. Аккумулятор можно заряжать как от задних колес, при работе в режиме генерации, так и от фотоэлектрических панелей [8, 9].

Сложность моделирования процесса зарядки гибридного автомобиля с фотоэлектрическими панелями обусловлена сразу несколькими факторами [10]. В первую очередь, это неопределенность случайной величины интенсивности солнечного излучения, что приводит к непостоянному и переменному процессу производства энергии фотоэлектрическими панелями. Годовая сумма солнечной радиации для Московского региона составляет 6900 МДж/м^2 при ясном небе и 5282 МДж/м^2 при

средних условиях облачности. При этом, до поверхности земли доходит лишь 75% от возможной суммарной радиации. Более того, суммарная месячная норма радиации доходит до своего минимума в декабре и при ясном небе составляет лишь 184 МДж/м^2. Тем не менее, солнечная радиация считается «технически приемлемой» для генерации энергии, когда ее интенсивность достигает 0,60 кВт/м2.

Исследование процесса зарядки гибридного автомобиля с фотоэлектрическими панелями выполнена в среде имитационного моделирования Matlab/Simulink для легкового автомобиля длиной 4 м и массой 1750 кг с характерным для Москва при средних условиях облачности уровнем суммарной солнечной радиации 5282 МДж/м^2.

Схема имитационной модели исследования процесса зарядки приведена на рис. 2. Результаты моделирования, приведенные на рис. 3, показали, что время зарядки батареи от фотоэлектрических панелей составляет 570 минут, при этом батарея заряжается на 92.59%, мощность батареи – 6.801 Вт. При этом время зарядки увеличивается с массой автомобиля.

Выводы

Результаты исследования показали, что для среднестатистического легкового автомобиля длиной 4 м и массой 1750 кг использование гибридного автомобиля с фотоэлектрическими панелями для климатических условий города Москва является вполне возможным. Мощность солнечной батареи для обеспечения почти полного заряда за 570 минут должна составлять не менее 6.8 Вт позволяет с максимальной энергоемкостью в дни с приходом солнечного излучения, которое находится на среднем уровне.

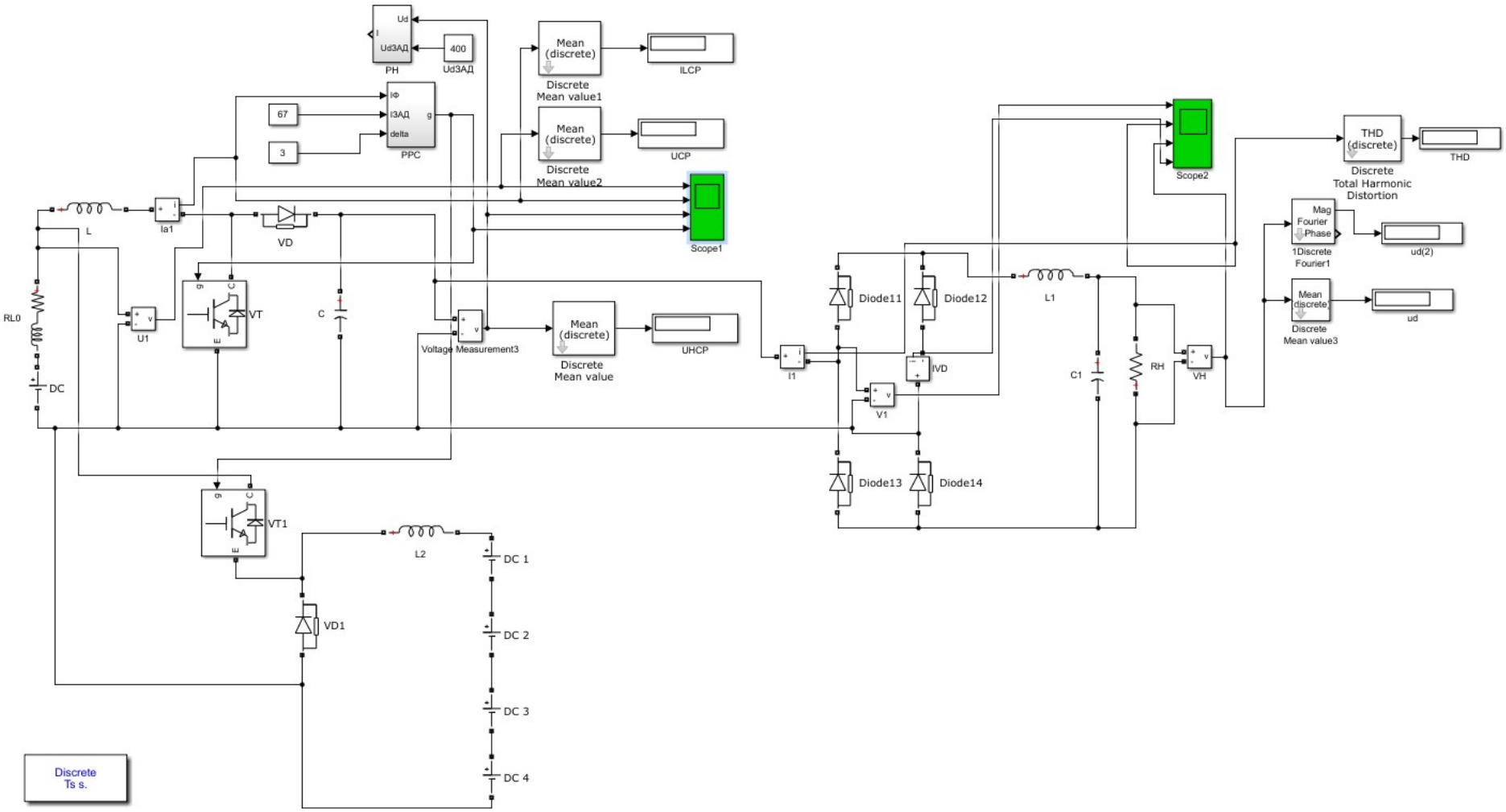


Рис. 2. Имитационная модель исследования процесса зарядки

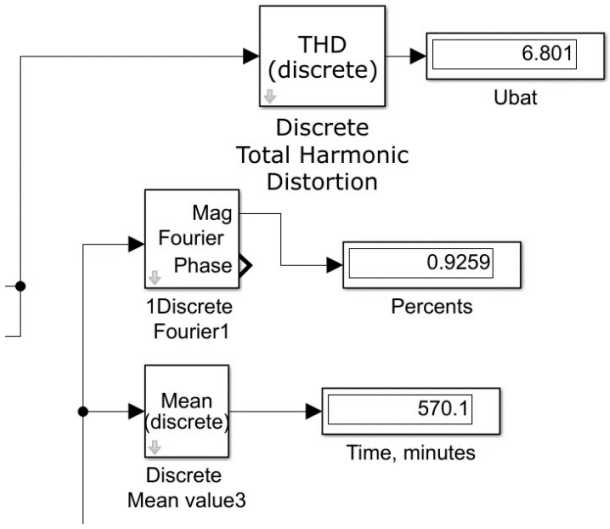


Рис. 3. Результаты моделирования

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Shirk M.* Hyundai Sonata 3539-Hybrid Electric Vehicle Battery Test Results / M. Shirk, T. Gray, J. Wishart // Idaho National Laboratory, 2014, 21 p.
2. *Yamaguchi M.* Development of high-efficiency and low-cost solar cells for PV-powered vehicles application / M. Yamaguchi, T. Masuda, K. Araki, D. Sato, K.H. Lee, N. Kojima, N. Takamoto, K. Okumura, A. Satou, K. Yamada, T. Nakado // Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Sep 21. – 2020. – P. 1 – 10.
3. *Будько В.И.* Современное состояние и развитие возобновляемой энергетики / В.И. Будько, С.А. Кудря, А.В. Пепелов, // Альтернативная энергетика и экология. – 2017. – №4-6. – С.130–141.
4. *Arsie I.* / Optimal design of a hybrid electric car with solar cells. I. Arsie, M. Marotta, C. Pianese, G. Rizzo, M. Sorrentino // InProc. of 1st AUTOCOM Workshop on Preventive and Active Safety Systems for Road Vehicles. Istanbul 2005 Sep 19. – 2005. - 12 p.
5. *Bhatti A.R.* A rule-based energy management scheme for uninterrupted electric vehicles charging at constant price using photovoltaic-grid system / A.R. Bhatti, Z. Salam // Renew Energy. - 2018. – 125. – P. 384 – 400.
6. *Winther T.* Like having an electric car on the roof: Domesticating PV solar panels in Norway / T. Winther, H. Westskog, H. Ssele // Energy for Sustainable Development., 2018. – 47. – P. 84 – 93.
7. *Grosso M.* / Energy-efficient battery charging in electric vehicles with solar panels. M. Grosso, D. Lena, A. Bocca, A. Macii, and S. Rinaudo // In 2016 IEEE 2nd

International Forum on Research and Technologies for Society and Industry Leveraging a better tomorrow. RTSI 2016, September. – 2016. - P. 1-5.
8. *Kim Y.S.* Sonata hybrid the first full hybrid electric vehicle from Hyundai / Kim Y.S., Min B.S., Sim H.S., Lee K.S. // ATZautotechnology, 2011. - 11(1). – P. 10 – 7.
9. *Nikowitz M.* Advanced hybrid and electric vehicles. System Optimization and Vehicle Integration, Springer, 2016, 204 p.
10. *Westbrook M.H.* The Electric Car: Development and future of battery, hybrid and fuel-cell cars / M.H. Westbrook, M. Westbrook. Cambridge university press. Cambridge, 2001, 21 p.

Коломийцев Антон Юрьевич, магистрант кафедры электротехники и мехатроники ИРТСУ Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, переулок 16 Артиллерийский, 63, 347931, телефон: +7 (951) 523-52-52, email: ankolomycev@sfedu.ru.

Kolomiytsev Anton Yuryevich, master's Student of the Department of Electrical Engineering and Mechatronics of the Southern Federal University IRTSU, Taganrog, Russia, 16 Artillery Lane, 63, 347931, phone: +7 (951) 523-52-52,
email: ankolomycev@sfedu.ru.

УДК 621.396

Самарин Александр Сергеевич, Кисель Наталья Николаевна

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ CSRR-РЕЗОНАТОРА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОПОЛОСКОВОЙ АНТЕННЫ НА ОСНОВЕ SIW-ТЕХНОЛОГИИ

В работе представлены результаты моделирования характеристик микрополосковых антенн, выполненных по SIW-технологии с CSRR-резонатором. Моделирование характеристик микрополосковой антенны выполнены с использованием программы FEKO. Анализируются зависимости коэффициента усиления, диаграммы направленности, КСВ в диапазоне 9,5 – 13,5 ГГц. Проанализировано влияние геометрических параметров резонатора на основные характеристик антенн.

Микрополосковая антенна, SIW-технологии, CSRR-резонатор.

Samarin Alexandr Sergeevich, Kisel Nataliya Nikolaevna

INVESTIGATION OF THE SENSITIVITY OF THE CHARACTERISTICS OF MICROSTRIPS ANTENNAS BASED ON SIW TECHNOLOGY TO THE PARAMETERS OF THE CSRR RESONATOR

The paper presents the results of models of microstrip antennas designed using SIW technologies with a CSRR resonator. Modeling the characteristics of a microstrip antenna was carried out using the FEKO program. Analysis of the gain, directional pattern, VSWR was investigated in the range of 9.5 - 13.5 GHz. The influence of the geometric parameters of the resonator on the main characteristics of the antennas is analyzed.

Microstrip antenna, radar cross section, metamaterial.

Введение

С повышением частоты излучения становятся наиболее перспективными волноводы и резонаторы с использованием диэлектриков, особое внимание сейчас уделяется структурам, интегрированным в диэлектрическую подложку, так называемые Substrate Integrated Waveguide (SIW-структуры). Они представляют собой линию передачи между двумя параллельными металлическими слоями, разделенными диэлектрическим слоем, металлические слои соединены между двумя рядами металлизированных отверстий [1-6]. Преимущества таких структур в том, что они сохраняют преимущества волноводов, позволяя передавать большие мощности, имеют высокую добротность резонаторов и приобретают преимущества планарных устройств, имея малые габариты, вес и низкую стоимость. Но главное преимущество SIW-технологии, возможность интегрирования активных и сосредоточенных элементов на одной подложке.

В работе исследованы характеристики антенны на основе комбинирования SIW-резонатора и компланарного CSRR резонатора на микрополосковом излучателе [7], питание реализовано через компланарную линию (рис. 1).

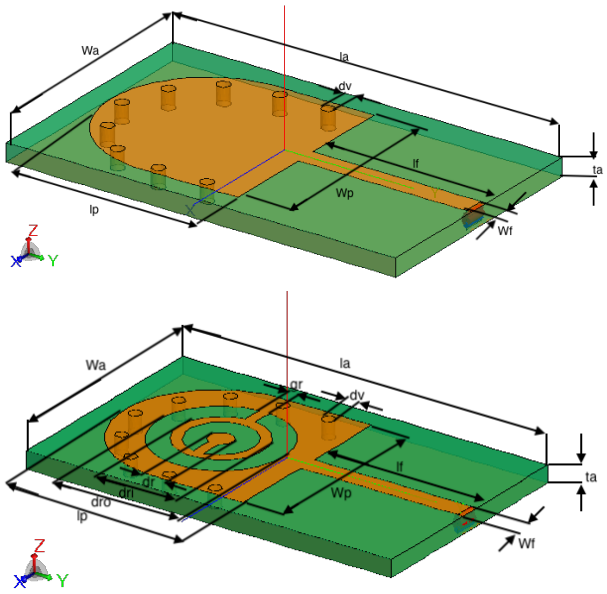


Рис.1. Конструкция микрополосковой SIW антенны
без CSRR-резонатора и с ним

Такая антенна имеет два компланарных кольцевых резонатора, размеры которого влияют на все характеристики микрополосковой антенны. На рис.2 представлены частотные зависимости КСВ антенны с резонатором и без него, полученные с помощью САПР FEKO [8]. Как видно антенна с CSRR-резонатором имеет две области рабочих частот с КСВ, не превышающим 2. В то время как для антенны без CSRR-резонатора в диапазоне частот 9,5-13,5 ГГц КСВ выше 2.

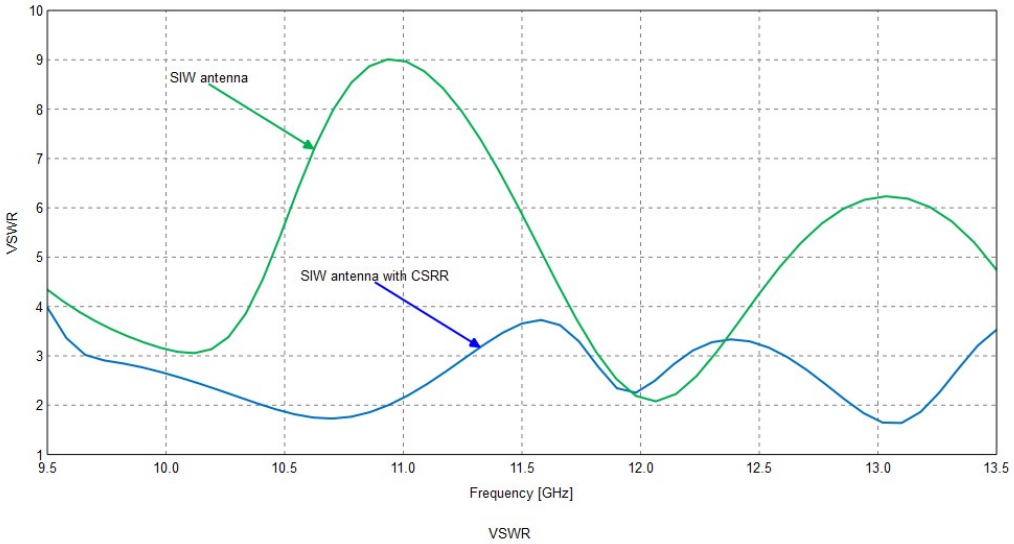


Рис. 2. Коэффициент стоячей волны микрополосковой SIW антенны с CSRR

На рис. 3.изображены распределения поверхностных электрических токов на излучателе с CSRR-резонатором и распределение напряженности электрического поля внутри диэлектрического SIW-волновода для частот f_1 =10,7 ГГц и f_2 =13,1 ГГц, которые соответствуют наименьшим значениям КСВ. На частоте f_1 микрополосковая антенна имеет коэффициент усиления 5.314 дБ, а на f_2 - коэффициент усиления равен 5.761 дБ (рис.4).

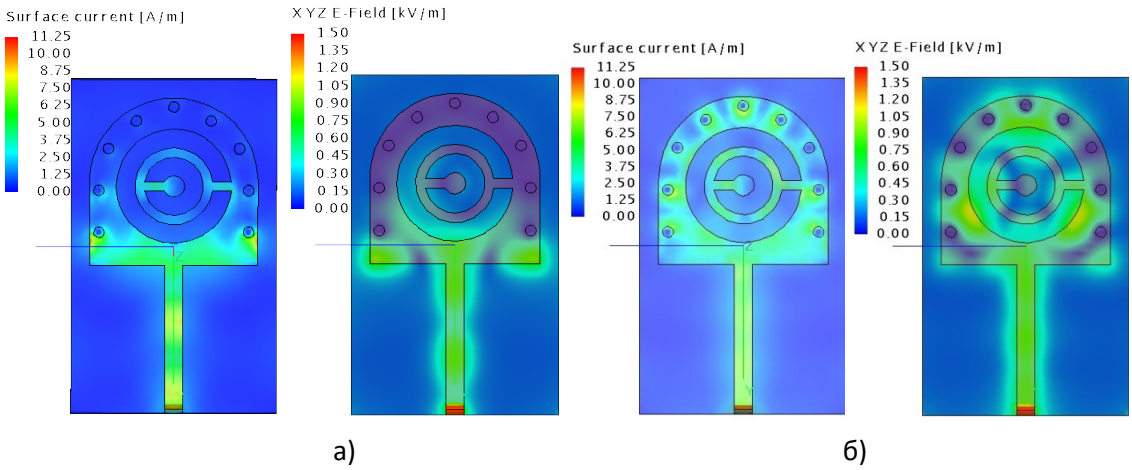


Рис. 3 Распределение токов и напряженностей электрического поля поля на частотах 10.7 ГГц (а), 13.1 ГГц (б) микрополосковой SIW антенны с CSRR

На рис. 5 приведены результаты исследования влияния величины зазора *g* между резонансными кольцами CSRR-резонатора на характеристики микрополосковой антенны. Величина зазора менялась от 0.5 мм до 2 мм. Можно заметить, что частотное положение первого минимума КСВ при изменении зазора не меняется, наименьшее КСВ наблюдается при g=0,5 мм, вариация КСВ на этой частоте составляет от 1,52 до 1,82. С ростом частоты положение минимума КСВ и его величина существенно зависит от величины зазора g.

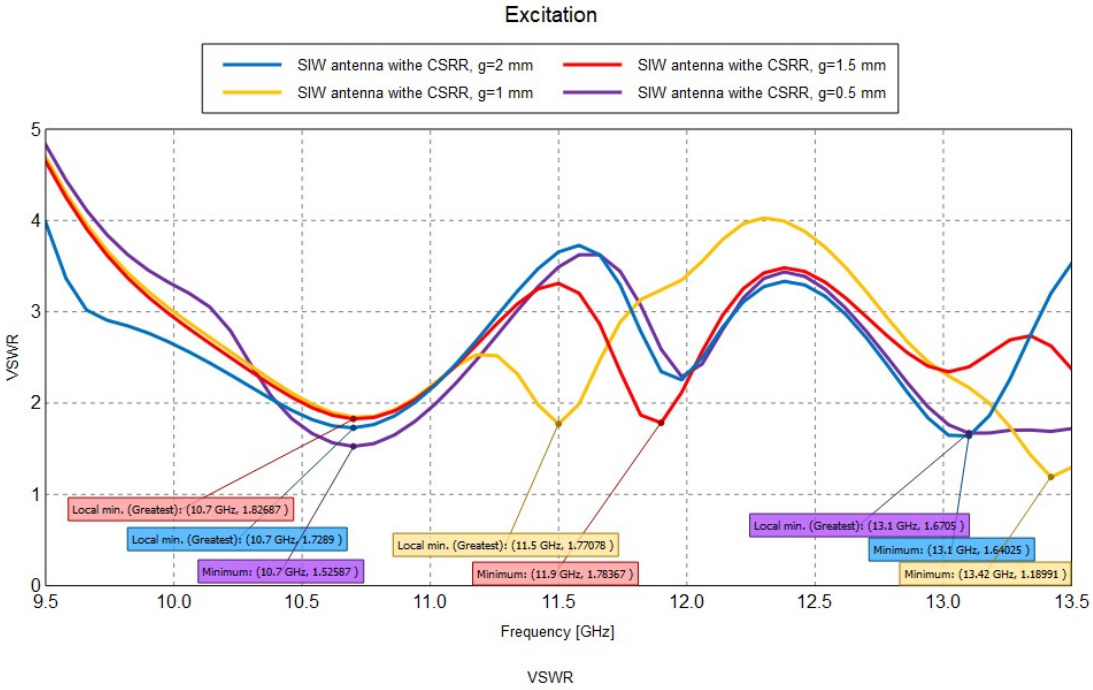


Рис. 4 Диаграмма коэффициента усиления микрополосковой SIW антенны с CSRR на резонансных частотах

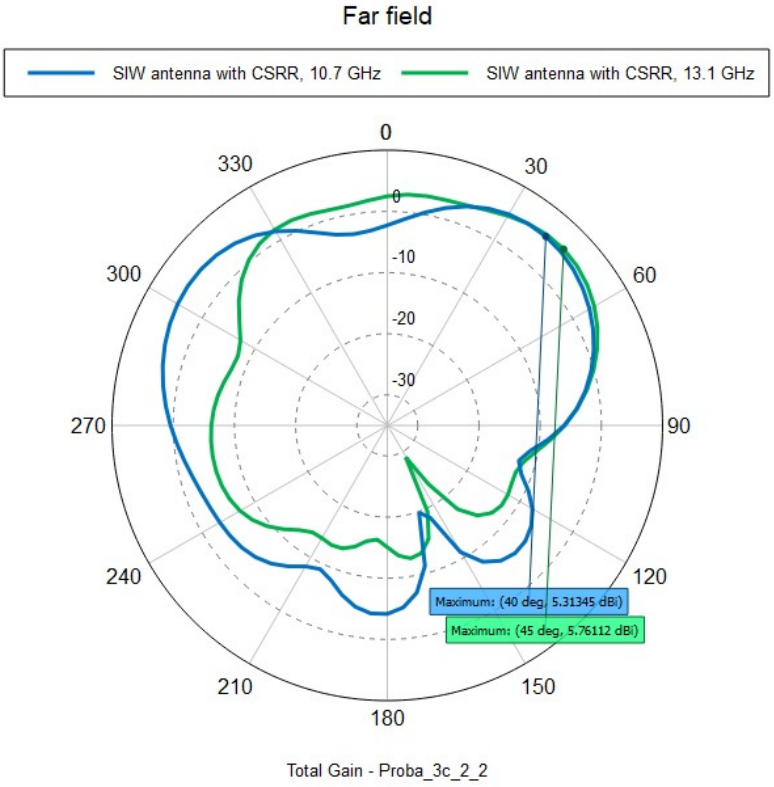


Рис. 5 Частотные зависимости КСВ при различных величинах зазора g

Выводы

Полученные результаты подтвердили возможность построения микрополосковой антенны на основе комбинированного использования SIW-резонатора и компланарного резонатора. Использование компланарного резонатора выравнивает частотную зависимость КСВ по сравнению со случаем его отсутствия и увеличивает коэффициент усиления аниенны.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гадзиева А.А., Заргано Г.Ф., Земляков В.В., Крутиев С.В.* / SIW- технологии, история создания, современное состояние и перспективы развития // Физические основы приборостроения. - 2012. - Т. 1. - No4. - стр. 4- 13.
2. *Cassivi Y. , Perregini L.P.* Dispersion Characteristics of Substrate Integrated Rectangular Waveguide // IEEE Microwave and Wireless Components Letters. 2002. Vol. 12. No. 9. P. 333 - 335.
3. *Nornikman H., Ahmad B.H., M.Z.A. Abd Aziz, Othman A.R.* Effect of Single Complimentary Split Ring Resonator Structure on Microstrip Parch Antenna Design// IEEE Symposium on Wireless Technology and Application (ISWTA), September 23-26, 2012, Bandung, Indonesia.
4. *Panda R.A. , Panda M. , Nayak S., Das N. , Mishra D.* Gain enhancement using Complimentary Split Ring Resonator on Biconcave Patch for 5G application// International Conference on Sustainable Computing in Science, Technology & Management (SUSCOM-2019), February 26 -28, 2019, Jaipur, India.
5. *Dong Y.D., Yang T. , Itoh T.* Substrate integrated waveguide loaded by complementary split-ring resonators and its applications to miniaturized waveguide filters// IEEE Trans. Microw. Theory Tech., Vol. 57, No. 9, pp. 2211-2223, Sep. 2009.
6. *Bozzix M., Perregrini L.* Numerical Modelling and Design of Substrate Integrate Waveguide (SIW) Components// International Conference on Mathematical Method in Electromagnetic Theory, 2012, p. 243-248.
7. *Munir A. Saputra H.* LLudiyati Compact X-Band SIW Antenna with Reduced Size Using CSRR Incorporation// 2018 IEEE International RF and Microwave Conference, 17-19 Dec., 2018, Penang, Malaysia.
8. *Кисель Н.Н.* Моделирование прикладных задач электродинамики и антенн на супервычислительной системе в пакете FEKO. Учебное пособие, Изд-во ЮФУ, 2013, 326 с., Россия, Таганрог.

Самарин Александр Сергеевич – студент, Институт радиотехнических систем и управления федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет»; кафедра антенн и радиопередающих устройств; Россия, город Таганрог, ул. Энгельса 1, 347928, телефон +7(8634)37-16-34, email: samarin@sfedu.ru.

Кисель Наталья Николаевна – кандидат технических наук, доцент, Институт радиотехнических систем и управления федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет»; кафедра антенн и радиопередающих устройств; Россия, город Таганрог, ул. Энгельса 1, 347928, телефон +7(8634)37-16-34, email: nnkisel@sfedu.ru.

Samarin Alexsandr Sergeevich – student, Institute radio engineering system and control Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Education «Southern Federal University, 347928, Russia, Taganrog, 1 Ehngel'sa street, phone: +7(8634)37-16-34, email: samarin@sfedu.ru

Kisel Natalia Nikolayevna – Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), associate professor, Institute radio engineering system and control Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Education «Southern Federal University»; the department of antennas and radio transmitters; 347928, Russia, Taganrog, 1 Ehngel'sa street, phone: +7(8634)37-16-34, email: nnkisel@sfedu.ru.

Секция – **КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

УДК 621.396

Бондаренко Анатолий Борисович

КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Контроль – это управленческая функция, задачей которой является количественная и качественная оценка и учет результатов работы предприятия. Контроль нужен для того, чтобы корректировать деятельность предприятия и устранять неопределенность. Методы управления – это способы воздействия на управляемый объект для достижения определённых целей. Методы управления многообразны, но все они нужны для снижения затрат, улучшения условий работы, безопасности и повышения качества выпускаемой продукции, и в конечном счете, все они должны способствовать достижению предприятием поставленных целей и задач. В настоящее время, в условиях рыночных отношений, важно понимать необходимость постоянного контроля и управления производством, так как это гарантирует благополучие предприятия. Но все это невозможно без постоянного совершенствования и развития.

Контроль, управление, производство, алгоритм, оборудование, контролер, автоматика, система, процесс.

Bondarenko Anatoly Borisovich

PRODUCTION CONTROL AND MANAGEMENT

Control is a management function, the task of which is the quantitative and qualitative assessment and accounting of the results of the enterprise. Control is necessary in order to adjust the activities of the enterprise and eliminate uncertainty. Management methods are ways to influence a managed object to achieve certain goals. Management methods are diverse, but they are all necessary to reduce costs, improve working conditions, safety and improve the quality of products, and ultimately, they should all contribute to the achievement of the company's goals and objectives. At present, in the conditions of market relations, it is important to understand the need for constant control and management of production, as this guarantees the well-being of the enterprise. But all this is impossible without constant improvement and development.

Control, management, production, algorithm, equipment, controller, automation, system, process.

Введение

Развитие экономики выдвигает немало сложных теоретических и практических проблем. Среди этих проблем важное место занимает совершенствование методов организации и управления производством. Это заставляет предприятия по-новому взглянуть на систему организации производственных процессов. Деятельность производственных предприятий разнообразна, что вызывает повышенный интерес к этой теме. В итоге четко налаженная, научно обоснованная, комплексно увязанная с процессами планирования и контроля, система организации и управление производством обеспечивает эффективное функционирование предприятия. Таким образом, организация и управление производством является необходимым фактором деятельности любого предприятия. На деятельность организации оказывают влияние многочисленные факторы внешней и внутренней среды, действие которых предвидеть с достаточной степенью вероятности не всегда удается. Планы не всегда выполняются так, как было задумано. Меняются условия окружающей среды, и организация должна к ним адаптироваться. С помощью контроля устанавливаются ограничения, благодаря которым исключается возможность действий, наносящих вред организации. Основная задача контроля заключается в установке стандартов, которыми следует руководствоваться при выполнении заданий, измерении фактически достигнутых результатов и проведении корректировок в том случае, если достигнутые результаты существенно отличаются от установленных стандартов. В настоящее время процедуры оперативного управления все больше переплетаются с технологией и регулированием производства. Повседневно выполняемые управленческим персоналом функции по оперативному учету, контролю и анализу процесса производства, являются основой для выработки вариантов регулирующих воздействий на ход производства. Таким образом, оперативное управление производством осуществляется на основе непрерывного слежения за производственным процессом, оказывая целенаправленное воздействие на него, для обеспечения безусловного выполнения утвержденных производственных программ. Как объект управления производство является динамично развивающейся системой, все элементы которой взаимосвязаны и взаимозависимы. Они требуют четкого и целенаправленного взаимодействия с внутрен-

ней и внешней средой каждого подразделения. Поэтому, для достижения наилучших результатов, необходим своевременный контроль и непрерывное управление производством.

Основная часть

Решения, закладываемые на этапе проектирования, определяют не только возможность применения автоматики, но и ее структуру, затраты и эффективность. Процесс создания, преобразования или транспортирования продукции не может происходить без контроля и управления. Вначале производственными процессами полностью управлял сам человек. По мере усложнения процессов требовалось более сложное управление и возможности человека становились ограничивающим фактором. Были разработаны способы измерения параметров процессов и соответствующие устройства — датчики, а также исполнительные механизмы, оказывающие необходимое воздействие на процесс. Но измеренное значение температуры или давления не может быть непосредственно использовано для приведения в движение исполнительного механизма. Однако его можно использовать для проведения анализа, на основании которого принимается решение и осуществляется управляющее воздействие. Пока не было вычислительных устройств, решение принимал оператор. Он считывал с приборов результаты измерений, производил приближенные вычисления, принимал решение и оказывал управляющее воздействие. Однако по мере усложнения процессов даже самый квалифицированный оператор перестал справляться с задачами управления. Был разработан аналоговый регулятор, который самостоятельно осуществлял непрерывное регулирование одного параметра. Но при большом числе параметров в одном процессе требовалось много регуляторов, которые не могли взаимодействовать между собой и вести себя как единое целое. По-прежнему оператор должен был принимать решения по управлению всем процессом, даже если регуляторы обеспечивали хорошее регулирование требуемых параметров. Появление электронных вычислительных машин (ЭВМ) позволило рассматривать технологический процесс не как набор независимых операций, а как единое целое. АСУ на базе ЭВМ ведут весь процесс в оптимальном режиме, выполняют пуск и останов технологического оборудования, контролируют его со-стояние и предотвращают перегрузки, обеспечивают отработку аварийных ситуаций, ведут учет и анализ протекания процесса; они легко перестраиваются при необходимости на выпуск другой продукции. Современные промышленные объекты представляют собой совокупность взаи-

мосвязанных многорежимных управляемых подсистем, объединенных общей системой управления с центральной ЭВМ. Производственные процессы осуществляются на автоматических линиях гибкими производственными модулями на базе минимизированных вариантов ЭВМ — микропроцессоров и микро ЭВМ. Гибкими их называют потому, что они способны быстро перестраиваться с производства одних изделий на производство других, что позволяет постоянно модифицировать производство, расширять ассортимент и повышать качество продукции. Вспомогательные операции и часть основных операций выполняются промышленными роботами. Все это оборудование совместно с автоматическими системами транспортирования, проектирования и подготовки производства образует гибкое автоматизированное производство. При этом достигается решение ряда важных задач: снижение травматизма на производстве, производственных затрат, повышение эффективности производства. Последнее достигается за счет экономии энергетических ресурсов и материалов, уменьшения доли заработной платы в себестоимости продукции; ликвидации или сокращения дорогостоящего обслуживания, минимизация работы во вредных или опасных условиях, ручного труда, снижения расходных коэффициентов, уменьшения простоев, увеличения срока службы инструмента и оборудования. Обеспечение гибкости производства за счет использования автоматически перенастраиваемых поточных линий и агрегатов непрерывного цикла. Использование быстродействующих микропроцессорных систем управления обеспечивает мониторинг и документирование всех входных параметров систем автоматики и выработанных ими управляющих воздействий. Повышение надежности всех элементов автоматических устройств и использование универсальных покупных средств, таких как программируемые логические контроллеры (ПЛК), позволяет свести к минимуму простои оборудования, в случае выхода его из строя. Преимуществом ПЛК перед аналоговыми релейными системами контроля и управления является возможность перенастройки всей системы под любые условия, практически без изменения оборудования. Нужно лишь изменить программную часть, причем это можно сделать удаленно, что снижает простои оборудования и процент брака при выпуске продукции. На базе микропроцессоров создаются разнообразные программируемые логические контроллеры, в которых с помощью вычислительных процедур задаются законы регулирования, реализуется идентификация моделей управления, вычисляются параметры

настройки. При включении контроллера он переходит в бесконечный цикл выполнения программы, в котором с периодом цикла осуществляется опрос включенных в систему датчиков, анализ их состояния и выдача на выходы контроллера битов управления. Состояние каждого опрашиваемого входа запоминается и сохраняется в памяти до следующего опроса. Во многих случаях сохранение информации обеспечивается и при отключении питания контроллера. При применении ПЛК нужно помнить, что отработка сигналов и команд не происходит мгновенно. Время реакции контроллера зависит от продолжительности цикла опроса. Чем сложнее программа, тем медленнее будет реакция контроллера. Поэтому создатели автоматики идут по пути создания распределенных систем — много простых контроллеров с простыми программами, объединяют в сеть, в которой каждый контроллер выполняет узкую функцию. Современные ПЛК далеко ушли от первых упрощенных реализаций промышленного контроллера, но заложенные в систему управления универсальные принципы были стандартизированы и успешно развиваются уже на базе новейших технологий. Крупнейшими мировыми производителями ПЛК сегодня являются компании Siemens AG, Allen-Bradley, Rockwell Automation, Schneider Electric, Omron. Кроме них ПЛК выпускают и многие другие производители, включая российские компании ООО КОНТАР, Овен, Сегнетикс, Fastwel Групп, группа компаний Текон и другие. По конструктивному исполнению ПЛК делят на моноблочные и модульные. В корпусе моноблочного ПЛК наряду с ЦП, памятью и блоком питания размещается фиксированный набор входов/выходов. В модульных ПЛК используют отдельно устанавливаемые модули входов/выходов. Их тип и количество могут меняться в зависимости от поставленной задачи и обновляться с течением времени. Подобные ПЛК могут действовать в режиме «ведущего» и расширяться «ведомыми» ПЛК через сетевой интерфейс. Прогресс в развитии микроэлектроники затронул всю элементную базу ПЛК. У них значительно расширился диапазон функциональных возможностей. Несколько десятилетий назад немыслимы были аналоговая обработка, визуализация технологических процессов или даже раздельное использование ресурсов ЦП в качестве непосредственного управляющего устройства. В настоящее время поддержка этих функций входит в базовую версию многих ПЛК. Сегодня цифровая автоматика переживает быстрый подъем. Это связано с наличием универсальных надежных решений, легким перепрограммированием и перенастройкой систем управления.

Выводы

Для обеспечения контроля и управление на производстве целесообразно применять программируемые логические контроллеры (ПЛК) которые позволяют создавать распределенные системы автоматики, конструировать сложные многоуровневые иерархические структуры, обеспечивающие сбор и хранение информации, управление в реальном времени, органическое включение в системы верхнего уровня, такие как АСУТП. При этом обеспечивается модульный подход к коммуникациям, реализуемый при помощи «дочерних плат» или локальных устройств, что дает возможность поддерживать несколько разных сетей в любом сочетании. Можно выбрать практически любую открытую сеть. В таких системах обычно реализуется возможность удаленного конфигурирования и удаленной настройки локальных контроллеров, сервомеханизмов, параметров технологического процесса, а также обеспечивается мониторинг технологического процесса с требуемой степенью детализации, что обеспечивает полный контроль и управление производством.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Афанасьев М., Кузнецов П.* Забытая амортизация // Вопросы экономики. 2001.
2. *Бигель Дж.* Управление производством. М., 1972.
3. *Купрякова Е.М.* - М.: "Производство". Издательское объединение "ЮНИТИ".
4. Организация производства и управления предприятием /под. ред. Турцовой О.Г, 2004г.
5. *Попов Е.П.* Робототехника и гибкие производственные системы. М., 1987.
6. Рей У. Методы управления технологическими процессами. М., 1983.
7. Управление производством учебное пособие /под. ред. Соломатина Н.А, 2005 г.
8. *Игнатьева А.В., Максимцов М.М.* Исследование систем управления: Учеб. пособие для вузов. - М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000.
9. *Румянцева З.П.* Общее управление организацией. Теория и практика. - М.: Инфра-М, 2007.
10. https://www.compel.ru/lib/95591

Бондаренко Анатолий Борисович, студент ИРТСУ, группа РТмо1-70, Южный федеральный университет, Россия, город Таганрог, переулок Некрасовский д.44, 347900, телефон: +7 (918) 513-26-44, email: nato1c@yandex.ru.

Bondarenko Anatoly Borisovich, IRTSU student, RTmo1-70 Group, Southern Federal University, Taganrog, 44 Nekrasovsky Lane, 347900, phone: +7 (918) 513-26-44, email: nato1c@yandex.ru.

УДК 621.396

Геложе Юрий Андреевич, Максимов Александр Викторович

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СЛЕДЯЩАЯ СИСТЕМА С ЦИФРОВЫМ РЕГУЛЯТОРОМ

Рассматривается автоматическая следящая система управления, функционирующая в режиме слежения. В работе анализируется влияние задержки на быстродействие системы для типового задающего воздействия, представляющего некоторое начальное рассогласование и дальнейшее движение с некоторой заданной скоростью вращения оси нагруженного электродвигателя.

Автоматическая следящая система, быстродействие системы, цифровой регулятор.

Yuri Andreevich Gelozhe, Aleksandr Viktorovich Maksimov

AUTOMATIC TRACKING SYSTEM WITH DIGITAL REGULATOR

An automatic tracking control system operating in the tracking mode is considered. The paper analyzes the effect of the delay on the speed of the system for a typical reference action, which is a certain initial mismatch and further movement with a certain given speed of rotation of the axis of a loaded electric motor.

Automatic tracking system, system speed, digital controller.

Введение

Рассматривается автоматическая следящая система управления, функционирующая в режиме слежения. Объектом управления является безредукторный электродвигатель с жёсткой нагрузкой. Угловое перемещение нагрузки производится в пределах заданного сектора, при этом её момент инерции относительно требуемой оси вращения является стационарным. Угловая ориентация объекта управления относительно требуемой оси измеряется оптическим датчиком углового положения.

Показания этого датчика цифровые. Следовательно, регулятор, используемый в системе, является цифровым.

Особенностью рассматриваемой автоматической системы является то, что показания датчика измерения углов могут быть использованы в вычислительном устройстве цифрового регулятора только с задержкой на один или два такта. Таким образом в рассматриваемой системе существует транспортная задержка. В работе анализируется влияние этой задержки на быстродействие системы для типового задающего воздействия, представляющего некоторое начальное рассогласование и дальнейшее движение с некоторой заданной скоростью вращения оси нагруженного электродвигателя.

Математические модели элементов автоматической системы

Ниже приведены математические модели объекта управления и регулятора в автоматической следящей системе, которые позволят определить важнейшие параметры системы, минимизирующие время переходного процесса при отработке задающего воздействия.

Передаточная функция объекта управления, которым является электродвигатель с жёсткой нагрузкой, по угловым координатам ориентации его нагрузки имеет вид

$$W_{МД}(s) = \frac{k_d}{Js^2}, \qquad (1)$$

где k_d – статический коэффициент передачи электропривода по моменту силы; J – момент инерции нагруженного электродвигателя и его конструктивов относительно требуемой оси вращения.

Электродвигатель рассматриваемого типа называют моментным, поэтому в приведённой выше его математической модели не учитывается влияние ЭДС индукции на вращение его вала, как это обычно требуется для электродвигателей, связанных с нагрузкой с помощью редукторов, и, следовательно, развивающих высокую скорость вращения вала.

Из выражения (1) следует, что математической моделью электродвигателя является соединение двух интеграторов, поэтому для обеспечения работоспособности автоматической системы и поддержания возможного в системе (с упомянутым выше количеством интеграторов) астатизма второго порядка, в контур системы необходимо включить последовательно с объектом управления корректирующее звено, содержащее дифференциатор [1]. Передаточная функция корректирующего звена имеет вид

$$W_к(s) = T_к s + 1 \quad , \qquad (2)$$

где $T_К$ - постоянная времени дифференциатора.

Для настройки системы, позволяющей обеспечить повышение её быстродействие, последовательно с корректирующим звеном требуется включить усилительное звено с коэффициентом $K_К$.

Дискретная передаточная функция регулятора с учётом изложенного выше будет иметь вид [2]

$$W_r(z) = \frac{U_r(z)}{\varepsilon(z)} = K_k \left(T_k \frac{z-1}{T\ z} + 1\right), \qquad (3)$$

где $U_r(z)$ отображение выходной переменной регулятора; ε(z) – изображение сигнала ошибки системы, являющейся входной переменной регулятора; T – период дискретизации процессов в системе.

В рассматриваемой системе в состав регулятора включён преобразователь цифра-аналог.

Для получения следящей системы последовательное соединение цифрового регулятора и объекта управления охвачены единичной обратной связью. Выходная переменная электропривода является выходной переменной автоматической системы, несущей информацию об угловых координатах нагрузки, совершающей вращательное движение.

Неизменяемые параметры системы и её элементов следующие: $\frac{k_d}{J} = 5$, частота дискретизации процессов в системы $F_Д = 10^3$ Гц (период дискретизации T равен 1 мс), задержка в формировании управляющего сигнала $1T$ и $2T$.

Цель работы

Цель работы состоит в том, чтобы путём выбора параметров цифрового регулятора T_k и K_k обеспечить максимальное быстродействие системы при условии, что задающее воздействие известно точно.

Постановка задачи

Для точно известных параметров объекта управления, частоты дискретизации и задающего воздействия с заданными угловой скоростью $\Omega_0 = 2^\circ/c$ и начальным угловым отклонением $m_0 = 2^\circ$ необходимо определить параметры цифрового регулятора T_k и K_k , обеспечивающие минимизацию времени отработки задающего воздействия. Задача решается для случая, когда допустимая ошибка слежения задана.

Методика расчётов основывалась на рекомендациях метода стандартных коэффициентов [1] и ограничении частоты среза непрерывной части

системы так, чтобы она была с некоторым запасом меньше частоты дискретизации.

Формулы для расчёта этих коэффициентов имеют вид

$$T_к = \frac{8d^2 K_з}{2\pi F_Д},$$

$$K_k = \frac{(2\pi)^2 F_Д^2 J}{16 d^2 K_з^2 k_d},$$

где $k_з$ – коэффициент (запаса) превышения частоты $2\pi F_Д/2$ над частотой среза непрерывной части системы, что соответствует тереме Котельникова-Шеннона [2];

d – коэффициент демпфирования.

Оптимизация осуществляется параметрическим методом.

Задача решалась в пакете программ MATLAB. Переходный процесс считался законченным, если ошибка слежения уменьшалась до $2*10^{-4}$ рад. Цифровой датчик углового положения нагрузки и преобразователь цифра-аналог являются семнадцатиразрядными.

Результаты решения задачи

Моделирование в пакете программ MATLAB рассматриваемой автоматической системы позволило определить важнейшие её параметры, при которых обеспечивается минимизация времени отработки задающего воздействия с заданной точностью [3-5].

Если транспортная задержка управляющего сигнала равна одному такту, то система работоспособна при коэффициенте $k_з \geq 10$. Минимальное время переходного процесса достигается при $k_з = 12$ и коэффициенте демпфирования d = 1. Длительность переходного процесса равна 91-му такту.

Если транспортная задержка управляющего сигнала равна двум тактам, то система работоспособна при коэффициенте $k_з \geq 12$. Минимальное время переходного процесса достигается при $k_з = 12$ и коэффициенте демпфирования d = 1,25. Длительность переходного процесса равна 162-м тактам.

Выводы

В результате моделирования автоматической следящей системы, содержащей моментный электродвигатель и цифровой регулятор, в котором управляющее воздействие формируется с задержкой на один и два такта, определены важнейшие параметры системы, обеспечивающее максималь-

ное быстродействие отработки задающего воздействия с требуемой точностью.

В случае, когда задержка равна одному такту, минимальное время переходного процесса достигается при $k_з = 12$ и коэффициенте демпфирования d = 1. Длительность переходного процесса равна 91-му такту.

В случае, когда задержка равна двум тактам, минимальное время переходного процесса достигается при $k_з = 12$ и коэффициенте демпфирования d = 1,25. Длительность переходного процесса равна 162-м тактам.

В общем можно отметить, что задержка времени, внесённая в контур управления, существенно влияет на длительность переходного процесса, если задающее воздействие имеет скоростную составляющую.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Справочник по теории автоматического управления/ Под ред. А. А. Красовского. – М.: Наука. Гл. ред. Физ.-мат. лит., 1987.
2. *Изерман Р.* Цифровые системы управления: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984.
3. Геложе Ю.А., Клименко П.П., Максимов А.В. Функционирование элементов системы фазовой автоподстройки частоты в нелинейных режимах. - Известия ЮФУ. Технические науки. 2015. № 3 (164).
4. *Геложе Ю.А., Клименко П.П., Максимов А.В.* Исследование переходных процессов в контуре ФАПЧ. - Известия ЮФУ. Технические науки. 2015. № 11 (172). С. 85-96.
5. *Геложе Ю.А., Клименко П.П., Максимов А.В.* Переходные процессы в контуре ФАПЧ при больших начальных расстройках по частоте. - Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2017. № 4 (19). С. 5.

Геложе Юрий Андреевич – Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; доцент; 347928, кафедра радиотехнических и телекоммуникационных систем; г.Таганрог, пер. Некрасовский, 44, ГСП-17А; тел: 88634371637; e-mail: yagelozhe@sfedu.ru.

Максимов Александр Викторович – Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: kafmps@ttpark.ru; 347928, г.Таганрог, пер. Некрасовский, 44, ГСП-17А, кафедра встраиваемых и радиоприемных систем, доцент.

Gelozhe Yuri Andreevich – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education «Southern Federal University»; GSP-17A, 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371637; e-mail: ya-gelozhe@sfedu.ru; the department of radio engineering and telecommunication systems; associate professor.

Maksimov Aleksandr Viktorovich – e-mail: kafmps@ttpark.ru , GSP-17A, 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; the department of embedded and radio receiving systems; associate professor.

УДК 629.735.4

Воронков Олег Юрьевич

СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ АСТАТИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ «ЛЕТАЮЩЕЙ ПЛАТФОРМЫ»

Работа посвящена синергетическому синтезу астатического гарантирующего регулятора для системы управления летательным аппаратом. Доклад содержит общее описание и компьютерное моделирование нелинейной динамики аппарата с парированием внешних возмущений интеграторами астатического регулятора. Актуальность работы состоит в необходимости создания вертикально взлетающего аппарата типа «летающая платформа» для повышения эффективности спасения людей из зон бедствий, где вертолёты и другие современные средства не справляются с задачами. Научная новизна работы заключена в применении синергетических подходов к разработке системы балансировки пространственного положения аппарата, оснащённой интеграторами для парирования возмущающих воздействий.

«Летающая платформа»; вентилятор в кольце; синергетическая теория управления; наихудшие возмущения; астатический гарантирующий регулятор.

Voronkov Oleg Yu.

SYNERGETIC SYNTHESIS OF AN ASTATIC CONTROLLER FOR THE “FLYING PLATFORM”

The work is devoted to the synergetic synthesis of the astatic guaranteeing controller for the aircraft control system. The paper contains the general description & computer simulation of the vehicle’s nonlinear dynamics with parry of external disturbances by astatic controller’s integrators. The relevance of the work consists in

the necessity of "flying platform" type vertical take-off & landing aircraft creation to increase the effectiveness of people rescue operations in those disaster areas where helicopters & other modern means don't cope with a task. The scientific novelty of the work consists in synergetic approach application to the design of the vehicle's spatial position system equipped with integrators to parry disturbing influences.

"Flying platform"; fan in the ring; synergetic control theory; worst disturbance; astatic guaranteeing controller.

Введение

В данной работе рассматривается летательный аппарат, описанный ранее в материалах [1–4] и относящийся к типу «летающая платформа». Этот тип представляет собой вертикально взлетающий аппарат [5], оснащённый подъёмными вентиляторами, которые обычно помещены в аэродинамические кольца, предназначенные для создания дополнительной тяги и для защиты вентиляторов от механических воздействий [6].

Предлагаемая «летающая платформа» содержит фюзеляж в виде аэродинамического крыла малого удлинения, обеспечивающего небольшую подъёмную силу на высоких скоростях (до 150 км/ч) в дополнение к основной тяге вентиляторов. Внутри фюзеляжа расположено четыре электрических двигателя с вентиляторами (два передних и два задних), получающих энергию от турбогенераторной установки. Продольное управление аппаратом осуществляется путём дифференциального изменения тяги пары передних и пары задних вентиляторов, а поперечное управление аппаратом осуществляется путём дифференциального изменения тяги пары правых и пары левых вентиляторов. Система автоматического управления основана на принципах синергетической теории, развиваемой на Кафедре синергетики и процессов управления имени профессора А. А. Колесникова Южного федерального университета [7–10].

Астатические гарантирующие регуляторы

В работах [3, 4] был выполнен синергетический синтез иерархической системы балансировки пространственного положения «летающей платформы» с применением асимптотического наблюдателя гармонических внешних возмущающих воздействий. Однако метод наблюдения ветровых возмущений не в состоянии предусмотреть всех возможных воздействий, а в процессе синтеза наблюдателя требуются математические модели возмущающих воздействий. Так, для

гармонических возмущений требуется информация о частоте колебаний, которую на практике часто бывает затруднительно получить. Уместно отметить, что с течением времени характер и параметры внешних воздействий могут претерпевать значительные изменения. Причина этого заключена в неоднородности воздушной среды и непостоянстве ветрового потока.

Метод наблюдения координат, представленный в работах [3, 4], в принципе, допускает идентификацию внешних воздействий в реальном времени. Однако здесь возникает ряд технических трудностей: динамическая модель объекта управления должна быть очень точной, а быстродействие наблюдателя – существенно превосходить скорость изменения возмущений. Кроме этого, может потребоваться наблюдение всех параметров и координат состояния объекта. В результате законы управления значительно усложняются, и эффективность асимптотического наблюдателя на практике ощутимо падает.

Таким образом, возникает необходимость построения *гарантирующих регуляторов* [11] верхнего уровня иерархии для «летающей платформы». Такие регуляторы с технической точки зрения представляются довольно простыми и реализуют парирование *наихудших внешних возмущений*.

Наихудшие внешние возмущения

Определение наихудших воздействий предлагается заимствовать из работы [12]: *«наихудшие – это такие внешние возмущения, которые за наименьшее время отклоняют объект управления на максимальное возможное расстояние от желаемого состояния в его фазовом пространстве»*. Из такого определения, в соответствии с принципом максимума Понтрягина, следует математическое описание наихудших возмущений как кусочно-постоянных воздействий вида:

$$M_{\sup} = M_i sign\, \mu(t). \qquad (1)$$

Изменения величины M_i и знака функции $\mu(t)$ в выражении (1) являются *случайными*.

Гарантирующий регулятор обязан включать в себя *интеграторы*, а получаемые управляющие алгоритмы представляются *астатическими* и на практике легко реализуемыми. Интегральные компоненты, хотя повышают точность управления и подавляют возмущения, тем не менее, ухудшают устойчивость замкнутой системы. Для многосвязных систем с ПИ-элементами в отдельных каналах управления проблема устойчивости встаёт особенно остро; однако в рамках метода АКАР подобных

сложностей нет, поскольку этот подход гарантирует асимптотическую устойчивость динамической системы [7–10].

Моделирование динамики разработанной системы

Графики моделирования разработанной системы управления «летающей платформой» с астатическим гарантирующим регулятором на основе интеграторов показаны ниже на рис. 1. В обоих случаях на «летающую платформу» действуют кусочно-постоянные возмущения (например, сильные порывы ветра), меняющиеся через каждые 100 секунд. Как можно видеть из сравнения двух графиков, наихудшие возмущения эффективно парируются интеграторами астатического регулятора.

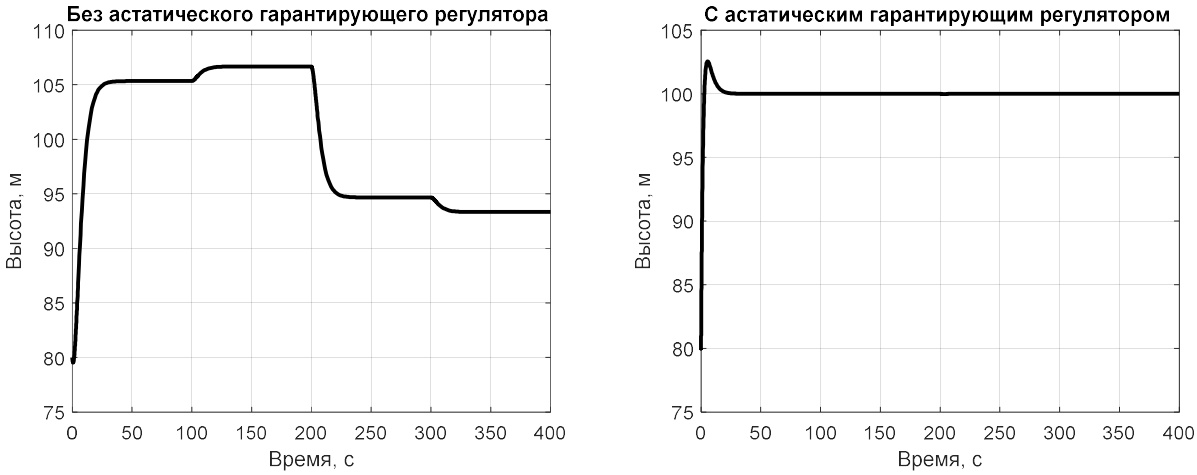


Рис. 1. Моделирование динамики «летающей платформы» в условиях наихудших внешних возмущений (графики изменения высоты полёта)

Выводы

В докладе описан астатический гарантирующий регулятор для «летающей платформы» и проведено компьютерное моделирование нелинейной динамики аппарата в условиях парирования наихудших внешних возмущений интеграторами этого регулятора. Результаты работы будут полезны при разработке новых типов пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов, не использующих аэродинамические поверхности для создания подъёмной силы, например, квадрокоптеров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. РФ № 2348568 / Ю. С. Воронков, О. Ю. Воронков. Лёгкий многорежимный летательный аппарат; Опубл. 10.03.09. Бюл. № 7.

2. *Воронков О. Ю.* Синергетический синтез иерархической системы управления «Аэромобилем» в режиме балансировки // Известия ЮФУ. Технические науки. 2011. № 5 (118). С. 55–60.
3. *Воронков О. Ю.* Синергетический синтез иерархической системы балансировки «Аэромобиля» с асимптотическим наблюдателем гармонических возмущений // Известия ЮФУ. Технические науки. 2011. № 6 (119). С. 153–161.
4. *Воронков О. Ю.* Синергетический синтез наблюдателя возмущений для «летающей платформы» // Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием имени профессора О. Н. Пьявченко «Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении (КомТех-2020)». Ростов-на-Дону, Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2020. С. 100–104.
5. *Курочкин Ф. П.* Основы проектирования самолётов с вертикальным взлётом и посадкой. М.: Машиностроение, 1970. 354 с.
6. *Шайдаков В. И.* Аэродинамика винта в кольце. М.: Издательство Московского Авиационного Института, 1996. 88 с.
7. *Колесников А. А.* Синергетическая теория управления. Таганрог: ТРТУ, М.: Энергоатомиздат, 1994. 344 с.
8. Современная прикладная теория управления. Ч.I: Оптимизационный подход в теории управления / Под ред. А. А. Колесникова. Москва – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. 400 с.
9. Современная прикладная теория управления. Ч.II: Синергетический подход в теории управления / Под ред. А. А. Колесникова. Москва – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. 559 с.
10. Современная прикладная теория управления. Ч.III: Новые классы регуляторов технических систем / Под ред. А. А. Колесникова. Москва – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. 656 с.
11. *Абдуллаев Н. Д., Петров Ю. П.* Теория и методы проектирования оптимальных регуляторов. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1985. 240 с.
12. *Колесников А. А., Веселов Г. Е., Кузьменко А. А.* Новые технологии проектирования современных систем управления процессами генерации электроэнергии. М.: 2009. 323 с.

Воронков Олег Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, Кафедра синергетики и процессов управления им. проф. А. А. Колесникова Южного федераль-

ного университета, Россия, город Таганрог, улица Чехова 2, 347900, телефон: +7 (950) 844-95-49, email: ovoronkov@sfedu.ru.

Voronkov Oleg Yurievich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), docent, Department of Synergetics & Control Processes n. a. prof. Anatoly A. Kolesnikov of Southern Federal University, 347900, Russia, Taganrog, 2 Chekhov street, phone: +7 (950) 844-95-49, email: ovoronkov@sfedu.ru.

УДК.517.977

Клименко Юрий Алексеевич, Преображенский Андрей Петрович

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАБОТЫ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ PLC В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 0,4 кВ

В данной статье предлагается новый подход к разработке и применению приборов измерения параметров электрической сети и учёта электрической энергии. Система измерения параметров сети с возможностью дистанционной передачи данных измерений с использованием технологии PLC (Power Line Communication). Отсутствует необходимость использования измерительных проводов для соединения измерительного трансформатора тока и приборов контроля параметров электросети, учёта потребления электрической энергии. Существует возможность размещения приборов в удалённых, отапливаемых помещениях, что повышает безопасность электротехнического персонала при эксплуатации электроустановок. Разработанный алгоритм работы данной системы наглядно показывает порядок проведения измерения параметров, регистрации и отображения информации, а также позволяет осуществлять передачу данных на расстояние по силовой электрической сети.

Распределительная сеть; измерение; параметр; электроэнергия; технология; передача; данные; алгоритм.

Klimenko Yuri Alekseevich, Preobrazhensky Andrei Petrovich

DEVELOPMENT OF THE OPERATING ALGORITHM OF THE SYSTEM FOR MEASURING PARAMETERS AND DATA TRANSMISSION BASED ON APPLICATION OF PLC TECHNOLOGY IN THE 0.4 kV DISTRIBUTION ELECTRIC NETWORK

This article proposes a new approach to the development and application of devices for measuring the parameters of the electrical network and accounting for electrical energy. System for measuring network parameters with the possibility of remote transmission of measurement data using PLC technology (Power Line Communication). There is no need to use measuring wires to connect the measuring current transformer and devices for monitoring the parameters of the power grid, metering the consumption of electrical energy. There is a possibility of placing devices in remote, heated rooms, which increases the safety of electrical personnel during the operation of electrical installations. The developed algorithm for the operation of this system clearly shows the procedure for measuring parameters, registering and displaying information, and also allows data transmission over a distance through the power electrical network.

Distribution network; measurement; parameter; electricity; technology; broadcast; data; algorithm.

Введение

Телекоммуникационная технология PLC основана на принципе использования силовых электрических линий в качестве физической среды для высокоскоростного информационного обмена данных в сетях электроснабжения. Экономическая целесообразность при выборе технологии PLC состоит в отсутствии необходимости использования дополнительных средств коммуникации, таких как проводные (кабельные, коаксиальные и оптоволоконные линии связи) и беспроводные (радиосвязь, Wi-Fi, мобильная и спутниковая связь). Линия электропередачи, как канал связи, представляет собой самый распространённый, разветвлённый и надёжный вид коммуникации в мире, так как электроэнергией пользуются подавляющее большинство людей в мире, в отличии, например, от различных средств связи. PLC технология в будущем может составить конкуренцию современным видам телекоммуникации. На основе энергосети возможно создание локальных компьютерных информационных сетей с высокой пропускной способностью до 200-500 Мбит/с. Передача данных осуществляется по

электрическим линиям относительно небольшой длинны и на короткие расстояния, поэтому задержка в распространении сигнала будет минимальной, поэтому обмен данными происходит в режиме реального времени.

Повсеместное использование низковольтных электрических сетей 220/380 В позволяет отказаться от дополнительных строительных и монтажных работ по созданию материальной базы телекоммуникации. Возможно совмещать PLC технологии с другими телекоммуникационными системами, которые будут дополнять друг друга в различных условиях эксплуатации.

Приоритетом для использования PLC технологий является создание небольших локальных домашних и офисных компьютерных сетей, использование при передаче измерительной и технологической информации, применение в различных системах управления.

Основными преимуществами PLC технологий являются: устойчивость канала связи, высокая скорость передачи данных, отсутствие взаимных помех с радиоканалами, нет зон отсутствия уверенного приёма, минимизация помех от бытовых электроприборов, локальность действия связи между PLC адаптерами в электросети.

Основными недостатками PLC технологий являются: электрические сети изначально не предназначаются для передачи данных, высокий уровень ВЧ помех, низкое качество магистральных электролиний, высокая изношенность электрических сетей зданий, наличие множественных контактных соединений, неконтролируемое излучение в радиоэфир, большое затухание сигнала, отсутствие единых стандартов.

При применении надёжных методов кодирования и шифрования данных есть возможность получить высокий уровень надёжности и достоверности информации при её приёме и передаче.

Система измерения параметров электрической сети и передачи данных на основе применения технологии PLC

В настоящее время в сетевых и энергосбытовых компаниях [1] уделяется огромное внимание вопросу учёта расхода и снижению потерь электрической энергии при её поставке потребителям [2]. Поэтому применение новых технологий и приборов, в этой сфере, способствует решению данных проблем.

Трансформатор тока (ТТ) представляет собой преобразователь электрического тока [3], который с высокой точностью пропорционально по-

нижает токи высоких величин до номинальных вторичных значений без изменения частоты. Используется ТТ для измерения силы электрического тока. Применяются ТТ совместно с измерительными приборами амперметрами, ваттметрами и приборами учёта потребления электрической энергии (электросчётчик).

В обычных условиях схемы соединения ТТ и электросчётчика для однофазной и трёхфазной сети выглядят так (рис.1) :

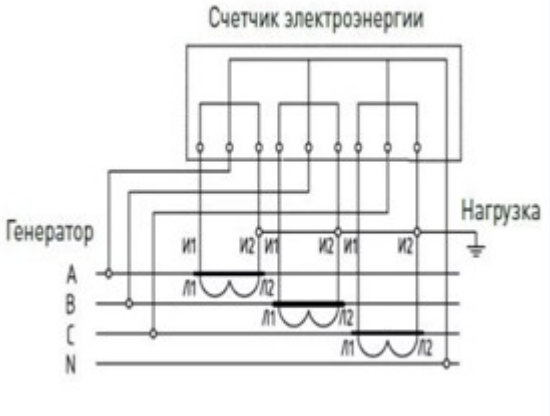


Рис. 1. Электрическая схема соединения ТТ и электросчётчика для трёхфазной сети 0,4 кВ

Существуют определённые технические требования к размещению ТТ и электросчётчиков, и они различны в применении к каждому прибору, а часто их совместное размещение практически невозможно. Поэтому вторичная измерительная цепь ТТ соединяется с электросчётчиком с помощью измерительных проводов, что порой не всегда удобно для технической реализации.

Если разместить измерительный ТТ и измерительный прибор (электро-счётчик) в одном корпусе, то отпадает необходимость в использовании соединительных проводов, а также соблюдаются требования при их совместном размещении. Так же существует постоянная необходимость для электротехнического персонала в контроле за расходом электроэнергии, фиксируемой электросчётчиком, визуальным способом при соблюдении строгих мер электробезопасности [4].

Поэтому, чтобы не создавать проблемы с постоянным свободным доступом персонала для осуществления контроля показаний электросчётчиков и других приборов отображения, необходимо обеспечить возможность передачи данных измерения параметров сети и показаний расхода электроэнергии на расстояние.

Для этой цели необходимо использовать современные технологии PLC для передачи данных измерений по силовой электрической сети к месту размещения прибора приёма, регистрации, передачи и хранения измерительной информации [5]. Данный прибор можно устанавливать в любом удобном месте прохождения электрической линии в соответствии с требованиями его размещения и безопасности персонала.

Система измерения параметров электрической сети и беспроводной передачи данных представлена на рис. 2 и состоит из блока измерения параметров (БИП), который включает в себя ТТ, прибор учета электроэнергии (ПУЭЭ), адаптер PLC, и блока приёма, передачи, отображения и хранения измерительной информации (БППОХИ), который включает в себя адаптер PLC и прибор для приёма, передачи, отображения и хранения измерительной информации.

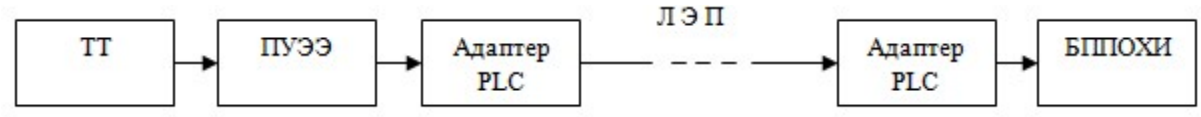


Рис. 2 Структурная схема системы измерения параметров электрической сети и беспроводной передачи данных

Достоинствами данного системы являются : размещение ТТ и электросчётчика раздельно; отсутствие соединительных измерительных проводов, размещение блока БППОХИ на удалении от блока измерения, удобство осуществления визуального контроля результатов измерений для электротехнического персонала, наличие резервного учета потребления электроэнергии, выполнение требований электробезопасности при выполнении работ.

Недостатками данной системы являются: незначительное увеличение габаритов блока БИП в отличии от габаритов ТТ, расстояние размещения блока БППОХИ ограничивается дальностью действия адаптеров PLC для создания сети передачи данных.

Алгоритм работы системы измерения параметров и передачи данных на основе применения технологии PLC

Блок-схема алгоритма работы системы измерения параметров и передачи данных на основе применения технологии PLC представлена на рис. 3.

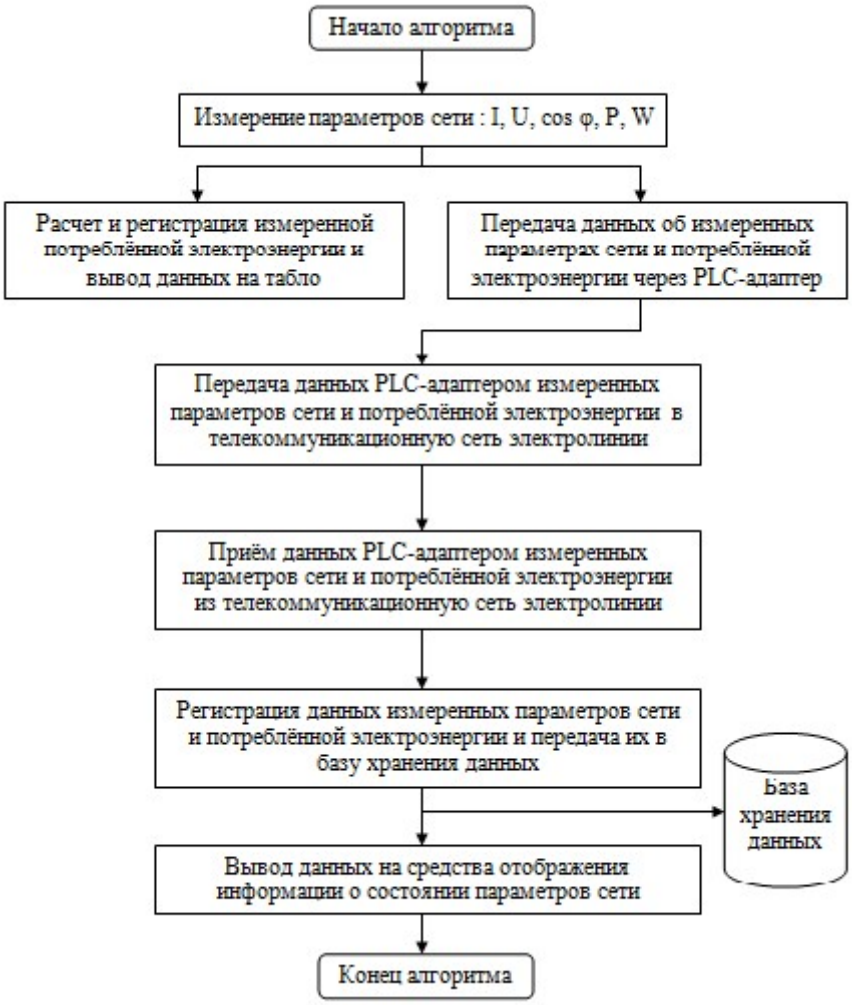


Рис. 3 Алгоритм работы системы измерения параметров и передачи данных на основе применения технологии PLC

Описание работы алгоритма представлено по шагам для пояснения сути процесса работы устройства измерения параметров и передачи данных.

Шаг 1. Начало алгоритма.

Шаг 2. Измерение параметров сети. Измерение электрических параметров сети осуществляется в точке присоединения ТТ к ЛЭП. Регистрируются следующие параметры: электрический ток, протекающий в цепи I (А), электрическое напряжение U (В), коэффициент активной мощности (cosφ), коэффициент реактивной мощности (sinφ), электрическая активная мощность (Вт), электрическая реактивная мощность Q (В·А) [6]. Далее осуществляется переход к пункту алгоритма "Шаг 3".

Шаг 3. Расчёт и регистрация измерений электрических измерений с выводом данных на табло счётного механизма. Для расчёта электрических

нагрузок (мощностей) вычисляется средняя активная мощность, потребляемая электрооборудованием в точке присоединения измерительного устройства к ЛЭП.

Шаг 4. Передача данных об измеренных параметрах сети и потребителей через PLC-адаптер.

Шаг 5. Передача данных PLC-адаптером в телекоммуникационную сеть линии электропередачи.

Шаг 6. Приём данных PLC-адаптером из телекоммуникационной сети линии электропередачи.

Шаг 7. Регистрация данных и их передача в базу хранения.

Шаг 8. Вывод данных на средства отображения информации о состоянии параметров сети.

Шаг 9. Конец алгоритма.

Заключение

В представленной статье рассмотрены вопросы работы системы измерения параметров сети с возможностью дистанционной передачи данных измерений с использованием технологии PLC. Проведён краткий анализ возможности применения технологии PLC в электроэнергетике. В результате были разработаны : структурная схема системы измерения параметров сети, алгоритм работы системы измерения параметров и передачи данных. Предлагаемая система измерения параметров электрической сети и передачи данных на основе применения технологии PLC может применяться для создания локальной сети передачи данных на базе силовой электрической сети.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Постановление Правительства РФ от 24 мая 2017 года № 624 «О внесении изменений в некоторые акты правительства российской федерации по вопросам введения полного и (или) частичного ограничения режима потребления электрической энергии…», [Электронный источник], / http: // www.garant.ru / (дата обращения 27.04.2020).
2. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения, [Электронный источник], / http: // www.garant.ru / (дата обращения 26.04.2020).

3. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: в 2 т. Т.2. Электрооборудование /Под общ. ред. А. А. Федорова. — М.: Энергоатомиздат, 1987. - 592 с.
4. Правила устройства электроустановок (ПУЭ),7-е издание- Издательство: НЦ ЭНАС, 2019 - 476 с.
5. *Клименко Ю.А., Преображенский А.П.* Разработка устройства измерения параметров электрической сети / Ю.А. Клименко, А.П. Преображенский. // Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций. 2020. № 3. С. 152.
6. Электрические измерения. Учебник для вузов/Под ред. Фремке А.В., Душина Е.М. - М.: Издат.: Энергия, 1980 - 392 с.

Клименко Юрий Алексеевич, аспирант, "Воронежский институт высоких технологий"-АНОО ВО. 394043 г. Воронеж, ул. Ленина, д. 73А, Телефон: +7 (910) 346-27-10, E-mail: klm71165@mail.ru.
Преображенский Андрей Петрович, профессор, доктор технических наук, доцент,"Воронежский институт высоких технологий"-АНОО ВО. 394043 г. Воронеж, ул. Ленина, д. 73А, Телефон:+7 (910) 243-87-53, E-mail: app@vivt.ru.

Klimenko Yuri Alekseevich, graduate student, "Voronezh Institute of High Technologies" -ANOO VO.

Preobrazhensky Andrei Petrovich, Professor, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, “Voronezh Institute of High Technologies” -ANOO VO.

УДК 681.518.5

Хлуденев Александр Владимирович

КОНТРОЛЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ И АСИММЕТРИЯ НАПРЯЖЕНИЙ ПОЛЮСОВ В СОПТ

В работе рассматривается влияние устройств контроля изоляции в системах оперативного постоянного тока на асимметрию напряжений полюсов и работу устройств релейной защиты. Предложена модификация активного метода мониторинга сопротивления изоляции, которая не создает дополнительные риски ложных срабатываний релейной защиты. Получены оценки увеличения погрешности.

Система оперативного постоянного тока, сопротивление изоляции, устройство контроля изоляции, релейная защита, асимметрия напряжений, ложное срабатывание.

Khludenev Alexander Vladimirovich

INSULATION MONITORING AND VOLTAGE UNBALANCE IN DC DISTRIBUTION SYSTEMS

The paper examines the influence of insulation monitoring devices in unearthed DC distribution systems on pole voltage unbalance and the operation of relay protection devices. A modification of the insulation monitoring active method is proposed, which does not create additional risks of relay protection misoperation. Estimates of the increase in error are obtained.

Unearthed DC distribution system, insulation resistance, insulation monitoring device, relay protection, voltage unbalance, misoperation.

Введение

Низковольтные изолированные системы оперативного постоянного тока (СОПТ) используют для питания оборудования высоковольтных подстанций: устройств релейной защиты и автоматики (РЗА), цепей управления высоковольтными аппаратами, аварийного освещения и других. При эксплуатации сетей СОПТ должен быть обеспечен контроль сопротивления изоляции полюсов относительно земли. Требования к устройствам контроля изоляции (УКИ), выполняющих непрерывный мониторинг сопротивления изоляции устанавливает стандарт IEC 61557-8 [1] и стандарты ПАО «ФСК ЕЭС» [2 - 4]. Асимметричное снижение сопротивления изоляции полюсов СОПТ вызывает асимметрию напряжений полюсов сети относительно потенциала земли. При определенных условиях это может быть причиной неправильной работы потребителей [5 - 6]. УКИ с активным методом измерения создают дополнительную асимметрию напряжений полюсов. Это является дополнительным фактором, способным вызвать ложное срабатывание дискретных входов устройств РЗА [7 - 8].

Основная часть

Эквивалентная схема замещения СОПТ приведена на рис. 1. Потребители R_{load} получают питание от источника V_s. Элементы R_{iso+}, R_{iso-}, C_+, C_- учитывают сопротивление изоляции и паразитные емкости полюсов сети

на землю. Для выравнивания напряжений полюсов относительно земли установлены резисторы R_d^+, R_d^-.

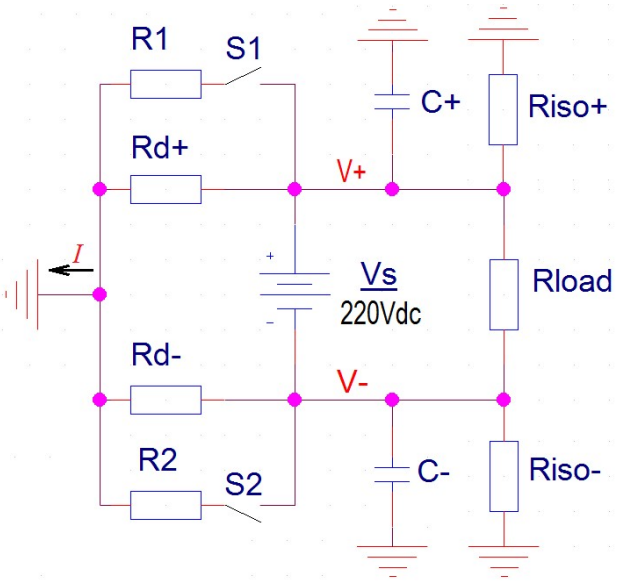


Рис. 1. Эквивалентная схема замещения СОПТ

Активный метод измерения сопротивления изоляции основан на поочередной периодической коммутации дополнительных резистивных элементов *R1*, *R2* между полюсами сети и землей. Управление электронными ключами *S1*, *S2* и измерение текущих значений напряжений полюсов $V^+(t)$, $V^-(t)$ и тока утечки на землю $I(t)$ выполняет микропроцессорный контроллер. После очередной коммутации *S1*, *S2* их текущее состояние сохраняется до достижения установившихся значений:

- V_0^+, V_0^- - напряжений полюсов и тока утечки I_0 , когда *S1* и *S2* выключены;

- V_1^+, V_1^- - напряжений полюсов и тока утечки I_1 , когда *S1* включен и *S2* выключен;

- V_2^+, V_2^- - напряжения полюсов и тока утечки I_2 , когда *S1* выключен и *S2* включен.

При неизменном значении V_s

$$\Delta V = V_2^+ - V_1^+ = V_2^- - V_1^-. \quad (1)$$

По результатам измерений общее сопротивление изоляции

$$R_{iso} = \Delta V/(I_1 - I_2). \quad (2)$$

Сопротивления изоляции полюсов:

$$R_{iso+} = V_s/(\frac{-V_0^-}{R_{iso}} - I_0), \quad (3)$$

$$R_{iso-} = V_s/(\frac{V_0^+}{R_{iso}} + I_0). \quad (4)$$

Аналогично определяются сопротивления изоляции отдельных фидеров, но используются датчики дифференциального тока в линиях отходящих фидеров [9].

В процессе работы УКИ создают помехоэмиссию, которая проявляется в виде инжекции тока ($I_1 - I_0$) и дополнительной асимметрии напряжений полюсов $(V_1^+ + V_1^-)/2 - (V_0^+ + V_0^-)/2$ при включении *S1* и соответственно ($I_2 - I_0$) и $(V_2^+ + V_2^-)/2 - (V_0^+ + V_0^-)/2$ при включении *S2*. При R_d = 45 кОм и R_{iso+} = 20 кОм, $R_{iso-} = \infty$ дополнительная асимметрия напряжения достигает более 4 вольт при включении *S1*. Это может быть причиной неправильной работы дискретных входов РЗА [6 - 8].

Для исключения этого фактора предлагается использовать модифицированный алгоритм работы УКИ с активным методом измерения [10]. При появлении перекоса напряжений полюсов $V_{asym} = (V_0^+ + V_0^-)/2$, близкого к критическому, необходимо отказаться от поочередной коммутации дополнительных резисторов *R1*, *R2*. В этом случае необходимо разрешить периодическую коммутацию только одного из них. Обозначим пределы допустимых значений перекоса напряжений полюсов V_{neg} и V_{pos}. Тогда УКИ должно работать по правилам:

1) если $V_{neg} < V_{asym} < V_{pos}$, то поочередная коммутация *R1* и *R2*;

2) если $V_{asym} \geq V_{pos}$, то коммутация только *R1*;

3) если $V_{asym} \leq V_{neg}$, то коммутация только *R2*.

Во втором случае $V_2^+ = V_0^+$, $V_2^- = V_0^-$ и $I_2 = I_0$, в третьем случае $V_1^+ = V_0^+$, $V_1^- = V_0^-$ и $I_1 = I_0$. Дополнительная опасная асимметрия напряжений полюсов не появляется. Это исключает создание условий для ложных срабатываний дискретных входов РЗА.

При $V_{asym} = 0$ отказ от поочередной коммутации *R1*, *R2* привел бы к снижению значений перепадов напряжения ΔV и тока утечки ($I_1 - I_2$) вдвое. Предельное значение приведенной относительной погрешности измерительных преобразователей напряжения и тока при этом бы удвоилось. Для наихудшего случая приведенная относительная погрешность измерения R_{iso} увеличилась бы в четыре раза.

При $V_{asym} \geq V_{pos}$ или $V_{asym} \leq V_{neg}$, вызванном асимметричным снижением сопротивления изоляции, снижение перепадов напряжения ΔV и тока утечки ($I_1 - I_2$) будет существенно ниже. Например, при R_d = 45 кОм и R_{iso+} = 20 кОм, $R_{iso-} = \infty$ перекос напряжений $V_{asym} = -58$ В, снижение ΔV и (I_1 –

I_2) составляет около 25 %. Для наихудшего случая приведенная относительная погрешность измерения R_{iso} увеличится в два раза.

Выводы

Асимметрия напряжений полюсов сети относительно потенциала земли, вызванная асимметричным снижением сопротивления изоляции полюсов СОПТ, создает условия для ложной работы дискретных входов РЗА.

Использование активных методов измерения сопротивления изоляции позволяет измерять сопротивления изоляции полюсов СОПТ и отдельных отходящих фидеров, но вносит дополнительную асимметрию напряжений полюсов.

Предложена модификация алгоритма активного мониторинга сопротивления изоляции СОПТ в условиях асимметрии напряжений полюсов сети, создающей риск ложной работы дискретных входов РЗА. Модифицированный порядок коммутации резистивных элементов между полюсами сети и землей не создает дополнительные риски ложных срабатываний дискретных входов РЗА.

Получены оценки увеличения предела относительной приведенной погрешности измерения сопротивления изоляции полюсов при отказе от поочередной коммутации резистивных элементов между полюсами сети и землей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ IEC 61557-8-2015 Сети электрические распределительные низковольтные напряжением до 1000 В переменного тока и 1500 В постоянного тока. Электробезопасность. Аппаратура для испытания, измерения или контроля средств защиты. Часть 8. Устройства контроля изоляции в IT-системах.
2. СТО 56947007-29.120.40.041-2010. Системы оперативного постоянного тока подстанций. Технические требования. Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС».
3. СТО 56947007-29.120.40.093-2011. Руководство по проектированию систем оперативного постоянного тока (СОПТ) ПС ЕНЭС. Типовые проектные решения. Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС».

4. СТО 56947007-29.120.40.262-2018. Руководство по проектированию систем оперативного постоянного тока (СОПТ) ПС ЕНЭС. Типовые проектные решения. Стандарт организации ПАО «ФСК ЕЭС».
5. *Алимов Ю.Н.* Особенности контроля изоляции в цепях оперативного постоянного тока 220 В / Ю.Н. Алимов, И.А. Галкин, Н.И. Шаварин // Релейная защита и автоматизация, 2011. – № 3 (04). – С. 36 – 41.
6. *Гусев Ю.П.* Предотвращение срабатываний дискретных входов микропроцессорных релейных защит при замыканиях на землю в системах оперативного постоянного тока / Ю.П. Гусев, Ю.В. Монаков // Известия вузов. Электромеханика, 2013, № 1. – С. 91 - 93.
7. *Галкин И.А.* К вопросу о требованиях к оборудованию контроля сопротивления изоляции СОПТ, снижающих ложную работу устройств релейной защиты и автоматики / И.А.Галкин, А.Ю. Виноградов, А.А. Лопатин // «Релейная защита и автоматизация, 2019, № 1. С. 90 - 93.
8. *Ольшовец П.* Влияние устройств контроля изоляции на работу систем оперативного постоянного тока // Электрические станции, 2016, № 9. - С. 30 - 33.
9. *Хлуденев А. В.* Пофидерный контроль сопротивления изоляции изолированных сетей постоянного тока [Электронный ресурс] / А. В. Хлуденев // Проблемы получения, обработки и передачи измерительной информации: материалы II Междунар. науч.-техн. конф., 19-20 сент. 2019 г., Уфа / Уфим. гос. авиац. техн. ун-т. - Электрон. дан. - Уфа : УГАТУ, 2019. - С. 213 - 217.
10. *Khludenev A.* Insulation Monitoring Impact on Relay Protection Malfunction [Электронный ресурс] / A. Khludenev // Proceedings - ICOECS 2020 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems, ICOECS 2020, 27-30 October 2020, Ufa, Russian Federation / Ufa State Aviation Technical University. - Electronic data, 2020. - P. 58 - 61.

Хлуденев Александр Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленной электроники и информационно-измерительной техники Оренбургского государственного университета, Россия, город Оренбург, проспект Победы 13, 460018, телефон: +7 (3532) 37-28-74, email: avhludenev@yandex.ru.

Khludenev Alexander Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), associate professor, Industrial Electronics and Information Measuring Engineering Department, Orenburg State University, 460018, Russia, Orenburg, 13 Victory Avenue, phone: +7 (3532) 37-28-74, email: avhludenev@yandex.ru.

УДК 519.711.3

Чжан Екатерина Анатольевна

НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ДУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ СТОХАСТИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ ДЛЯ СЛУЧАЯ ИНТЕРВАЛЬНЫХ ЗАДАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

В работе решается задача управления стохастическими объектами с запаздыванием. Математическое описание объекта априорно неизвестно, поэтому предлагается использовать алгоритм управления, основанный на непараметрических методов статистики. Рассматривается случай, когда задающее воздействие представлено в виде интервальной переменной. Предложена модификация алгоритма дуального управления, который позволяет формировать управляющие воздействия. Особенность алгоритма состоит в совмещении двух конкурирующих целей – изучении объекта и управлении им. Представлены результаты вычислительного эксперимента.

Дуальное управление, интервальная переменная, непараметрический алгоритм, регулятор, стохастический процесс.

Chzhan Ekaterina Anatolevna

NON-PARAMETRIC ALGORITHM OF DUAL CONTROL OF STOCHASTIC OBJECTS FOR THE CASE OF INTERVAL CONTROL SETTINGS

The work solves the problem of control of stochastic objects with delay. The mathematical description of the object is a priori unknown; therefore, it is proposed to use a control algorithm based on the use of nonparametric statistical methods. The case is considered when the setting action is presented in the form of an interval variable. A modification of the dual control algorithm is proposed, which makes it possible to form interval control actions. The peculiarity of the algorithm consists in combining two competing goals: studying the object and managing it. The results of computer experiments are presented.

Dual control, interval variable, nonparametric algorithm, controller, stochastic process

Введение

Процесс синтеза систем управления предполагает решение множества сопутствующих задач [1, 2]: проведение предварительного анализа данных

для формирования обучающих выборок [3], нивелирование влияния возможных ошибок в исходных данных [4], определение структуры объекта управления [5] и др. Если априорной информации недостаточно для получения математического описания процесса, то одним из путей решения задачи является использование непараметрических алгоритмов дуального управления. Теория дуального управления предложена впервые А.А. Фельбаумом [6]. Дуальное управление состоит из двух частей: поисковая составляющая для изучения объекта и компонента, содержащая выборку наблюдения, для достижения цели управления [7]. На практике может возникнуть ситуация, когда выборка наблюдений, полученная путем измерения с некоторой дискретностью контроля входных и выходных переменных представлена в виде действительных чисел, а задающее воздействие – в виде интервальной переменной. В работе предлагается модификация алгоритма дуального управления для интервальных переменных.

Постановка задачи

Рассмотрим схему дуального управления для случая непараметрической неопределенности [8].

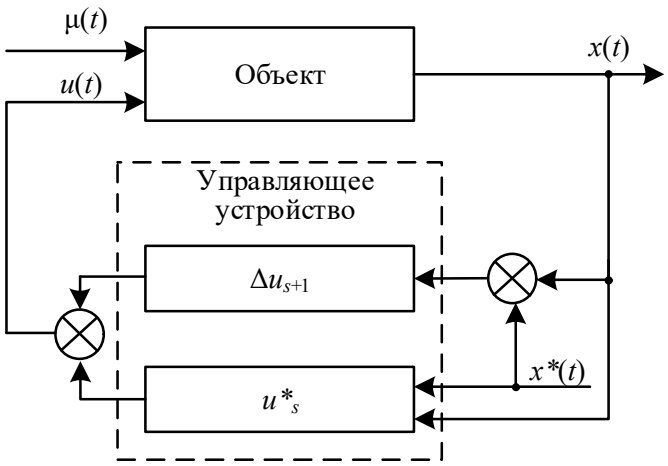


Рис. 1. Схема дуального управления

Объект управления представлен в виде «черного ящика», на вход которого поступают два типа переменных: измеряемые переменные $\mu \in R$, влиять на значения которых не представляется возможным, а также управляемые переменные $u \in R$, значения которых формируются управляющим устройством в зависимости от цели управления $x^*(t)$ и значения выходной переменной $x(t)$. Управляющее устройство (УУ) состоит из двух бло-

ков: непараметрической оценки управляющего воздействия u^* и поискового шага Δu. В каналах измерения действуют случайные помехи с нулевым математическим ожиданием и ограниченной дисперсией. На схеме они опущены из соображения простоты изложения.

В работе рассматривается случай, когда задающее воздействие $x^*(t)$ представлено не в виде числа, а в виде некоторого интервала из области допустимых значений переменной $x(t)$.

Непараметрический алгоритм дуального управления для случая интервальных переменных

Пусть некоторое задающее воздействие представлено в виде интервальной переменной. Известны лишь границы этого интервала:

$$x^* = [a, b], \tag{1}$$

где a – левая граница интервала задающего воздействия; b – правая граница интервала задающего воздействия.

Предлагается модифицировать существующий алгоритм дуального управления [9] следующим образом:

1) произвести дискретизацию интервального задающего воздействия с шагом дискретизации h:

$$x_1^* = a, x_2^* = x_1^* + h, ..., x_k^* = b; \tag{2}$$

2) для каждого значения $x_i^*, i = \overline{1,k}$ вычисляется значение управляющего воздействия:

$$u_s^* = \frac{\sum_{i=1}^{s} u_i \Phi\left(\frac{x_{s+1}^* - x_i}{c_s^x}\right) \Phi\left(\frac{\mu_{s+1} - \mu_i}{c_s^\mu}\right)}{\sum_{i=1}^{s} \Phi\left(\frac{x_{s+1}^* - x_i}{c_s^x}\right) \Phi\left(\frac{\mu_{s+1} - \mu_i}{c_s^\mu}\right)}, \tag{3}$$

где параметры размытости c_s^x, c_s^μ и параболическая колоколообразная функция $\Phi\left(\frac{x_{s+1}^* - x_i}{c_s^x}\right), \Phi\left(\frac{\mu_{s+1} - \mu_i}{c_s^\mu}\right)$ удовлетворяют условиям сходимости [10];

3) формирование управляющего воздействия в виде интервала. Промежуточные значения $u_1, u_2, ..., u_k$, соответствующие значениям $x_i^*, i = \overline{1,k}$, формируют интервал:

$$u(t) = [f, e], \tag{4}$$

где $f = \min\left\{u_l, l = \overline{1,k}\right\}$ – левая граница интервала управляющего воздействия, $e = \max\left\{u_l, l = \overline{1,k}\right\}$ – правая граница интервала управляющего воздействия.

Таким образом, при определении цели управления в виде интервала, задающее воздействие также будет иметь вид интервала.

Вычислительный эксперимент

Пусть математическое описание объекта имеет следующий вид:

$$x(t) = 6u(t). \tag{5}$$

Задающее воздействие представлено в виде интервала:

$$x^*(t) = \begin{cases} [3.7;4.5], t = \overline{1,100}, \\ [2.5;3], t = \overline{101,180}. \end{cases} \tag{6}$$

Результаты работы алгоритма, представлены на рис. 2. В данном эксперименте управляющее воздействия имеет следующие значения:

$$u(t) = \begin{cases} [0.6167;0.75], t = \overline{1,100}, \\ [0.4167;0.5]. \end{cases} \tag{7}$$

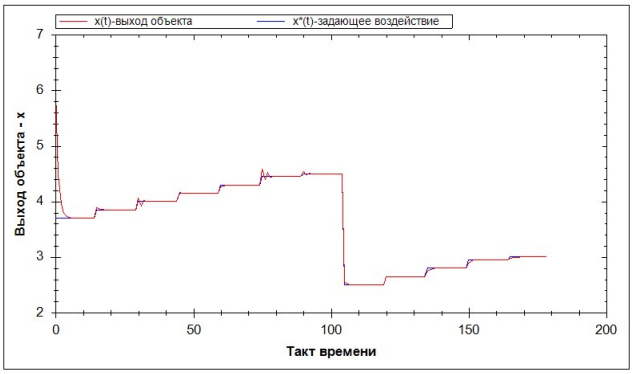


Рис. 2. График работы модифицированного алгоритма дуального управления

Средняя абсолютная ошибка управления составила W=0.0134.

Выводы

Предложенная модификация непараметрического алгоритма дуального управления может быть использована для синтеза системы управления в случае интервального задающего воздействия. Приведены результаты вычислительного эксперимента. Ошибка управления составила не более 2%, что говорит об удовлетворительной работе алгоритма.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых ученых
МК-763.2020.9.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хуррамов А. Ж., Комолов Э. Р. Разработка алгоритма управления с учетом трудноформализуемой информации // Academic Research in Educational Sciences, 2020. Т. 1. №. 3. С. 240-247.
2. Поляк Б.Т., Щербаков П.С. Робастная устойчивость и управление. – М.: Наука, 2002. – 303 с.
3. Мусаев А. А., Барласов И. А. Алгоритмы Data Mining в задачах управления динамическими процессами // Информатика и автоматизация, 2007.Т. 5. С. 300-313.
4. Еремин Е. Л., Теличенко Д. А., Шеленок Е. А. Комбинированные алгоритмы системы робастно-периодического управления нелинейным объектом с запаздыванием // Информатика и системы управления, 2009. №. 3. С. 125-135.
5. Медведев А. В. Теория непараметрических систем. Управление-I // Сибирский журнал науки и технологий, 2013. №. 2 (48).
6. Фельдбаум А. А. Теория дуального управления // Автоматика и телемеханика, 1960. Т. 21. №. 9. С. 1240-1249.
7. Heirung T. A. N., Ydstie B. E., Foss B. Dual adaptive model predictive control // Automatica, 2017. no. 80. 340-348 pp.
8. Чжан Е.А., Кемпф Д.А. Модификация непараметрического алгоритма моделирования и дуального управления многомерными процессами в условиях неопределенности // Вестник ВГТУ, 2020. №3. С. 7-12.
9. Медведев А. В. О теории непараметрических систем управления // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика, 2013. №. 1 (22).
10. Cai Z. Weighted Nadaraya–Watson regression estimation //Statistics & probability letters, 2001. Vol. 51. no. 3. 307-318 pp.

Чжан Екатерина Анатольевна, кандидат технических наук, доцент базовой кафедры Интеллектуальных систем управления, Институт космических и информационных технологий, Сибирский федеральный университет, Россия, город

Красноярск, улица Академика Киренского 26, 660074, телефон: +7 (391) 291-25-75, email: ekach@list.ru.

Chzhan Ekaterina Anatolevna, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Siberian Federal University, School of Space and Information Technology, 660074, Russia, Krasnoyarsk, 26 Akademika Kirenskogo street, phone: +7 (391) 291-25-75, e-mail: ekach@list.ru.

УДК 621.396

Чистофор Роман Александрович

ТИПОВАЯ СТРУКТУРА АСУТП

Автоматизированная система управления (АСУ) технологическим процессом (ТП) - собирательный термин, имеющий отношение ко всему многообразию управляющих компьютерных устройств и их объединений, которые имеют целью обеспечить управление разнообразными процессами. Первоначально системы АСУ ТП развивались на производстве, однако сходство технологических процессов с процессами работы самых различных механизмов позволяет часто причислять к АСУ ТП системы, использующиеся в управлении транспортом, оружием, инженерными системами зданий и др.

Chistofor Roman Aleksandrovich

TYPICAL STRUCTURE APCS

An automated control system (ACS) of a technological process (TP) is a collective term referring to the whole variety of control computer devices and their associations, which are aimed at ensuring the control of various processes. Initially, APCS systems were developed in production, however, the similarity of technological processes with the operation of a variety of mechanisms makes it possible to often rank as APCS systems used in the management of transport, weapons, engineering systems of buildings, etc.

Введение

Автоматизированные системы управления технологическим процессом чаще всего строятся по трехуровневому принципу.

Input/output level представляет собой датчики и исполнительные ме-

ханизмы. Они могут быть аналоговыми или цифровыми . Аналоговые представляют измеренную величину в форме определенного значения напряжения или силы тока (0-10V,4-20mA и т.д. Цифровые — представляют измеренную величину в виде цифрового сигнала, соответствующего спецификации протокола передачи данных, определенного для этих устройств. Для обмена информацией с приборами первого вида необходимо использовать АЦП/ЦАП (аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи). С приборами второго типа можно обмениваться информацией непосредственно по сети передачи данных.

Control level (уровень контроллеров) состоит из программируемых логических контроллеров (PLC). Он как раз производит сбор данных и непосредственное управление, основанные на использовании датчиков, регуляторов , исполняемых механизмов.

Supervisory Control And Data Acqusition level - это уровень визуализации (HMI), диспетчеризации ,на этом уровне происходит сбор данных. Здесь задействован человек, т.е. оператор . Он производит контроль объекта автоматизации, для его осуществления используется человеко-машинный интерфейс (HMI, Human-Machine Interface). Если оператор осуществляет контроль за распределенной системой машин, механизмов и агрегатов, то для таких диспетчерских систем часто применим термин SCADA (Supervisory Control And Data Acqusition - диспетчерское управление и сбор данных.) В первом и во втором случае данный уровень АСУ ТП обеспечивает сбор, а также архивацию важнейших данных от ПЛК, их визуализацию. Система получает данные и сравнивает их с граничными параметрами (уставками) и при выходе за границы уведомляет оператора с помощью тревог. Оператор, который для начала работы должен авторизоваться (зарегистрироваться), запускает технологический процесс, имеет возможность остановить его полностью или частично, может изменить режимы работы агрегатов (изменяя уставки) и т.п. При этом система записывает все происходящее, включая действия оператора.

Основная часть

Системы АСУ ТП, критичные ко времени отклика на различные события процесса, имеют название системы управления реального времени . Здесь недопустимо опоздание в выдаче управляющего сообщения, задержка сообщения может привести к аварии. В большинстве случаев ПЛК создаются как системы РВ, для них время цикла работы управляющего алгоритма и есть максимальное время отклика системы РВ.

Важнейшим элементом АСУ ТП являются сети, по которым передаются данные. Часто нижний (Input/output level) и средний (Control level) уровни АСУ ТП объединяются «полевой шиной», которая представляет собой сеть с гарантированным временем доставки пакетов, что позволяет создать распределенную систему управления (РСУ – DCS=Distributed Control System), работающую в режиме РВ. Приложения на верхнем уровне АСУ ТП обычно не требуют работы в режиме РВ, поэтому компьютеры здесь связаны между собой сетью Ethernet, что позволяет АСУ ТП легко интегрировать с системами управления уровня АСУ предприятия, отправляя производственные данные в базы данных предприятия.

Важный момент при создании АСУТП - это организация такой системы управления, которая обеспечивала бы надежность и оперативную отработку аварийных ситуаций, как в самой системе управления, так и в технологическом процессе. Аварийное сигнализирование и отработка аварийных ситуаций в технологическом процессе в большинстве SCADA-систем выделяются в отдельный модуль с наивысшим приоритетом. Надежность же системы управления достигается за счет горячего резервирования. Можно зарезервировать все: сервер, его отдельные задачи, сетевые соединения и отдельные (или все) связи с аппаратурой. Резервирование происходит по интеллектуальному алгоритму: чтобы не создавать удвоенную нагрузку на сеть, основной сервер взаимодействует с аппаратурой и периодически посылает сообщения резервному серверу, который сохраняет в памяти текущий статус системы. Если основной сервер выходит из строя, резервный берет управление на себя и работает до тех пор, пока основной не приступит к работе. Сразу после этого базы данных основного сервера обновляются данными резервного и управление возвращается основному серверу.

Выводы

В общем контексте, АСУТП - это концепция создания локальных, гарантированно надежных решений непосредственного управления оборудованием, как составляющих единого эффективного инструмента оперативного управления производством. В разрезе информационных технологий, АСУТП - набор программно-технических комплексов, реализующих одну из основных задач предприятия - выпуск продукции. Каждый отдельный комплекс управляет соответствующим технологическим процессом, а в совокупности они охватывают все производство в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Федоров Ю.Н.* Справочник инженера по АСУТП: Проектирование и разработка. Том 2
2. *Квейд Э.* Методы системного анализа. – В кн.: Новое в теории и практике управления производством в США. М., Прогресс, 1971.
3. *Рачков М.Ю.* Технические средства автоматизации. Учебник- М.: МГИУ,2006
4. *Kenneth C. Wiberg*, "Identifying supervisory control and data acquisition (SCADA) systems on a network via remote reconnaissance", September 2006.

Чистофор Роман Александрович, инженер электроник АО «ТАГМЕТ», Россия, город Таганрог, пер. 7-й новый д.100 кв.24, 347943,телефон:+7(918)894-97-98, email: roman.chistofor@gmail.com.

Chistofor Roman Aleksandrovich, electronics engineer of TAGMET JSC, Taganrog, Russia, 100 apt 24 7-novij line, 347943, phone:+7(918)894-97-98, email:roman.chistofor@gmail.com.

УДК 004.4'242

Маныч Александр Сергеевич, Заргарян Елена Валерьевна

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДОЗИРОВАНИЯ СЫРЬЯ

Исследованию подлежит система измерения и регулирования сыпучего сырья (система автоматизированного взвешивания) обеспечивающая управление автоматикой пневмотранспорта с 2-хскоростным ротационным дозатором, посредством которого сыпучее сырье подается на весовой бункер, подвешенный на тензодаточное устройство. Измерения веса сыпучей массы в бункере весов, с последующим управлением автоматикой выгрузки сыпучего сырья из бункера.

Система управления дозированием сырья, автоматизация, достоинства, производство.

Manych Alexander Sergeevich, Zargaryan Elena Valerevna

AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF DOSING OF RAW MATERIALS

A system for measuring and regulating bulk raw materials (automated weighing system) is subject to research, which provides control of the automation of pneumatic transport with a 2-speed rotary batcher, through which bulk raw materials are fed to a weighing hopper suspended on a strain gauge device. Measurement of the weight of the bulk mass in the bunker of the scales, followed by the control of the automatic unloading of bulk raw materials from the bunker.

Raw material dosing control system, automation, advantages, production.

Введение

В связи с большой производительностью кондитерской фабрики г. Ростова и развитым ассортиментом продукции, которой обеспечивается увеличением числа линий выпекающих различные изделия, была разработана югославскими специалистами и установлена автоматическая система управления дозирования сырья (АСУ ДС в дальнейшем). Т.е. система, управляющая транспортировкой сырья на весы из мест хранения, его взвешиванием и подачей на нужную технологическую линию. В технологическом плане комбинат состоит из 5 основных частей [1-3].

Основная часть

Жиры, масло, маргарин ароматизоторы и разрыхлители, занимающие малую долю в массе теста, подаются на тестомесильную машину вручную. Для управления взвешивания сыпучих ингредиентов, подсчета количество жидких составляющих и их подачей на нужные линии применяется Автоматическая Система Управления Дозированием сырья, представленным периферийным оборудованием, установленным на технологических машинах и механизмах и Центрального Пульта Управления (далее ЦПУ) включающего в себя 3 крупных блока обслуживающих подачу и измерение порций [4-8]:

-муки;

-сахара и сахарной пудры;

-жидкостей (воды и сиропа).

Каждый из этих блоков ЦПУ представляет собой микропроцессорную систему (МП-систему), по определенному алгоритму управляющую закрепленной за ней оборудованием. Блоки ЦПУ, кнопки ручного управле-

ния АСУ ДС размещены в пульте управления, выполненным в соответствии с требованиями эргономики (цвет корпуса, расположение кнопок, посадка оператора, подходы). ЦПУ является рабочим местом оператора-диспетчера управляющего работой АСУ ДС и контролирующего его. Контроль функционирования АСУ ДС осуществляется по мнемосхеме отражающей ее состояние, а так же по звуковым сигналам, вырабатываемым ЦПУ.

МП- система каждого из блоков ЦПУ представляет собой ЭВМ построенной на импортной элементной базе – в основном микросхемы серии 74HS.., в качестве процессора использован чип фирмы «INTEL» - 8085 с соответствующим комплектом сервисных микросхем. Каждая МП - система построена по блочно- модульному принципу, т.е. состоит из нескольких блоков «корзин» с полозьями и общей кросс - платой на которой установлены разъемы. По кросс - плате проходят шины данных, шины адреса и управления, подключенные к соответствующим выводам разъёмов. МП - система разбита на модули: CPU- центрального процессора с микросхемами памяти ROM и RAM; периферийные модули INPUT, OUTPUT, обеспечивающие связь МП- системы с внешними устройствами. Все модули размещены в «корзинах» в особом порядке и связаны между собой посредством плат расширения BEX.

Периферийное оборудование представлено датчиками уровня и положения, низковольтными реле (24v) срабатываемые при подаче на их обмотку логической «1» из ЦПУ. Эти реле служат для дальнейшей передачи сигналов управления от ЦПУ к технологическому оборудованию. Замыканием своих контактов реле управляют работой более мощных цепей, включая пневмореле и пневмоклапана, запитывая магнитные пускатели, управляющие электродвигателями разной мощности [7-10].

ЦПУ АСУ ДС по каждому из своих 3-х каналов осуществляет рутинную работу, значительно облегчая работу оператора- диспетчера по управлению системой. Например, для подачи муки из-под весов «А» на приемный бункер 1 необходимо переключить в то или иное положение 8 «стрелок»- пневмошиберов, проверить в каком они установлены положении, убедиться в том, что приёмный бункер пуст. Проверить наличие защитной крышки на ремнях компрессора и т.д. Для выполнения только одной технологической операции необходимо произвести больше 2-х десятков простых операции по проверке и подготовки оборудования. Этим по особому алгоритму занимается ЦПУ АСУ ДС. МП- система являющаяся ядром

каждого из блоков ЦПУ очень гибкая, алгоритм её работы при необходимости нетрудно программно изменить.

Выводы

В работе рассмотрены основные преимущества разработки автоматической система управления дозированием сырья.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

11. *Соловьев В.В., Заргарян Е.В., Заргарян Ю.А., Белоглазов Д.А., Косенко Е.Ю.* Проектирование и моделирование объемного гидропривода. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2015. – 97 с.
12. *Zargaryan Yu.A., Zargaryan E.V., Dmitrieva I.A., Sakharova O.N., Pushnina I.V.* Modeling Design Information Systems With Multi-Criteria. Journal of Physics: Conference Series. Krasnoyarsk, Russian Federation, 2020. С. 32057
13. *Бурцев Д.В., Заргарян Ю.А.* Анализ эффективности виброуплотнения бетонной смеси Технологии разработки информационных систем ТРИС-2020. Материалы X Международной научно-технической конференции. 2020. С. 130-133.
14. *Запорожцева Л.С., Заргарян Ю.А.* Система управления стабилизацией пневмоколесной платформы. Вестник молодёжной науки России. 2020. № 5. С. 9.
15. *Игнатьев В.В., Игнатьева А.С., Спиридонов О.Б., Спиридонов Б.Г., Заргарян Е.В., Половко И.Ю.* Возможности применения нечетких регуляторов в автоматизированных системах управления котельными агрегатами. Информатизация и связь. 2017. № 4. С. 30-36.
16. *Соловьев В.В., Заргарян Е.В., Заргарян Ю.А., Шаповалов И.О., Косенко Е.Ю.* Элементы объемного гидропривода. Таганрог, 2015.
17. *Уидроу Б., Стернз С.* Адаптивная обработка сигналов. М.: Радио и связь. 1989.
18. *Бондарук А.М.* Автоматизированные системы управления качеством в технологических процессах / А.М. Бондарук, С.С. Гоц. - М.: Уфа: Монография, 2017. - 144 с.
19. Автоматизированные системы управления. Информация и модели структур управления. - М.: Наука, 2019. - 336 с
20. *Калашников И.Д.* Адаптивные системы сбора и передачи информации / И.Д. Калашников, В.С. Степанов, А.В. Чуркин. - М.: Энергия, 2016. - 240 с.

Маныч Александр Сергеевич, студент кафедры систем автоматического управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Некрасовский пер., 44, Таганрог, 347931, телефон: +7 (8634) 371689, email: amanych@sfedu.ru.

Заргарян Елена Валерьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры систем автоматического управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Некрасовский пер., 44, Таганрог, 347931, телефон: +7 (8634) 371689, email: evzargaryan@sfedu.ru.

Manych Alexander Sergeevich, student of the Department of Automatic Control Systems of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, 44 Nekrasovskiy per., Taganrog, 347931, phone: +7 (8634) 371689, email: amanych@sfedu.ru.

Zargaryan Elena V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Automatic Control Systems, Southern Federal University, Taganrog, 44 Nekrasovskiy per., Taganrog, 347931, phone: +7 (8634) 371689, email: evzargaryan@sfedu.ru.

УДК 004.4'242

Касимов Дмитрий Валерьевич, Заргарян Юрий Артурович

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕГУЛЯТОРА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТНЫМ РЕЖИМОМ

В настоящее время в промышленности существует множество технологических процессов, связанных с изменениями таких параметров среды как температура и влажность. Такие процессы могут протекать за время от нескольких часов до нескольких дней. Разработкой регуляторов температуры и влажности занимается много предприятий. Это обусловлено тем, что в каждом маленьком городе и даже деревне появляются производители, использующие технологические процессы, связанные с регулировкой этих параметров. Таким образом, спрос на такие устройства большой

Регулятор, управление, температура, влажность.

Kasimov Dmitriy Valerevich, Zargaryan Yuriy Arturovich

USING THE REGULATOR IN A HUMIDITY CONTROL

Currently in the industry there are many technological processes associated with changes in environmental parameters such as temperature and humidity. Such pro-

cesses can take place from several hours to several days. Many enterprises are engaged in the development of temperature and humidity regulators. This is due to the fact that in every small town and even village there are manufacturers using technological processes related to the regulation of these parameters. Thus, the demand for such devices is great.

Regulator, control, temperature, humidity.

Введение

Регулятор – это устройство, осуществляющее регулирование определённой величины, т.е. поддержание этой величины равной уставке или управление изменением этой величины [1-5].

Регулятор может осуществлять любой из указанных ниже законов регулирования, в зависимости от свойств управляемого объекта:

- пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) закон;
- пропорциональный (П) закон;
- пропорционально-интегральный (ПИ) закон;
- пропорционально-дифференциальный (ПД) закон;
- релейный (Т) закон.

В общем случае регуляторы осуществляют регулирование измеряемой величины по ПИД закону. На выходе регулятора вырабатывается управляющий сигнал Y, действие которого направлено на уменьшение отклонения текущего значения контролируемой величины от заданного

Основная часть

Величина выходного сигнала вычисляется, исходя из рассогласования E, которое равно разности $T_{уст}$ (заданного значения – уставки) и $T_{изм}$ (измеренного значения), а также из установленных в приборе значений ПИД-коэффициентов. Величина выходного сигнала может изменяться от 0 до 100% и определяется отношением длительности замыкания выходного реле (длительности выходного управляющего импульса) к периоду следования выходных управляющих импульсов $T_{сл}$.

Выходной сигнал Y вычисляется по следующей формуле:

$$Y = \frac{D_i}{T_{сл}} = \frac{1}{X_p}(E_i + \tau_д \cdot \frac{\Delta E}{\Delta t_{изм}} + \frac{1}{\tau_и} \cdot \sum_{n=0}^{n=i} f(E_n))$$

где D_i - длительность выходного управляющего импульса; $T_{сл}$ - период следования управляющих импульсов; X_p - полоса пропорциональности; E_i - рассогласование, измеренное в i-й момент времени; ΔE - разность между текущим E_i и предшествующим E_{i-1} измерениями; $\Delta t_{изм}$ - время между эти-

ми измерениями; $\tau_д$ - постоянная времени дифференцирования; $\tau_и$- постоянная времени интегрирования; $f(E_n)$ - функция ограничения очередного члена интегральной суммы; n - число измерений от начала регулирования до i-го момента времени [6-10].

Из формулы видно, что при ПИД-регулировании сигнал управления зависит от $\frac{E_i}{X_p}$ - пропорциональной составляющей выходного сигнала; $\tau_д \cdot \frac{\Delta E}{\Delta t_{изм}}$ - дифференциальной составляющей выходного сигнала; $\frac{1}{\tau_и \cdot X_p} \cdot \sum_{n=0}^{n=i} f(E_n))$ - интегральной составляющей выходного сигнала.

ПИД-закон реализуется с помощью следующих программируемых параметров:

- постоянная времени дифференцирования;
- постоянная времени интегрирования;
- полоса пропорциональности;
- период следования выходных (управляющих) импульсов регулятора;
- зона действия интегральной составляющей;
- ограничение максимальной мощности исполнительного устройства;
- тип исполнительного устройства на выходе регулятора;
- зона нечувствительности.

Параметры регулирования для обоих регуляторов (кроме уставок), устанавливаются на уровне программирования один раз и действуют одинаково для всех программ и шагов.

При действии П-закона регулятор выдает импульсы, в которых присутствует только пропорциональная составляющая величины выходного сигнала.

Полоса пропорциональности X_p (рис. 1), как и отклонение E, выражается в единицах контролируемого параметра. Чем шире полоса пропорциональности, тем меньше величина выходного сигнала при одном и том же отклонении. Вне полосы пропорциональности выходной сигнал равен 0 или 100%.

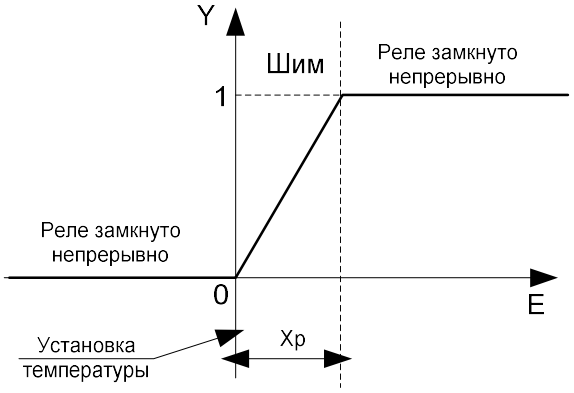


Рис. 1. П-закон регулирования

При изменении выходного сигнала выходные управляющие импульсы изменяют свою ширину при постоянном периоде следования (широтно-импульсная модуляция – ШИМ).

Если уменьшать полосу пропорциональности, то зона ШИМа также будет уменьшаться. В предельном случае, когда полоса пропорциональности равна нулю, ШИМ осуществляться не будет (частный случай П-закона регулирования – Т-закон (релейный)) (рис. 2).

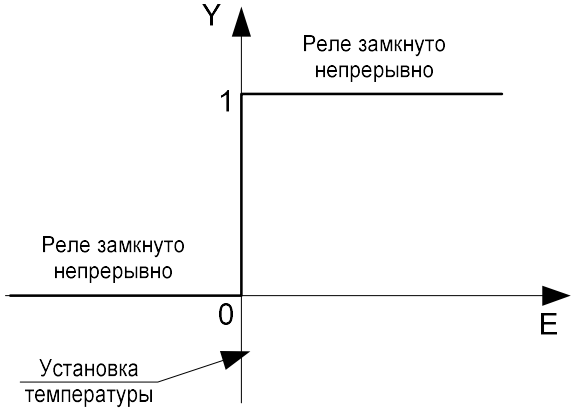


Рис. 2. Т-закон регулирования (релейный): полоса пропорциональности X_p равна нулю

Выводы

При выходе температуры на заданное значение (уставку) (при пропорциональном законе регулирования), она устанавливается около уставки, несколько не доходя до неё (от долей до нескольких градусов). Эта разность будет тем больше, чем больше значение полосы пропорциональности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Соловьев В.В., Заргарян Е.В., Заргарян Ю.А., Белоглазов Д.А., Косенко Е.Ю.* Проектирование и моделирование объемного гидропривода. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2015. – 97 с.
2. *Zargaryan Yu.A., Zargaryan E.V., Dmitrieva I.A., Sakharova O.N., Pushnina I.V.* Modeling Design Information Systems With Multi-Criteria. Journal of Physics: Conference Series. Krasnoyarsk, Russian Federation, 2020. С. 32057
3. *Спиридонова А.В., Заргарян Е.В.* Общий принцип работы системы энергоснабжения космического аппарата. Технологии разработки информационных систем ТРИС-2020. Материалы X Международной научно-технической конференции. 2020. С. 312-315.
4. *Петренко И.А., Заргарян Е.В.* Автоматизированная система управления дроблением щебня. Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении ("КомТех-2018"). Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Ответственный редактор: Синютин С.А., Ответственный за выпуск Клевцов С.И., 2018. С. 63-71.
5. *Игнатьев В.В., Игнатьева А.С., Спиридонов О.Б., Спиридонов Б.Г., Заргарян Е.В., Половко И.Ю.* Возможности применения нечетких регуляторов в автоматизированных системах управления котельными агрегатами. Информатизация и связь. 2017. № 4. С. 30-36.
6. *Соловьев В.В., Заргарян Е.В., Заргарян Ю.А., Шаповалов И.О., Косенко Е.Ю.* Элементы объемного гидропривода. Таганрог, 2015.
7. *Уидроу Б., Стернз С.* Адаптивная обработка сигналов. М.: Радио и связь. 1989.
8. *Бондарук А.М.* Автоматизированные системы управления качеством в технологических процессах / А.М. Бондарук, С.С. Гоц. - М.: Уфа: Монография, 2017. - 144 с.
9. Автоматизированные системы управления. Информация и модели структур управления. - М.: Наука, 2019. - 336 с
10. *Калашников И.Д.* Адаптивные системы сбора и передачи информации / И.Д. Калашников, В.С. Степанов, А.В. Чуркин. - М.: Энергия, 2016. - 240 с.

Касимов Дмитрий Валерьевич, студент кафедры систем автоматического управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Некрасовский пер., 44, Таганрог, 347931, телефон: +7 (909) 428-58-95, email: dkasimov@sfedu.ru

Заргарян Юрий Артурович, кандидат технических наук, доцент кафедры систем автоматического управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Некрасовский пер., 44, Таганрог, 347931, телефон: +7 (8634) 371689, email: yazargaryan@sfedu.ru

Kasimov Dmitriy Valerevich, student of the Department of Automatic Control Systems of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, 44 Nekrasovskiy per., Taganrog, 347931, phone: +7 (909) 428-58-95, email: dkasimov@sfedu.ru

Zargaryan Yuriy A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Automatic Control Systems, Southern Federal University, Taganrog, 44 Nekrasovskiy per., Taganrog, 347931, phone: +7 (8634) 371689, email: yazargaryan@sfedu.ru

УДК 621.31

Соловской Александр Сергеевич

РАЗРАБОТКА НЕЙРОМОДЕЛИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АНТРОПО-ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ

Рассматривается вопрос повышения безопасности производственных объектов на основе разработки моделей нейронных сетей, позволяющей в автоматизированном режиме осуществлять прогноз возникновения антропо-техногенных ситуаций. Был проведен анализ существующих методов оценки рисков техногенных опасностей и разработана модель нейронной сети для прогнозирования рисков опасности человеко-машинных систем, рассмотрен вопрос регулирования промышленной безопасности и актуальность использования искусственного интеллекта. Для реализации нейронной сети используется язык программирования Python. Нейромодель позволяет прогнозировать величины риска человеко-машинной системы «человек-электроустановка-среда» и, на основе этого, производить прогноз пожара на производственном объекте.

Техногенный риск, искусственный интеллект, нейронная сеть, прогнозирование, безопасность, человеко-машинная система.

Solovskoy Aleksandr Sergeevich

DEVELOPMENT OF A NEUROMODEL FOR FORECASTING ANTHROPO-TECHNOGENIC RISKS

The article considers the issue of improving the safety of production facilities based on the development of models of neural networks, which allows in an automated mode to predict the occurrence of anthropo-technogenic situations. The analysis of existing methods for assessing the risks of man-made hazards was carried out and a neural network model was developed to predict the risks of danger of human-machine systems, the issue of industrial safety regulation and the relevance of using artificial intelligence were considered. To implement the neural network, the Python programming language is used. The neuromodel allows to predict the risk values of the human-machine system "man-electrical installation-environment" and, on the basis of this, to predict a fire at a production facility.

Technogenic risk, artificial intelligence, neural network, forecasting, security, human-machine system.

Введение

Мировой научно-технический прогресс определяется не только существенным ростом благосостояния людей, но и скрывает в себе потенциальные опасности. Поэтому, вопрос безопасности общества будет всегда в центре внимания. Особую значимость данному вопросу придает повышенный риск возникновения чрезвычайной ситуации, определяемые гибелью, ущербу здоровью некоторому количеству людей или материальному ущербу. В настоящее время в Российской Федерации существуют около 50 тысяч потенциально опасных производственных объектов, которые должны соответствовать требованиям по надежному обеспечению системы безопасности. Около 60% населения страны могут оказаться в непосредственной зоне угрозы здоровью и жизни. Снижения уровня техногенных опасных ситуаций сводится к комплексной оценки обстановки производственного объекта и разработки организационно-технических мероприятий по предупреждению аварий [1].

До недавнего времени техногенные риски определялись своей жесткой неопределенностью, происходящие за счет стечения обстоятельств, человеческого фактора и т.д. Но сейчас формируется другой принцип: большинство опасных техногенных ситуации могут и должны быть смоделированы, чтобы снизить уровень влияния их на человека, окружающий

мир. Согласно [2], только 15% всех опасных техногенных ситуаций могли быть спрогнозированы с помощью измерения определенных параметров, выступающие в своем роде «предвестниками» чрезвычайной ситуации, аварии, электротравмы, катастрофы.

Вышесказанное обуславливает разработку и внедрение федеральных законов, федеральных программ, государственных стандартов, направленных на регулирование промышленной безопасности в стране. Так, в соответствии с Федеральным законом № 123-ФЗ от 22.07.2008 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» устанавливаются требования по осуществлению защиты жизни, здоровья, имущества граждан от пожаров. Именно пожар является одной из разновидностей техногенных аварий в стране, требующей технического контроля. Ежегодный материальный ущерб только от пожаров по стране составляет 20 млрд. рублей. В соответствии с этим, производственным объектам необходимо направлять мероприятия по предупреждению возникновения опасных техногенных ситуаций. Одним из таких мероприятия выступает применение искусственного интеллекта. И именно нейронные сети позволяют работать с большим количеством неопределенных данных и получать корректное решение определенных задач.

Основная часть

К моменту создания первых нейронных сетей о нейронах было известно уже довольно много, поскольку ряд ученых получили Нобелевскую премию в 1963 году за изучение биохимических и биоэлектрических изменений, происходящих при передаче и обработке сигналов – носителей нервной информации. Однако ключевым оказался вывод о возможности существенного упрощения описания реального нейрона путем замены принципов происходящей в нем обработки информации несколькими простыми зависимостями. Такой крайне упрощенный нейрон все равно позволяет создавать сети, обладающие интересными и полезными свойствами, но в то же время такой нейрон можно легко построить.

Поэтому, искусственные нейронные сети конструируются так, чтобы их структура была удобная для наблюдения и дешева с позиций практической реализации. Как следствие, искусственные сети строятся, во-первых, плоскими и имеют принудительно регулярную структуру. В такой структуре выделяются слои нейронов с четко определенным назначением, которые соединяются друг с другом по простому принципу «каждый с каждым». Свойства и возможности нейронных сетей предопределяются тре-

мяфакторами – из каких элементов состоит сеть (т.е. как выглядят и как функционируют искусственные нейроны), как эти элементы соединяются между собой, каким способом задаются параметры сети в процессе обучения [3].

Процесс функционирования нейронной сети сводится к получению на выходе конечного численного результата значения риска. На вход подается определенное численное значение (в соответствии с терм-множеством), проходящее через сигмоидальную функцию, и учитывающую веса каждого рискообразующего фактора. Каждый компонент человеко-машинной системы включает в себя определяющие рискообразующие факторы, оказывающие наибольшее влияние на протекание техногенных ситуаций.

На рис. 1 представлена структурная схема функционирования нейронной сети для прогнозирования пожара на производственном объекте. Каждый компонент характеризуется следующими рискообразующими факторами:компонент «человек» - ошибочные действия обслуживающего персонала (X_1, вес – 0,042), соответствующий уровень профессионализма (X_2, вес – 0,034), игнорирование обслуживающим персоналом опасных протекающих процессов (X_3, вес – 0,001); компонент «электроустановка» - уровень опасного возникновения аварий (Y_1, вес – 0,093), степень износа изоляционных частей электроустановок (Y_2 , вес – 0,057), отказ технологического электрооборудования (Y_3 , вес – 0,046), частичный или полный отказ от средств индивидуальной защиты (Y_4, вес – 0,045), низкая эффективность электрической защиты (Y_5, вес – 0,031); компонент «среда» - уровень разрушающих (деструктивных) воздействий (Z_1, вес – 0,055), качество текущего ремонта технологического электрооборудования (Z_2, вес – 0,049), диагностика технического состояния электроустановок (Z_3, вес – 0,042), состоянием условий труда на производственном объекте (Z_4, вес – 0,002).

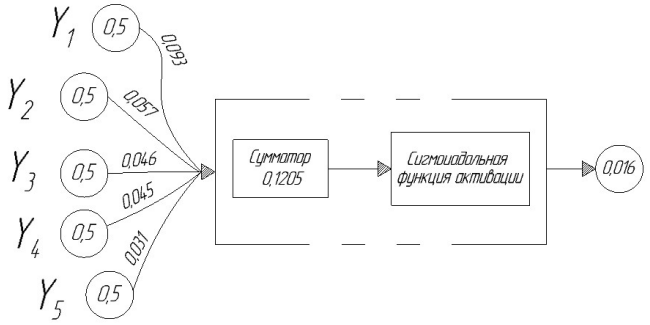


Рис. 1. Структурная схема функционирования нейронной сети для прогнозирования пожара

Выводы

Для проверки адекватности разработанной модели представлена табл. 1, показывающая влияние соответствующего численного значения терм-множества на величину риска для каждого компонента человеко-машинной системы при прогнозировании пожара на производственном объекте.

Таблица 1

Анализ полученных данных

Элемент терм-множества	Численное значение	Величина риска компонента			Лингвистическая оценка
		Человек	ЭУ	Среда	
Хорошее	0,1	0,004	0,003	0,0002	10^{-4} допустимый
	0,3	0,012	0,009	0,0006	10^{-4} допустимый
Среднее	0,4	0,017	0,012	0,0008	10^{-4} допустимый
	0,5	0,021	0,016	0,001	10^{-3} неприемлемый
Плохое	0,6	0,025	0,019	0,0012	10^{-3} неприемлемый
	0,8	0,034	0,025	0,0016	10^{-3} неприемлемый

Анализ полученных данных в табл. 1 показывает, что влияющим рискообразующим фактором при прогнозировании пожара на производственном объекте выступает человеческий фактор. Это позволит производственном объекту на любом этапе функционирования производства определить значение того или иного риска и направить мероприятия для регулирования определенного значения риска.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Горбунов С.В., Макиев Ю.Д., Малышев В.Д.* Анализ технологий прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера / Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. – 2011. – Т. 1. – № 1. – С. 43–53.
2. *Блохин Л.В., Гусева М.В., Юрчук Ю.С.* Прогнозирования и предупреждения развития чрезвычайных ситуаций техногенного характера / Безопасность городской среды. – 2020. – С. 352-357.
3. *Ростовцев В. С.* Искусственные нейронные сети : учебник / В. С. Ростовцев. – Санкт-Петербург : Лань, 2019 . – 216 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература) . - ISBN 978-5-8114-3768-9.

Соловской Александр Сергеевич, магистрант, студент Алтайского государственного технического университета им. И. И. Ползунова, Россия, город Барнаул, улица Ленина 46, 656038, телефон: +7 (3852) 29-08-82, e-mail: solovskoyas@mail.ru.

Solovskoy Alexander Sergeevich, undergraduate student, Altai State Technical University named after I. I. Polzunova, Russia, the city of Barnaul, Lenin Street 46, 656038, phone: +7 (3852) 29-08-82, e-mail: solovskoyas@mail.ru.

УДК 621.396

Витушинский Дмитрий Сергеевич

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЕМ ВОДЫ В ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ

Рассматриваются основные методы автоматического управления насосными установками в водопроводной сети района. Целью исследования является снижение экономических затрат на транспортировку воды потребителям и повышение надежности и длительности эксплуатации системы водоснабжения за счёт модернизации системы автоматического управления давлением воды. Для достижения поставленной цели предлагается реализовать принципы векторного частотного управления.

Насосная установка, управление, частотный преобразователь, водопроводная сеть, метод, математическая модель, передаточная функция.

Dmitry Sergeevich Vitushinskii

DEVELOPMENT OF WATER PRESSURE CONTROL METHODS IN THE WATER SUPPLY NETWORK

The paper considers the main methods of automatic control of pumping units in the water supply network of the district. The aim of the study is to reduce the economic costs of transporting water to consumers and increase the reliability and duration of operation of the water supply system by upgrading the automatic water pressure control system. To achieve this goal, it is proposed to implement the principles of vector frequency control.

Pumping unit, control, frequency converter, water supply network, method, mathematical model, transfer function.

Описание и проблематика объекта

Водопроводная сеть района – это сложный многоуровневый объект городского жилищно-коммунального хозяйства, который предназначен для транспортировки воды для технических целей и питья из одного места (обычно водозаборных сооружений) в другое — к потребителю.

Основная задача районной системы водоснабжения – обеспечить водой каждую конечную точку потребления охватываемой территории, причем с минимально необходимым уровнем давления воды, достаточным для бесперебойной работы каждого критического узла и наносящим минимальный ущерб транспортной сети [1].

Обобщенная схема сети водоснабжения представлена на рис. 1. Вода поступает на водопроводный узел по двум водоводам: основной «№1» и резервный «№2» и наполняет резервуары. На водопроводном узле установлены резервуары хранения очищенной воды, а ввод воды в каждый из них регулирует типовая на объекте задвижка. Система насосов нагнетает воду из резервуаров с необходимым уровнем давления для дальнейшей транспортировки.

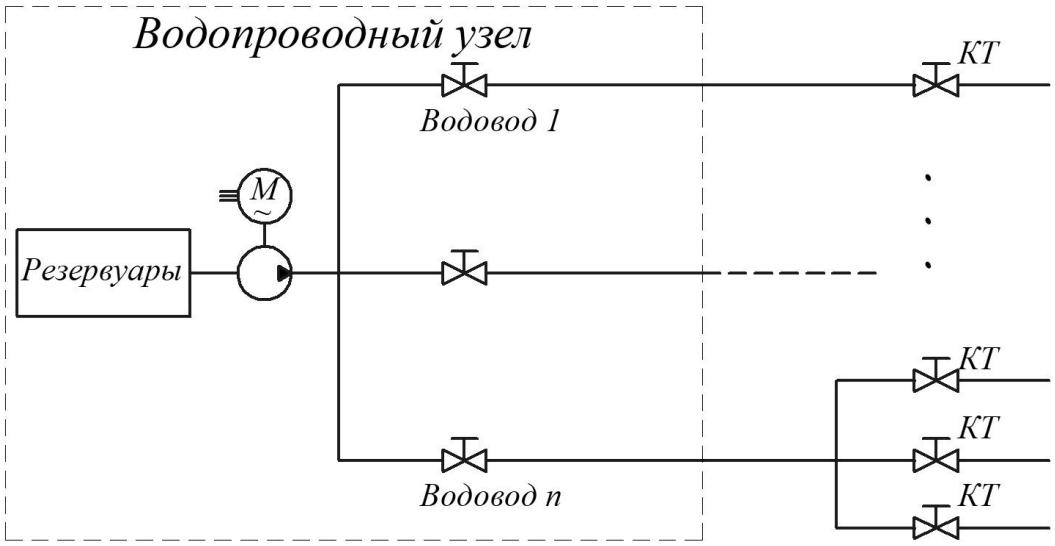


Рис. 1. Обобщенная схема сети водоснабжения

В процессе эксплуатации распределенной водопроводной транспортной сети имеет место ряд проблем. В связи с рельефом местности, различающимся диаметром трубопровода на разных участках сети, избыточным давлением воды, а также существующими порывами трубопровода в сети происходят гидравлические удары [2]. Они оказывают отрицательное воздействие на установленное на трубопроводе оборудование и непосред-

ственно наносят значительный ущерб трубопроводу. Это приводит к появлению новых порывов и утечек, а, следовательно, увеличивает экономические затраты на обеспечение потребителей и существенно снижает срок эксплуатации системы.

Стоит отметить, что расход воды в системах водоснабжения изменяется с достаточно постоянной цикличностью, повышаясь до максимума в утренние и вечерние часы и снижаясь до минимума в ночные часы [3]. При этом давление в критическом узле изменяется с той же цикличностью: повышается до максимума при минимальном расходе в ночные часы, и снижается до минимума при максимальном расходе в часы пик.

Таким образом, в разное время суток требуется подавать потребителям воду с разным давлением. Появляется необходимость постоянного изменения уставки [4]. Для решения существующих проблем необходимо уделить внимание таким характеристикам, как точность и плавность регулирования.

Для нагнетания необходимого уровня выходного давления воды из резервуаров в системе водопроводного узла используется ряд насосных агрегатов. В системе водопроводного узла установлены асинхронные двигатели переменного тока с короткозамкнутым ротором. Асинхронный двигатель и насос образуют вместе насосный агрегат. Комплекс оборудования, который обеспечивает работу насосного агрегата в требуемом режиме, называется насосной установкой. Насосная установка состоит из одного или нескольких насосных агрегатов, соединительных трубопроводов и запорно-регулирующей арматуры, а также из контрольно-измерительной, защитной и управляющей аппаратуры.

Насосная установка является основным потребителем электрической энергии на водопроводном узле (до 70% от общей потребляемой мощности), а, следовательно, требует особого внимания с точки зрения повышения энергоэффективности разрабатываемой системы [5].

Методы управления асинхронными двигателями

На данный момент существуют различные варианты управления скоростью вращения асинхронного двигателя: введение дополнительных резисторов в цепь ротора, изменение напряжения, подводимого к обмотке статора, метод введения добавочной ЭДС, переключение обмоток со схемы «звезда» на схему «треугольник» в процессе пуска двигателя и т. д. Однако все эти методы устарели, так как имели ряд существенных недостатков, главным из которых являлись высокие энергозатраты. Это приве-

ло к использованию частотного способа управления. Применение частотных преобразователей позволяет управлять скоростью вращения двигателя, изменяя частоту питающего напряжения, что в свою очередь приводит к изменению частоты вращения поля статора АД [6].

В частотных преобразователях применяется принцип скалярного управления. Скалярное частотное управление – метод управления асинхронным электродвигателем переменного тока, который состоит в том, чтобы поддерживать постоянное отношение напряжения к частоте во всем рабочем диапазоне скоростей [7]. При скалярном управлении контролируется только величина и частота питающего напряжения. При увеличении скорости напряжение питания статора также должно пропорционально увеличиваться. Однако, синхронная частота асинхронного двигателя не равна частоте вращения вала, а скольжение асинхронного двигателя зависит от нагрузки. Таким образом, система контроля со скалярным управлением без обратной связи не может точно контролировать скорость при наличии нагрузки [8]. Для решения этой задачи в систему может быть добавлена обратная связь по скорости, а, следовательно, и компенсация скольжения. Скалярное управление хоть и позволяет достичь существенного снижения энергозатрат, однако не удовлетворяет требованиям высокопроизводительных систем, где важным показателем является точность и широкий диапазон регулирования.

Для этих целей актуальным является применение векторного частотного управления – метод управления асинхронными электродвигателями переменного тока, который позволяет независимо и практически безынерционно регулировать скорость вращения и момент на валу электродвигателя.

Основная идея векторного управления состоит в том, чтобы контролировать не только величину и частоту напряжения питания, но и фазу. Т. е. контролировать величину и угол пространственного вектора [9]. Векторное управление по сравнению со скалярным обладает более высокой производительностью, а также избавляет практически от всех его недостатков. Главный принцип векторного частотного управления заключается в том, что математическая модель двигателя предоставляет возможность рассчитывать скорость вращения ротора и момент на валу в зависимости от текущих токов фаз (от частоты и величин токов в обмотках статора) [10]. Этот более прогрессивный подход позволяет независимо и почти безынерционно регулировать как момент на валу, так и скорость вращения

вала под нагрузкой, так как в процессе управления учитываются еще и фазы токов.

Таким образом, реализация векторного частотного управления позволит добиться ряда преимуществ в сравнении с остальными методами, таких как:

- плавный пуск и остановка электропривода;
- плавная работа двигателя в широком диапазоне частот;
- высокая точность и плавность регулирования скорости вращения;
- значительное снижение энергопотребления электродвигателя;
- быстрое устранение ошибок при отклонении управляющих сигналов и помех;
- защита электродвигателя от перегрузок, что позволит увеличить срок его эксплуатации.

Выводы

В работе проведен анализ технологической схемы районной водопроводной сети, а также её характерные особенности. Согласно проведенному анализу состояния объекта управления выделены основные проблемы существующей системы. Исходя из выявленных недостатков предложены меры по их устранению путем модернизации системы автоматического управления давлением воды.

С целью снижения энергозатрат на управление насосным агрегатом рассмотрены различные варианты управления скоростью вращения асинхронных двигателей. Предложено реализовать в системе принципы векторного частотного управления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Журба М. Г.* Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений / М. Г. Журба Л. И. Соколов, Ж. М. Говорова − 2–е изд., перераб. и доп. − М.: Издательство АСВ, 2003. − 288 с.
2. *Петренко В.И.* Водоснабжение и канализация / В. И. Петренко − М.: Высшая школа, 1992. − 415 с.
3. *Абрамов Н.Н.* Расчёт водопроводных сетей: Учеб. пособие для вузов / Н. Н. Абрамов М. М. Поспелова, М. А. Сомов − 4-е изд., перераб. и доп. − М.: Стройиздат, 1983. − 278 с.
4. *Зуев К. И.* Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения: учеб. пособие / К. И. Зуев; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. − Владимир: Изд-во ВлГУ, 2016. – 224 с.

5. *Рульнов А. А.* Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения / А. А. Рульнов К. Ю. Евстафьев − М.: Инфра, 2010. − 208 с.
6. *Дорф Р.* Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп; Пер. с англ. Б.И. Копылов. − М: Лаборатория базовых знаний, 2004. − 832 с.
7. *Бабиков М. А.* Элементы и устройства автоматики: Уч. пособие для вузов / М. Бабиков А., Косинский А. В. − М.: Высш. шк., 1975. − 464 с.
8. *Лезнов Б. С.* Частотно-регулируемый электропривод насосных установок. / Б. С. Лезнов — М.: Машиностроение, 2013. — 176 с., ил.
9. *Гудвин Г. К.* Проектирование систем управления / Г. К. Гудвин. − М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. − 911 с.
10. *Усольцев А. А.* Частотное управление асинхронными двигателями: учебн. пособие / А. А. Усольцев. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2006, – 94 с.

Витушинский Дмитрий Сергеевич, студент каф. САУ ИРТСУ ЮФУ, Россия, Ростовская область, г. Таганрог, пер. Некрасовский 44, корпус «Г», телефон: +7(919) 891-91-41, email: vitushinskii@sfedu.ru.

Vytushynskyi Dmitry Sergeevich, student of the ACS department, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «SOUTH FEDERAL UNIVERSITY», Russia, Rostov region, c. Taganrog, Nekrasovsky lane 44, housing «G», phone: +7(919) 891-91-41, email: vitushinskii@sfedu.ru.

УДК 62-573.2

Еремочкин Сергей Юрьевич, Дорохов Данил Валерьевич

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ ОДНОФАЗНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ТРЕХФАЗНЫМ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

Сельскохозяйственные предприятия в России для поддержания конкурентоспособности на мировом рынке нуждаются в модернизации. Одним из направлений развития является создание новых механизированных мобильных машин для различных отраслей хозяйства. В электроприводе большинства подобных машин используются трехфазные асинхронные короткозамкнутые электродвигатели. В то же время, существует проблема запуска трехфазных двигателей от однофазной сети электроснабжения. Данная проблема решается с помощью преобразователей векторно-алгоритмического типа, силовая

схема которых может быть выполнена на основе полупроводниковых элементов.

Электропривод, частотный преобразователь, трехфазный электродвигатель, сельское хозяйство.

Sergey Yurievich Eremochkin, Danil Valerievich Dorokhov

SEMICONDUCTOR SPEED CONTROL DEVICE FOR A THREE-PHASE SQUIRREL-CAGE INDUCTION MOTOR WITH A SINGLE-PHASE POWER

Agricultural enterprises in Russia need modernization to maintain their competitiveness in the world market. One of the directions of development is the creation of new mechanized mobile machines for various sectors of the economy. In the electric drive of most of these machines, three-phase asynchronous squirrel-cage motors are used. At the same time, there is a problem of starting three-phase motors from a single-phase power supply network. This problem is solved with the help of converters of vector-algorithmic type, the power circuit of which can be made on the basis of semiconductor elements.

Electric drive, frequency converter, three-phase electric motor, agriculture.

Введение

В настоящее время доля сельскохозяйственного производства в валовом продукте России в среднем составляет около 5%, что свидетельствует о важности дальнейшего развития отрасли. Общая площадь земли сельскохозяйственного назначения в стране составляет 197,7 млн. га [1]. Данный факт говорит о большом потенциале для дальнейшего развития. Наряду с этим техническая оснащенность предприятий сельского хозяйства России отстает от передовых стран.

Основная часть

Одним из путей увеличения производительности сельхозпредприятий является механизация и автоматизация производственных процессов. Разрабатываются новые мобильные установки, которые используются в различных областях сельского хозяйства. При этом, к электроприводу таких установок предъявляются повышенные требования:

– надежность и простота в эксплуатации;
– возможность регулирования скорости электродвигателя;

– устойчивость к условиям работы в запыленной местности, высоким перепадам температур, режимам непостоянной работы [2].

Как известно, электрический привод содержит в себе электродвигательное устройство, преобразователь электрической энергии, механическое передаточное устройство и рабочие органы машины. Большое влияние на характеристики электропривода оказывает выбор электродвигателя.

Наиболее полно требованиям к работе в условиях сельской местности отвечает трехфазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором. Данный тип двигателя получил наибольшее распространение [3-6].

Однако, трехфазные двигатели для работы требуют подключения к трехфазной сети электроснабжения. В то время как в сельской местности более 90% хозяйств имеют доступ только к однофазной сети [7].

Проблема подключения трехфазных электродвигателей к однофазной сети имеет несколько решений: включение в цепь электропривода фазосдвигающего конденсатора, либо использование частотных преобразователей. При этом, применение в электроприводе преобразователей частоты имеет ряд преимуществ:

– обеспечивается возможность регулирования скорости;

– снижаются габариты устройства в целом вследствие исключения бумажных конденсаторов большой емкости.

Таким образом, встает задача разработки простых и дешевых преобразователей частоты для электродвигателей малой и средней мощности. Данной проблемой занимаются сотрудники кафедры «Электротехника и автоматизированный электропривод» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова [8, 9]. Принципиальная схема одного из разработанных устройств представлена на рис. 1 [10].

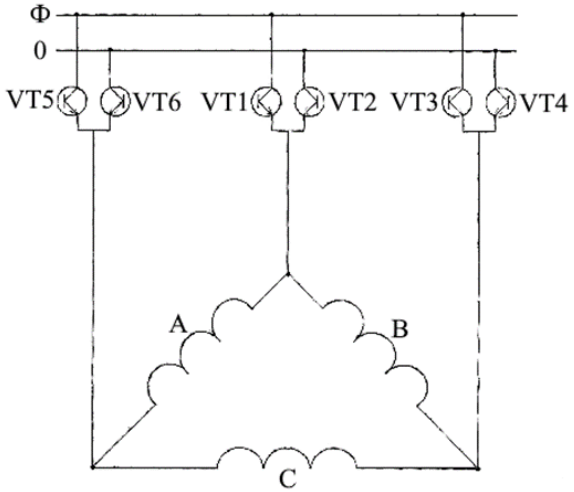


Рис. 1. Принципиальная схема частотного преобразователя

Разработанный частотный преобразователь может быть использован в электроприводе для запуска и работы трехфазного асинхронного электродвигателя от однофазной сети. При этом, статорные обмотки двигателя соединены по схеме «треугольник». Устройство содержит шесть полупроводниковых ключей, выполненных в виде транзисторов. Для регулирования скорости электродвигателя, а также реверса используется принцип векторно-алгоритмического управления. В результате открытия транзисторов в нужной последовательности питающее напряжение поочередно подается на обмотки статора, тем самым обеспечивается вращение вектора магнитодвижущей силы. На рис. 2 представлена векторная диаграмма поля статора.

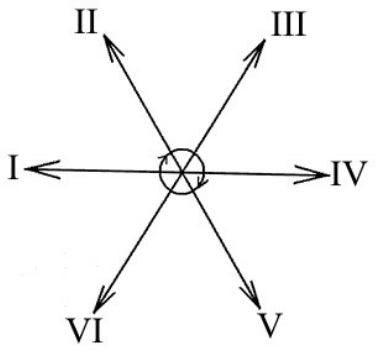


Рис. 2. Векторная диаграмма поля статора

На рис. 3 представлена осциллограмма изменения напряжения в обмотках статора двигателя при работе с частотным преобразователем в соответствии с векторной диаграммой. Так как обмотки соединены по схеме «треугольник», напряжение в каждой их них будет составлять то полную величину от фазного, то половину.

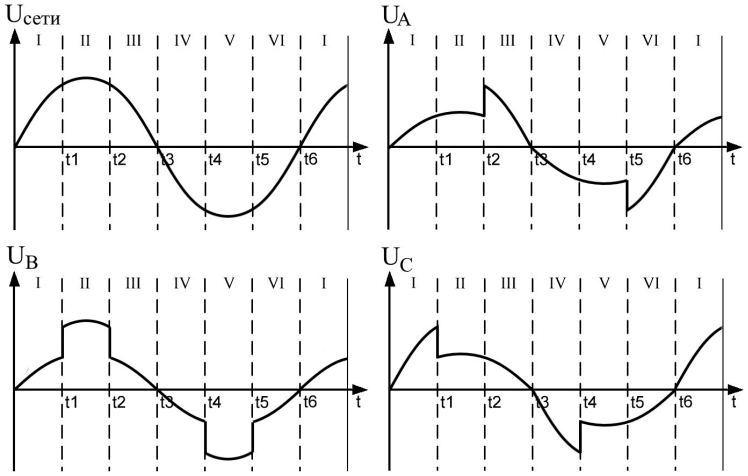


Рис. 3. Осциллограмма изменения напряжения в обмотках статора двигателя

Для исследования разработанного устройства было проведено компьютерное моделирование работы асинхронного электродвигателя с частотным преобразователем. При построении имитационной модели использовались параметры асинхронного электродвигателя марки «АИС56В4У3» с номинальным моментом 0,64 Нм. Результаты моделирования приведены на рис. 4.

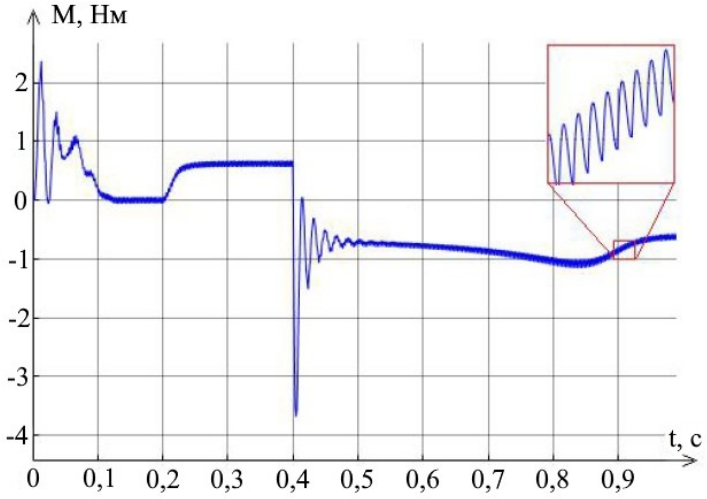


Рис. 4. Осциллограмма электромагнитного момента при работе с разработанным устройством

Из осциллограммы видно, что при пуске вращающий момент на валу электродвигателя колеблется от 0 Нм до 2,3 Нм и приходит в установившееся значение 0,64 Нм через 2,3 с. При реверсе вращающий момент принимает значение -0,64 Нм.

Выводы

Таким образом, можно сделать вывод о том, что разработан оригинальный частотный преобразователь для питания трехфазных асинхронных электродвигателей малой и средней мощности от однофазной сети. Разработанное устройство может быть использовано в электроприводе мобильных механизированных машин на предприятиях сельского хозяйства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2018 году. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. – 340 с.

2. *Еремочкин К.С., Еремочкин С.Ю.* Рациональное использование электрифицированных машин при однофазном электроснабжении // Энергетика глазами молодых. 2017. С. 53-56.
3. *Еремочкин С.Ю., Королёв Д.А., Титова А.А.* Регулирование частоты вращения трехфазного асинхронного короткозамкнутого двигателя векторно-алгоритмическим способом // Энергетика. Инновационные направления в энергетике. CALS-технологии в энергетике. 2015. №1. С. 154-159.
4. *Стальная М.И., Еремочкин С.Ю.* Моделирование электромеханических характеристик трехфазного электродвигателя с преобразователем, выполненным по схеме однофазная сеть - трехфазная сеть // Электротехника. 2016. №12. С. 60-63.
5. *Еремочкин, С.Ю., Королев Д.А.* Устройство регулирования скорости вращения ротора трехфазного асинхронного электродвигателя для пастеризационных установок // Наука и молодежь: мат. 15-й Междунар. науч.-техн. конф.; г. Барнаул, 25 апреля 2018. - С. 41-43.
6. *Титова А.А., Королев Д.А., Еремочкин С.Ю.* Моделирование характеристик работы электропривода с регулируемым транзисторным редуктором // Энергетика глазами молодых. 2017. С. 113-116.
7. *Еремочкин, С. Ю.* Повышение эффективности мобильных машин в апк на основе векторно-алгоритмического управления электродвигателем [Текст]: дис.....канд. техн. наук: 05.20.02 / С. Ю. Еремочкин. – Барнаул, 2014.
8. *Халина Т.М., Стальная М.И., Еремочкин С.Ю.* Исследование характеристик электропривода с преобразователем векторно-алгоритмического типа // Электротехника. 2018. №12 С. 48-52.
9. *Халина Т. М., Стальная М. И., Еремочкин С. Ю.* Система управления однофазно-трехфазным транзисторным реверсивным коммутатором, ведомым однофазной сетью // Известия горского государственного аграрного университета. 2012. Т. 49, №3 С. 300-304.
10. Пат. №2461118 (Российская Федерация). Однофазный частотный регулятор скорости, ведомый сетью, для трехфазного асинхронного короткозамкнутого электродвигателя / М.И. Стальная, С.Ю. Еремочкин, В.С. Солопов. № 2011113032/07; заявл. 05.04.2011; опубл. 10.09.2012, Бюл. №25.

Еремочкин Сергей Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры Электротехника и автоматизированный электропривод, Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, Россия, город Барна-

ул, проспект Ленина 46, 656038, телефон: +7 (3852) 29-08-64, email: S.Eremochkin@yandex.ru.

Дорохов Данил Валерьевич, студент кафедры Электротехника и автоматизированный электропривод, Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, Россия, город Барнаул, проспект Ленина 46, 656038, телефон: +7 (913) 268-50-41, email: danil.dorokhov.2000@mail.ru.

Eremochkin Sergey Yurievich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), associate Professor of the Department of Electrical engineering and automated electric drive of the Polzunov Altai State Technical University, 656038, Russia, Barnaul, 46 Lenin Avenue, phone: +7 (3852) 29-08-64, email: S.Eremochkin@yandex.ru.

Dorokhov Danil Valerievich, student of the Department of Electrical engineering and automated electric drive of the Polzunov Altai State Technical University, 656038, Russia, Barnaul, 46 Lenin Avenue, phone: +7 (913) 268-50-41, email: danil.dorokhov.2000@mail.ru.

УДК 62-573.2

Еремочкин Сергей Юрьевич, Дорохов Данил Валерьевич,
Жуков Алексей Андреевич

РЕВЕРСИВНОЕ УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ ТРЕХФАЗНЫМ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ДВИГАТЕЛЕМ ПРИ ПИТАНИИ ОТ ОДНОФАЗНОЙ СЕТИ

На сегодняшний день актуальной задачей является разработка новых устройств для запуска и управления трехфазными электродвигателями от однофазной сети с простой и надежной силовой схемой, небольшими габаритами и массой. Такими преимуществами обладают устройства, выполненные на основе полупроводниковых элементов. В статье рассматривается оригинальное реверсивное устройство управления трехфазным асинхронным электродвигателем при питании от однофазной сети электроснабжения. Приведена принципиальная электрическая схема и описан алгоритм работы устройства.

Электрический привод, векторное управление, трехфазный электродвигатель, тактовая диаграмма.

Eremochkin Sergey Yurievich, Dorokhov Danil Valerievich,
Zhukov Alexey Andreevich

REVERSING CONTROL DEVICE FOR THREE-PHASE INDUCTION MOTOR WHEN SUPPLIED FROM A SINGLE-PHASE MAINS

Today, an urgent task is the development of new devices for starting and controlling three-phase electric motors from a single-phase network with a simple and reliable power circuit, small dimensions and weight. Such advantages are possessed by devices based on semiconductor elements. The article discusses an original reversible control device for a three-phase asynchronous electric motor when powered from a single-phase power supply network. The schematic diagram is given and the algorithm of operation of the device is described.

Electric drive, vector control, three-phase electric motor, clock chart.

Введение

В настоящее время, актуальной задачей является разработка устройств для запуска и управления трехфазными электрическими двигателями малой и средней мощности при работе от однофазной питающей сети [1, 2]. Необходимость создания подобных устройств объясняется повсеместным использованием трехфазных асинхронных электродвигателей в домашних хозяйствах, где, как правило, отсутствует трехфазная сеть электроснабжения [3, 4]. При этом, основными требованиями, предъявляемыми к разрабатываемым устройствам, являются надежность, низкая стоимость и простота в эксплуатации [5, 6].

Основная часть

Основной проблемой при запуске трехфазных электродвигателей от однофазной питающей сети является создание вращающегося магнитного поля статора. Для решения данной задачи обычно применяется схема питания двигателя, включающая фазосдвигающие конденсаторы. Недостаток такой схемы заключается в большой массе и габаритах используемых бумажных конденсаторов.

С развитием полупроводниковых элементов стало возможным создание устройств управления электродвигателями с простой и надежной силовой схемой, обладающих небольшими габаритами и массой. Известно множество полупроводниковых схем, предназначенных для питания трехфазных асинхронных электродвигателей от однофазной сети [7-9]. Их не-

достатком является отсутствие возможности изменения направления вращения двигателя.

В связи с этим разработано оригинальное реверсивное устройство управления трехфазным асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором при питании от однофазной сети электроснабжения [10]. На рис. 1 представлена принципиальная электрическая схема разработанного устройства.

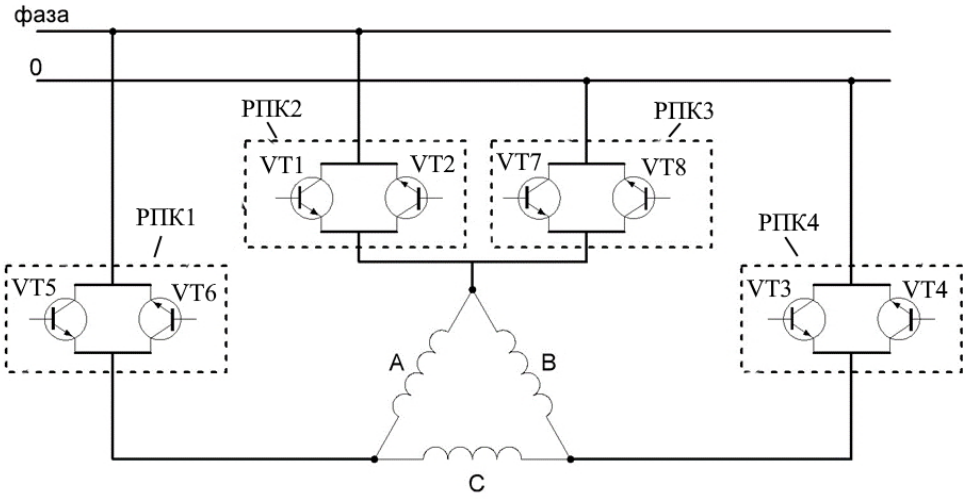


Рис. 1. Принципиальная схема реверсивного устройства управления двигателем VT1-VT8 – силовые транзисторы; A, B, C – первая, вторая и третья обмотки статора двигателя; Фаза – фаза питающей сети; 0 – ноль питающей сети; РПК1, РПК2, РПК3, РПК4 – реверсивные полупроводниковые коммутаторы

Устройство содержит 8 биполярных транзисторов n-p-n проводимости, которые попарно объединены в реверсивные полупроводниковые коммутаторы (РПК). При этом, транзисторы соединены встречно-параллельно, что обеспечивает протекание тока через РПК в обоих направлениях. РПК предназначены для питания статорных обмоток трехфазного электродвигателя, соединенных по схеме «треугольник».

Для создания вращающегося магнитного поля статора РПК открываются по определенному алгоритму в разные промежутки времени. Таким образом, обмотки статора питаются несимметрично, напряжение подается то на одну, то на другую обмотку, что обеспечивает поочередную смену векторов магнитодвижущей силы. Меняя последовательность питания обмоток статора, возможно обеспечить вращение двигателя в разных направлениях.

На рис. 2 приведена векторная диаграмма поля статора при направлении вращения двигателя по часовой стрелке.

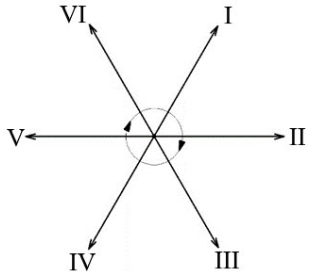


Рис. 2. Векторная диаграмма поля статора при направлении вращения двигателя по часовой стрелке

На рис.3 приведена тактовая диаграмма открытия транзисторов для обеспечения вращения двигателя в направлении по часовой стрелке.

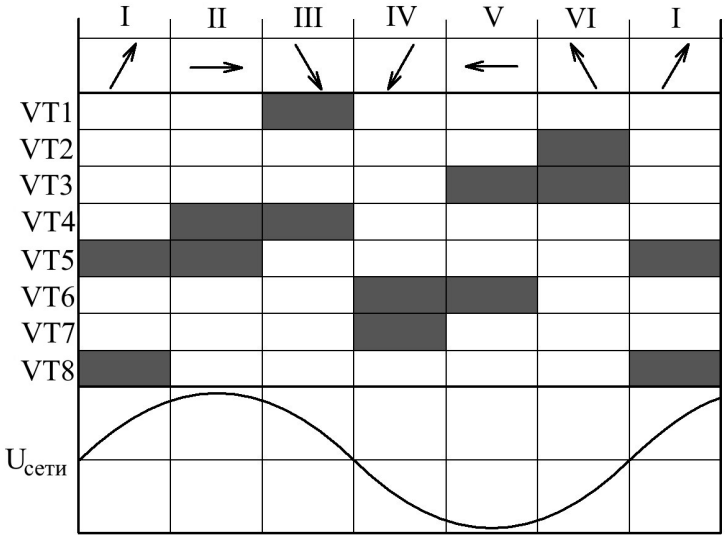


Рис. 3. Тактовая диаграмма открытия транзисторов для обеспечения вращения двигателя по часовой стрелке

Далее описан алгоритм открытия транзисторов для обеспечения вращения двигателя по часовой стрелке.

При положительной полуволне питающего напряжения сначала открываются пятый и восьмой транзисторы, через $\frac{1}{6}$ периода восьмой транзистор закрывается и открывается четвертый, затем через $\frac{1}{6}$ периода пятый транзистор закрывается и открывается первый. В конце положительной полуволны все транзисторы закрываются.

При отрицательной полуволне питающего напряжения сначала открываются шестой и седьмой транзисторы, через $\frac{1}{6}$ периода седьмой тран-

зистор закрывается и открывается третий, затем через $\frac{1}{6}$ периода шестой транзистор закрывается и открывается второй. В конце отрицательной полуволны все транзисторы также закрываются.

В начале следующего периода питающего напряжения при положительной полуволне последовательность открытия транзисторов повторяется. Таким образом обеспечивается вращение двигателя в направлении по часовой стрелке.

На рис. 4 приведена векторная диаграмма поля статора при направлении вращения двигателя против часовой стрелки.

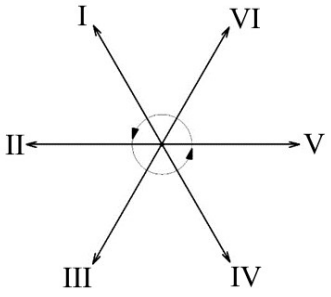


Рис. 4. Векторная диаграмма поля статора при направлении вращения двигателя против часовой стрелки

На рис. 5 приведена тактовая диаграмма открытия транзисторов для обеспечения вращения двигателя в направлении против часовой стрелки.

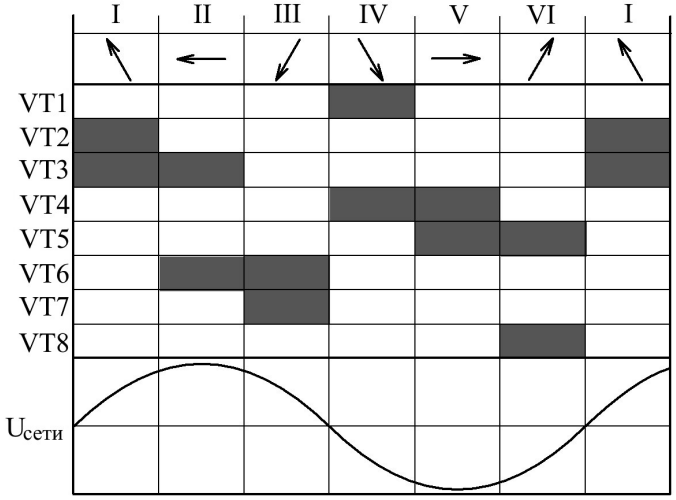


Рис. 5. Тактовая диаграмма открытия транзисторов для обеспечения вращения двигателя против часовой стрелки

Далее описан алгоритм открытия транзисторов для обеспечения вращения двигателя против часовой стрелки.

При положительной полуволне питающего напряжения сначала открываются второй и третий транзисторы, через $\frac{1}{6}$ периода второй транзистор закрывается и открывается шестой, затем через $\frac{1}{6}$ периода третий транзистор закрывается и открывается седьмой. В конце положительной полуволны все транзисторы закрываются.

При отрицательной полуволне питающего напряжения сначала открываются первый и четвертый транзисторы, через $\frac{1}{6}$ периода первый транзистор закрывается и открывается пятый, затем через $\frac{1}{6}$ периода четвертый транзистор закрывается и открывается восьмой. В конце отрицательной полуволны все транзисторы также закрываются.

В начале следующего периода питающего напряжения при положительной полуволне последовательность открытия транзисторов повторяется. Таким образом, обеспечивается вращение двигателя в направлении против часовой стрелки.

Выводы

В представленной статье рассмотрено оригинальное реверсивное устройство управления трехфазным асинхронным электродвигателем при работе от однофазной сети переменного тока. Детально разобран принцип работы устройства, алгоритм подачи управляющих сигналов на транзисторы силовой схемы. Приведены преимущества использования разработанного устройства по сравнению с другими полупроводниковыми схемами, предназначенными для питания трехфазных двигателей от однофазной сети.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Еремочкин К.С., Еремочкин С.Ю.* Рациональное использование электрифицированных машин при однофазном электроснабжении // Энергетика глазами молодых. 2017. С. 53-56.
2. *Еремочкин С.Ю., Королёв Д.А., Титова А.А.* Регулирование частоты вращения трехфазного асинхронного короткозамкнутого двигателя векторно-алгоритмическим способом // Энергетика. Инновационные направления в энергетике. CALS-технологии в энергетике. 2015. №1. С. 154-159.
3. *Еремочкин, С. Ю.* Повышение эффективности мобильных машин в апк на основе векторно-алгоритмического управления электродвигателем [Текст]: дис.....канд. техн. наук: 05.20.02 / С. Ю. Еремочкин. – Барнаул, 2014.

4. *Еремочкин, С.Ю., Королев Д.А.* Устройство регулирования скорости вращения ротора трехфазного асинхронного электродвигателя для пастеризационных установок // Наука и молодежь: мат. 15-й Междунар. науч.-техн. конф.; г. Барнаул, 25 апреля 2018. - С. 41-43.
5. *Халина Т.М., Стальная М.И., Еремочкин С.Ю.* Исследование характеристик электропривода с преобразователем векторно-алгоритмического типа // Электротехника. 2018. №12 С. 48-52.
6. *Халина Т. М., Стальная М. И., Еремочкин С. Ю.* Система управления однофазно-трехфазным транзисторным реверсивным коммутатором, ведомым однофазной сетью // Известия горского государственного аграрного университета. 2012. Т. 49, №3 С. 300-304.
7. Однофазнотрехфазный полупроводниковый коммутатор, ведомый однофазной сетью переменного тока: пат. 127549 Рос. Федерация / М.И. Стальная, С.Ю. Еремочкин, А.Л. Афанасьев. № 2012151165/07; заявл. 21.11.2012; опубл. 27.04.2013, Бюл. №12.
8. Полупроводниковый редуктор, ведомый однофазной сетью переменного тока: пат. 163695 Рос. Федерация / М.И. Стальная, С.Ю. Еремочкин, А.А. Титова, Д.А. Королев. № 2015154188/07; заявл. 16.12.2015; опубл. 10.08.2016.
9. Полупроводниковый коммутатор включения трехфазного асинхронного двигателя в однофазную сеть переменного тока: пат. 163695 Рос. Федерация / М.И. Стальная, С.Ю. Еремочкин, А.С. Кузнецов, Д.П. Вейкман. № 2013132225/07; заявл. 11.07.2013; опубл. 10.12.2013.
10. Реверсивное устройство коммутации запуска трехфазного асинхронного короткозамкнутого электродвигателя от однофазной сети: пат. 193358 Рос. Федерация / М.И. Стальная, С.Ю. Еремочкин, Д.В. Дорохов. № 2019123335; заявл. 19.07.2019; опубл. 28.10.2019, Бюл. №14.

Еремочкин Сергей Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры Электротехника и автоматизированный электропривод, Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, Россия, город Барнаул, проспект Ленина 46, 656038, телефон: +7 (3852) 29-08-64, email: S.Eremochkin@yandex.ru.

Дорохов Данил Валерьевич, студент кафедры Электротехника и автоматизированный электропривод, Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, Россия, город Барнаул, проспект Ленина 46, 656038, телефон: +7 (913) 268-50-41, email: danil.dorokhov.2000@mail.ru.

Жуков Алексей Андреевич, студент кафедры Электротехника и автоматизированный электропривод, Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, Россия, город Барнаул, проспект Ленина 46, 656038, телефон: +7 (929) 379-66-34, email: zh_astu@mail.ru.

Eremochkin Sergey Yurievich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), associate Professor of the Department of Electrical engineering and automated electric drive of the Polzunov Altai State Technical University, 656038, Russia, Barnaul, 46 Lenin Avenue, phone: +7 (3852) 29-08-64, email: S.Eremochkin@yandex.ru.

Dorokhov Danil Valerievich, student of the Department of Electrical engineering and automated electric drive of the Polzunov Altai State Technical University, 656038, Russia, Barnaul, 46 Lenin Avenue, phone: +7 (913) 268-50-41, email: danil.dorokhov.2000@mail.ru.

Zhukov Alexey Andreevich, student of the Department of Electrical engineering and automated electric drive of the Polzunov Altai State Technical University, 656038, Russia, Barnaul, 46 Lenin Avenue, phone: +7 (929) 379-66-34, email: zh_astu@mail.ru.

УДК 621.313.3.025.3-78

Ногин Иван Андреевич, Волощенко Юрий Петрович

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАБОТЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЛОКА ЗАЩИТЫ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Работа посвящена разработке алгоритма работы системы управления блока защиты асинхронного двигателя в сетях 0,4кВ от ненормальных режимов работы. В работе осуществлена разработка структурной, функциональной, принципиальной схем блока защиты, произведен выбор оборудования и датчиков на основе рассчитанных параметров устройства. Создан и описан алгоритм, а также написан код для работы программы управления.

Асинхронный двигатель, блок защиты, система управления, ненормальный режим работы, алгоритм управления, микроконтроллер, контактор.

Nogin Ivan Andreevich, Voloshchenko Yuri Petrovich

DEVELOPING THE OPERATION ALGORITHM FOR THE CONTROL SYSTEM OF THE ASYNCHRONOUS MOTOR PROTECTION UNIT

The work is devoted to the development of the operation algorithm of the control system of the asynchronous motor protection unit in 0.4 kV electrical networks from abnormal operating modes. The work includes the development of structural, functional and circuit diagrams of the protection unit, the selection of equipment and sensors, based on the calculated parameters of the device. The algorithm is created and described, and the code for the operation of the control program is provided.

Asynchronous motor, protection unit, control system, abnormal operation, control algorithm, microcontroller, contactor.

Введение

Асинхронные двигатели переменного тока используются в качестве исполнительных механизмов во многих промышленных процессах. Хотя асинхронные двигатели надежны, они подвергаются некоторым нежелательным электрическим воздействиям, вызывающим неисправности, приводящие к отказу. Постоянный мониторинг электрических параметров двигателя позволяет избежать неожиданного сбоя в производственном процессе [1].

Можно выделить несколько основных ненормальных режимов работы асинхронного двигателя:

– перенапряжение - ситуация, которая возникает, когда мощность системы поднимается более чем на 110% от номинальной, это может быть вызвано несколькими причинами, такими как внезапное снижение нагрузки, переключение, переходные нагрузки, удары молнии, выход из строя управляющего оборудования, такого как регуляторы напряжения, смещение нейтрали. Перенапряжение вызывает повреждение обмоток двигателя, подключенных к источнику питания, что может привести к нагреву, повреждению изоляции;

– пониженное напряжение: обычно пониженное напряжение возникает, когда напряжение питания привода слишком низкое. Очевидная причина связана с тем, что источник питания обладает малой мощностью или неисправен, в данной работе порог 70% от номинального;

– замыкание на землю – состояние, которое возникает, когда токопроводящий провод или токоведущая часть оказываются подключены напрямую к земле. В результате нагрузки остается без питания;

– перегрев – возникает, если оборудование перегружено выше его номинальной мощности и /или в случае короткого замыкания, такое как замыкание одной линии на землю, подключение линии на линию и т. д. Перегрев может привести к возгоранию обмоток оборудования и серьезно повредить электрическую систему.

Выход из строя одной из фаз, изолированной и расположенной локально, или отключение фазы от питающей сети. Одиночная фаза вызывает отрицательные составляющие последовательности фаз в напряжении. Отрицательная последовательность фаз вызывает нагрев двигателя и, следовательно, возможный отказ двигателя [2-3].

Основная часть

На рис. 1 приведена структурная схема блока защиты асинхронного двигателя от ненормальных режимов работы, которая учитывает все, описанные ранее нестабильные режимы, механизмы предотвращающие негативные последствия для двигателя, а также для оператора.

Работа данной схемы осуществляется следующим образом: подача питания на двигатель осуществляется через трехфазный контактор, использующийся для отключения двигателя от сети в случае каких-либо ненормальных режимов работы. Запуск двигателя может осуществляться как ручным методом оператором, так и автоматическим. До того, как ток сети запитает двигатель, различные датчики измерят показания тока, напряжения, температуры и т.д., и сигналы с них отправляться в микроконтроллер. Заложенный в микроконтроллере алгоритм, основываясь на показаниях с датчиков, позволяет определить режим работы, неисправности и принять соответствующие меры. Питание микроконтроллера, индикации и органов управления осуществляется отдельно, чтобы система оставалась автономной. Постоянный анализ данных с датчиков с использованием микропроцессора обеспечивает высокую точность и быстродействие. Наличие жидкокристаллического дисплея позволит оператору быть осведомленным о работе двигателя.

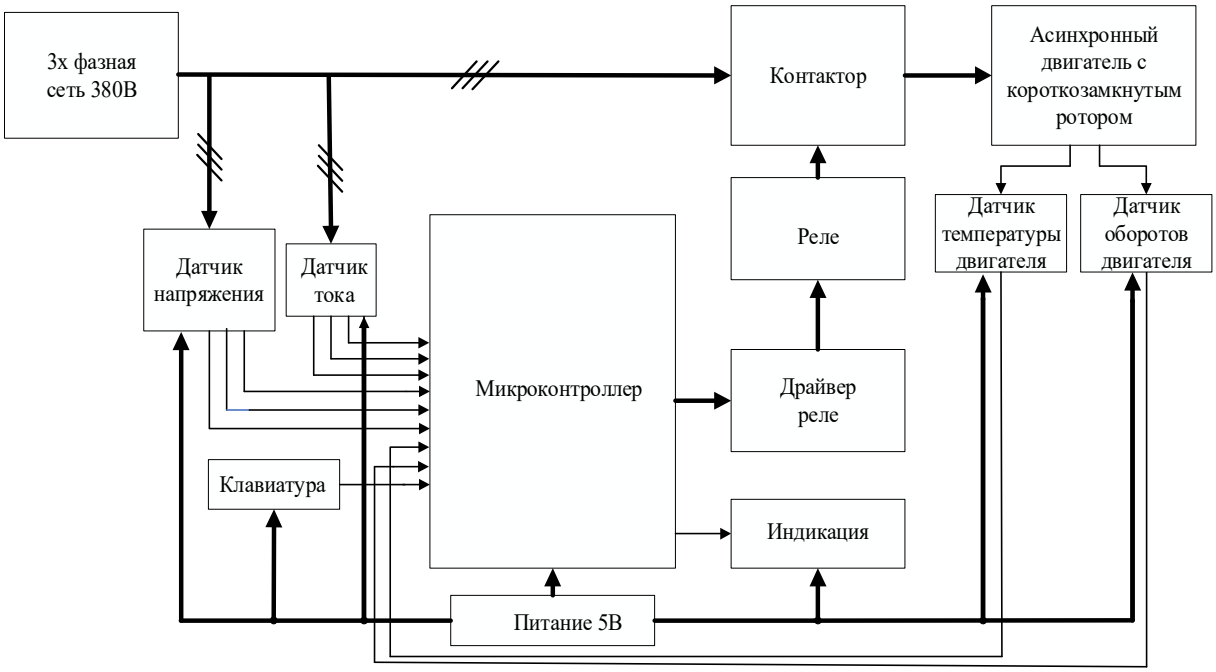


Рис. 1. Структурная схема блока защиты асинхронного двигателя от ненормальных режимов работы

Различные ненормальные режимы работы двигателя имеют свои особенности, условия, а также меры противодействия данному режиму[4-6].

Условием индикации “Перенапряжения” является наличие на фазе мощности в 1,1 раза превышающие номинальную в течении не более 5 минут с момента возникновения. После система ожидает решение от оператора еще в течение 5 минут, если ничего не предпринимается, то дальнейший сценарий “Перегрев”.

Режим “Перегрев” возникает, когда температура обмоток превышает допустимый для частей машины с изоляцией класса нагревостойкости А более 65°С, 80 °С – класса Е, 90 °С – класса В, 110°С – класса F и 135 °С – класса Н [8]. В расчет берутся самые нагретые точки. Если показания с датчиков близки или равны к предельно допустимым значениях, в этом случае возникает индикация “Перегрев” и система ожидает команд оператора, если же температура продолжает расти, то независимо от оператора происходит размыкание контактов. Дальнейший запуск возможен после охлаждения контактов до нормальной температуры, а также устранения неисправности [7].

В результате пониженного напряжения, а именно 70% от номинального, происходит размыкание контактов и оповещение оператора о том, что сработала данная защита, фиксируется это датчиками напряжение на каждой из фаз и появляется индикация “ЗМН”.

Короткое замыкание (далее, КЗ) – всякое случайное или преднамеренное, не предусмотренное нормальным режимом работы, электрическое соединение различных точек (фаз) электроустановки между собой или с землей, при котором токи в ветвях электроустановки, примыкающих к месту его возникновения, резко возрастают, превышая наибольший допустимый ток продолжительного режима. В данном случае сам контактор под воздействием огромных токов размыкает контакты без участия контроллера или оператора. После срабатывания защиты на мониторе можно увидеть “Ток КЗ”, это говорит о том, что сработала защита от КЗ и какого оно типа (однофазное, двухфазное, трехфазное, КЗ на землю и т.д.).

В качестве микроконтроллера для блока защиты асинхронного двигателя используется платформа Arduino Uno на базе Atmel ATmega328. Доступность, дешевизна, практичность при высокой стабильности, простых методах программирования делает этот микроконтроллер подходящим для разработки различных автоматизированных систем.

Ниже на рис. 2 представлен разработанный алгоритм работы блока защиты асинхронного двигателя. На основе разработанного алгоритма работы была написана программа управления блоком защиты асинхронного двигателя.

Выводы

В работе осуществлена разработка алгоритма работы системы управления блока защиты асинхронного двигателя в сетях 0,4кВ от ненормальных режимов работы. Для этого были решены следующие задачи: осуществлен анализ систем управления блоков защиты двигателей; выделены особенности ненормальных режимов работы асинхронного двигателя; предложена структурная и функциональная схемы блока защиты; на основе расчетов параметров схемы осуществлен выбор оборудования устройства и составлена электрическая принципиальная схема; на основе разработанного алгоритма работы написана программа управления блоком защиты асинхронного двигателя.

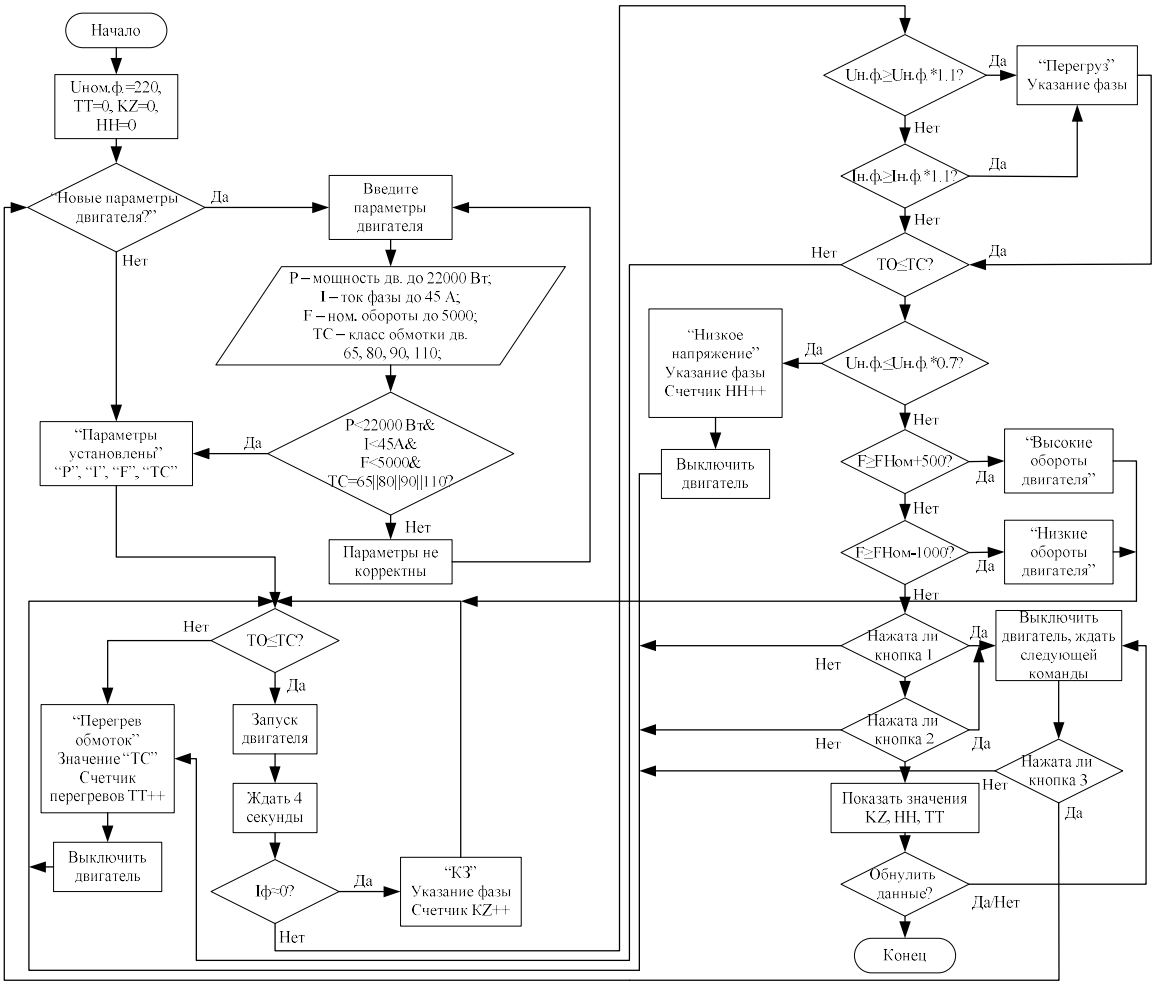


Рис. 2. Алгоритм работы блока защиты асинхронного двигателя

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Фёдоров А.А.* Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. – М.; Энергоиздат. 1981.
2. Правила устройства электроустановок. – М.; Энергоатомиздат. 1986.
3. *Беркович М.А.* Основы техники релейной защиты. – М.; Энергоатомиздат. 1984.
4. *Волощенко П.Ю., Волощенко Ю.П.* Моделирование нелинейных электрических процессов в элементах электронной волновой цепи: учебное пособие.– Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2018. – 116 с. https://elibrary.ru/item.asp?id=36762792
5. *Розанов Ю.К.* Электрические и электронные аппараты. – М.; Энергоатомиздат. 1998.
6. *Григорьев В.А.* Справочная книга электрика. –М. Издательство «Колос». 2004.

7. *Лившиц Д.С.* Нагрев проводников и защита предохранителями в электросетях до 1000 В. –М.; Энергия. 1967.

Волощенко Юрий Петрович, канд. техн. наук; доцент кафедры электротехники и мехатроники Южного федерального университета, город Таганрог, переулок Некрасовский 44; 347928, телефон: +78634371694; e-mail: voloschenkoyup@sfedu.ru

Ногин Иван Андреевич, студент гр. РТмо 2-39, кафедра электротехники и мехатроники, Южный федеральный университет, 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: +78634371694; e-mail: inogin@sfedu.ru

Voloshchenko Yuri Petrovich, Ph.D. in Technology, Associate Professor Department of Electrical Engineering and Mechatronics, Southern Federal University, 44, Nekrasovskiy street, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371694; e-mail: voloschenkoyup@sfedu.ru

Nogin Ivan Andreevich, student gr. RTmo 2-39, Department of Electrical Engineering and Mechatronics, Southern Federal University, 44, Nekrasovskiy street, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371694; e-mail: inogin@sfedu.ru

Секция – **СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

УДК 004.42+004.3
УДК 57.08+615.47+615.8

Проскуряков Александр Викторович

РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРОЦЕССА ОБУЧЕНИЯ ВЕРИФИКАЦИИ СОСТОЯНИЯ МЕДИЦИНСКИХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПОДСИСТЕМОЙ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ

В данной статье описана реализация методической поддержки процесса обучения различным способам верификации состояния фрагментов биологических объектов по компьютерно-томографическим изображениям подсистемой поддержки принятия решения для диагностики заболевания. Описан программно-аппаратный модуль, реализующий базовый и демонстрационные режимы работы, функционирующий с использованием основных способов и методов, лежащих в основе верификации по рентгеновским компьютерно-томографическим изображениям. Это позволяет реализовать методическую поддержку процесса обучения различным способам верификации состояния фрагментов биологических объектов по компьютерно-томографическим изображениям, более быстро сформировать навыки, повысить оперативность, точность верификации состояния медицинских биологических объектов, достоверность процесса диагностики заболеваний.

Биологический, верификация, безэталонный метод верификации, диагностика, информация, медицинский, метод, метод эталонный, программно-аппаратный модуль, статистика, рентгенография, томография, энтропия, эталон.

Proskuryakov Alexander Viktorovich

IMPLEMENTATION METHODS FOR VERIFYING THE STATE OF FRAGMENTS OF MEDICAL BIOLOGICAL OBJECTS BASED ON COMPUTER - TOMOGRAPHIC IMAGES BY THE DECISION-MAKING SUBSYSTEM FOR THE DIAGNOSIS OF DISEASES

This article describes the implementation of methodological support for the learning process of various ways to verify the state of fragments of biological objects

from computer-tomographic images by the decision support subsystem for the diagnosis of the disease. The paper describes a hardware and software module that implements basic and demonstration modes of operation, functioning using the main methods and methods underlying verification using x-ray computed tomography images. This makes it possible to implement methodological support for the learning process of various ways to verify the state of fragments of biological objects using computer-tomographic images, to develop skills more quickly, to increase the efficiency and accuracy of verification of the state of medical biological objects, and the reliability of the disease diagnosis process.

Biological, verification, non-Etalon verification method, diagnostics, information, medical, method, reference method, software and hardware module, statistics, radiography, tomography, entropy, standard.

Введение

В настоящее время на смену аналоговым медицинским изображениям приходят цифровые. Перевод в цифровую форму (с самого начала их получения или позже) облегчает обработку изображений, хранение и передачу медицинских визуальных данных. Эти возможности значительно расширились с появлением автоматизированных рабочих мест (АРМ) с большим объёмом памяти для хранения данных и достаточной вычислительной мощностью. Информационные технологии могут помочь на всех этапах получения и обработки медицинских изображений[1,3,5]. Компьютеры непосредственно принимают участие в создании некоторых типов изображений, которые не могут быть получены другим способом: компьютерная томография, позитронная эмиссионная томография (ПЭТ), МРТ.

На современном этапе развития фактически в медицине всё большее значение получают методы, способы, средства ранней диагностики заболеваний, что позволяет выявить заболевание на ранних стадиях и тем самым предотвратить или приступить к её лечению на ранних этапах развития. Таким образом, в современных условиях развития акцент делается на диагностические направления медицины, методы и способы ранней диагностики, а также медицинские автоматизированные диагностические информационные системы. Поэтому актуальность и инновационный характер темы, рассматриваемой в данном докладе очевидны, учитывая современное состояние развития медицинской диагностической техники и её доступность для населения. Современный этап развития научно-технической революции, напрямую связан с внедрением цифровых тех-

нологий в медицинскую технику и медико-технологические информационные системы (МТИС), к которым относятся медицинские автоматизированные информационные системы (МАИС) и медицинские автоматизированные диагностические информационные системы (МАДИС)[1,4,5].

Специалисты, решающие задачи диагностики отмечают, что в области ЛОР и других заболеваний, необходимо констатировать наличие в практике диагностики посредством верификации состояния фрагментов биологических объектов, на примере лобных и верхнечелюстных пазух, лёгочных заболеваний следующей технологической последовательной цепочки, которая включает: «рентгенологическое изображение» диагностируемого объекта – заключение рентгенолога – врача клинициста, заказавшего диагностическое исследование», результатом которой является принятие решения по хирургическому или медикаментозному воздействию на пациента[2]. Недостатком, как показывает опыт специалистов в области ЛОР – заболеваний, пульмонологических заболеваний и других[3], является:

1) недостаточная эффективность диагностики в соответствии вышеупомянутой технологической диагностической цепочкой, которая составляет порядка 70%;

2) недостаточно высокий уровень квалификации вследствие отсутствия опыта, врачей при диагностике тех или иных заболеваний.

Столь низкий уровень достоверности объясняется интуитивным качественным анализом рентгенографического изображения как рентгенологом, так и клиницистом. С целью максимального исключения ошибочных решений при диагностировании состояний лобных и верхнечелюстных пазух, заболеваний лёгких и бронхов пациентов предлагается автоматическое цифровое распознавание и идентификацию рентгенографических изображений в пленочном, электронном и компьютерно - томографическом представлении.

Постановка задачи. В докладе рассматривается подход решения задачи для наиболее быстрого и эффективного освоения процесса автоматизированного и автоматического цифрового распознавание и идентификацию рентгенографических изображений в пленочном, электронном и компьютерно - томографическом представлении предлагается программно-аппаратный модуль, позволяет реализовать методическую поддержку процесса обучения различным способам верификации состояния фрагментов биологических объектов по компьютерно-томографическим изображе-

ниям, более быстро сформировать навыки, повысить оперативность, точность верификации состояния медицинских биологических объектов, достоверность процесса диагностики заболеваний.

Реализация. Описание программно-аппаратного модуля для диагностики.

Данный программно-аппаратный модуль предназначен для обработки информации по рентгенографическим снимкам параназальных пазух с целью оказания помощи врачу отоларингологу в процессе диагностики состояния пациентов в области ЛОР заболеваний.

В основе работы данного комплекса при решении задач диагностики лежит эталонный метод (способ) диагностики. Данный метод заключается в сравнении эталона и исследуемого объекта на основании рентгенографического снимка пациента. В качестве эталона на рентгенографическом снимке принимается левая или правая глазница в зависимости от анализируемого объекта: левой или правой параназальных пазух. Для получения более полного представления о данном диагностическом модуле АРМ-врача необходимо, чтобы пользователи имели представление о его составе. Состав АРМ ЛОР-врача включает:

1) аппаратную часть, которая включает персональный компьютер (ноутбук, нетбук, переферийные устойства и т.д.);

2) программную часть, которая включает в свой состав программный модуль, позволяющий непосредственно обрабатывать информацию по диагностике заболеваний пациентов.

Для начала работы АРМ -врача необходимо включить всё оборудование, тем самым подготовить его для запуска программного диагностического модуля.

После запуска программы на экране появляется стартовое диалоговое окно - «Окно запуска». Диалоговое окно - «Окно запуска» показано на рис.1. В данном окне пользователю предоставляется возможность выбора режима для дальнейшего использования и функционирования программы.

1.Режим работы «Запуск программы».

Режим «Запуск программы» осуществляется путём инициализации с помощью манипулятора «мышь» кнопки «Запуск программы», переводит программное обеспечение (программу, приложение) в стандартный режим обработки рентгенографических снимков, где доступны:

1) обработка снимка;
2) может быть показана полная информация;

3) информация и анализ выделенных областей.

Все изменения и полученная статистика сохраняются в базе данных.

2.Режимработы «Демонстрационный режим».

Режим работы «Демонстрационный режим осуществляется путём инициализации с помощью манипулятора «мышь» кнопки «Демонстрационный режим», при этом запускается приложение с ограничением большинства возможностей, но которое позволяет провести пример базового анализа выбранного снимка без сохранения результатов.

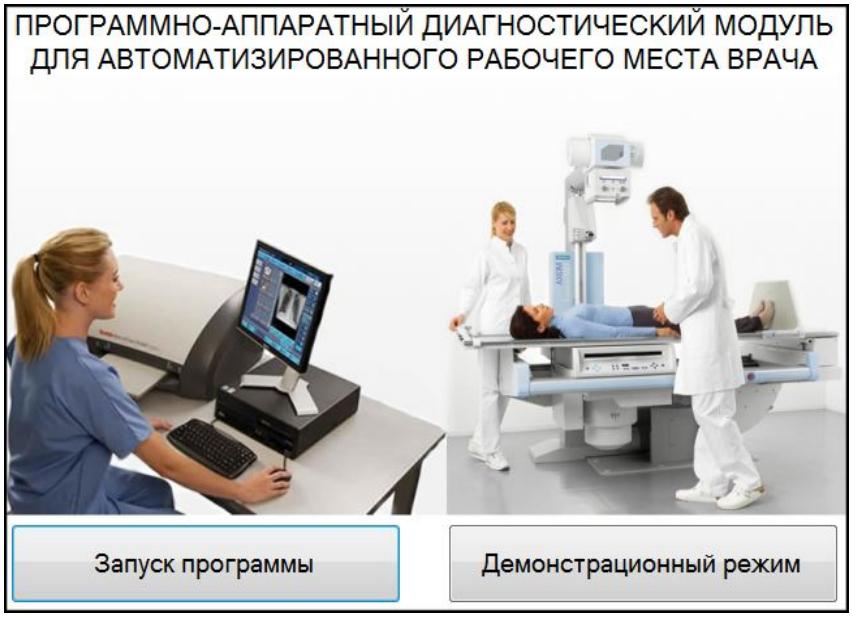


Рис.1

Описание работы программно-аппаратного модуля «Демонстрационный режим».

Для более лучшего понимания работы программного обеспечения комплекса приобретения навыков работы в составе комплекса предусмотрен «Демонстрационный режим». При запуске программы в демонстрационном режиме открывается окно «Демонстрационный режим» с ограниченными настройками. Окно экранной формы «Демонстрационный режим» с ограниченными настройками показано на рис.2.

Для начала работы программы требуется выбрать снимок. Это можно сделать используя готовые образцы, нажав на кнопку «Использовать образец», либо загрузить любой другой снимок кнопкой «Выбрать снимок».Окно экранной формы с готовыми образцами показано на рис. 3.

После выбора снимка требуется выделить сегмент на изображении в качестве эталона. После чего будут отображены графики с его характери-

стиками и сама область красным цветом. Окно выбор эталонного сегмента показано на рис.4. Для продолжения работы следует нажать на кнопку «Продолжить» для дальнейшей работы.

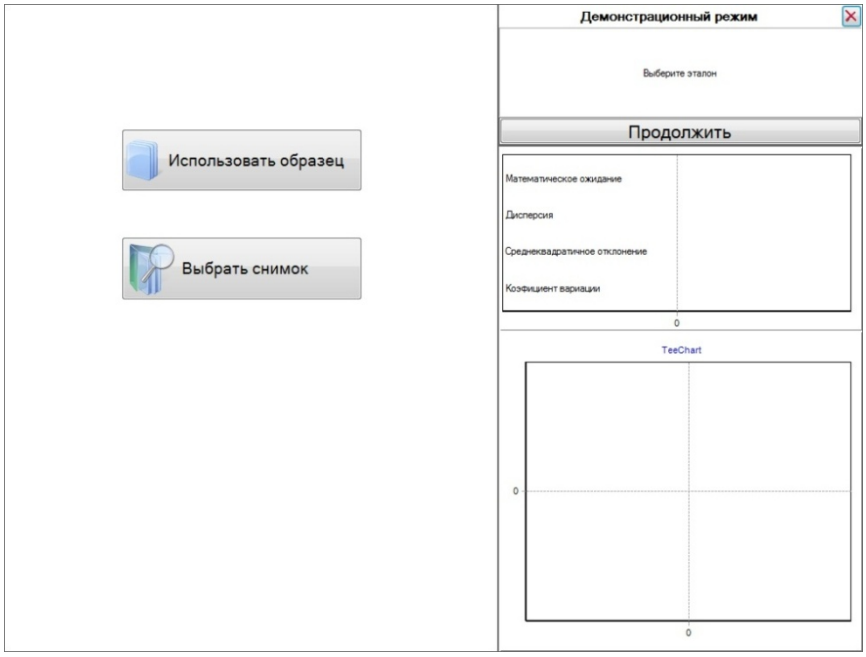


Рис. 2

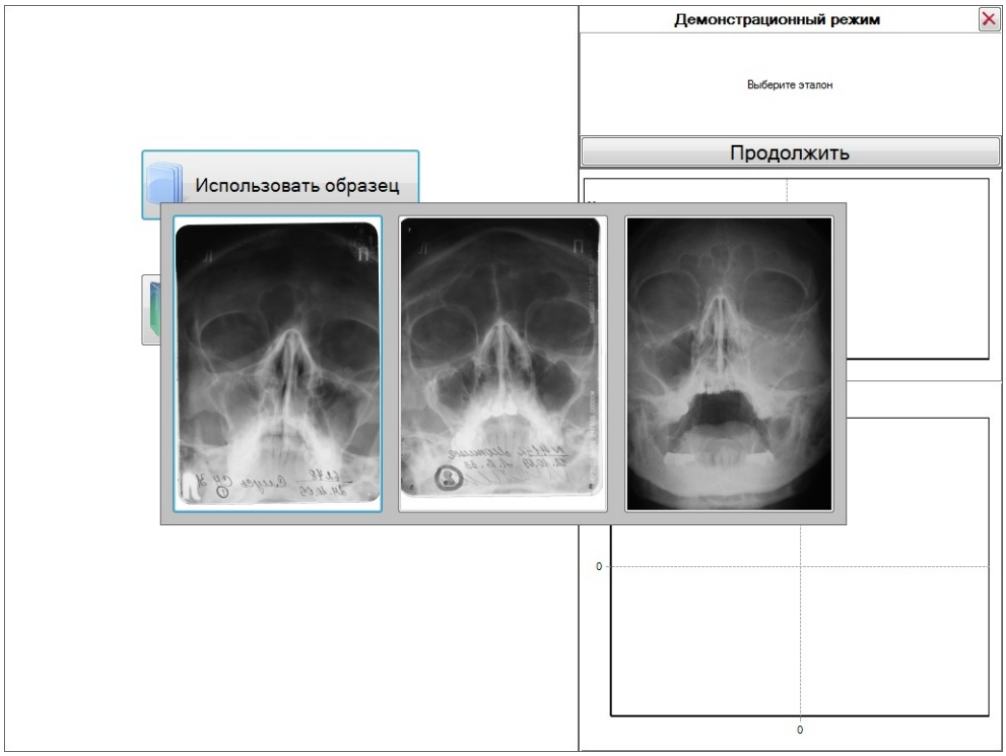


Рис.3

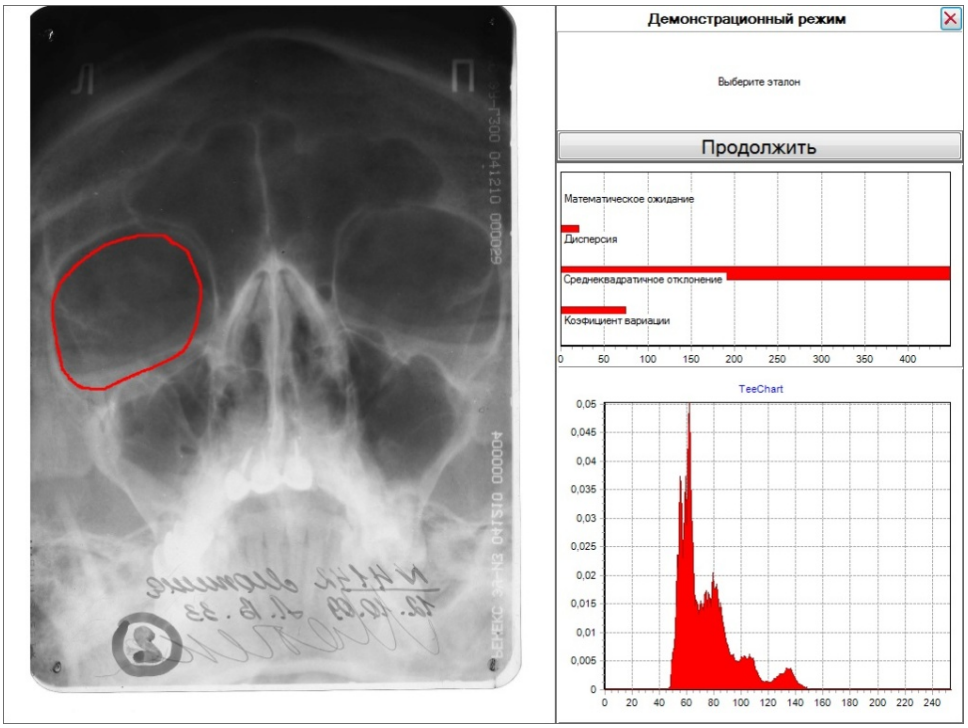


Рис.4

Далее следует выбрать сегмент для сравнения с эталоном, контур которого отобразится на снимке, и будут построены графики для визуального сравнения в виде результата работы демонстрационного режима.

Окно сравнения с эталоном сегмента показано на рис. 5 «Выбор объекта сравнения».

Область исследуемого объекта и его эталон представляем матрицами интенсивности яркостипикселей.

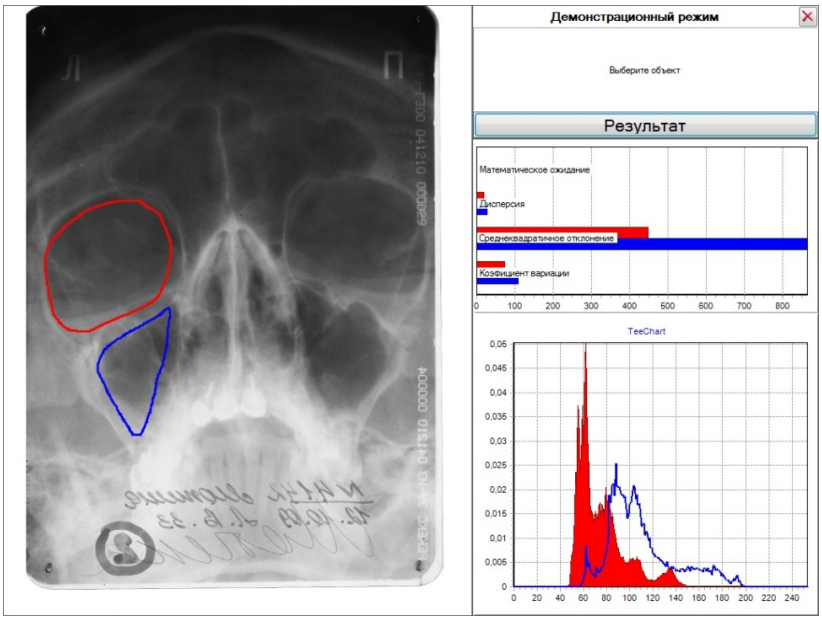


Рис.5

Научная новизна. Результаты. Научная новизна заключается в разработке методологии верификации состояния фрагментов биологических объектов по компьютерно-томографическим изображениям и использовании для этого статистических параметров (математическое ожидание, дисперсия, гистограмма, коэффициент вариации, автокорреляционная матрица, коэффициент корреляции) для количественной оценки состояний лобной или верхнечелюстной пазухи и их идентификации в соответствии с классом патологий при диагностике пациента в автоматизированном и автоматическом режиме по рентгенографическим (томографическим) изображениям. Это позволило получить следующие результаты:

1) разработано программное обеспечение программно-аппаратного модуля, реализующее алгоритм обработки рентгенографических изображений с использованием эталонного способа метода диагностики параназальных пазух при ЛОР - заболеваниях[2,6,7];

2) это позволило реализовать методическую поддержку процесса обучения различным способам верификации состояния фрагментов биологических объектов по компьютерно-томографическим изображениям, более быстро сформировать навыки, повысить оперативность, точность верификации состояния медицинских биологических объектов, достоверность процесса диагностики заболеваний,повысить качество обработки рентгенографических снимков и как следствие точность диагностики заболеваний[6,7,8,9,10,11];

3) разработанное программное обеспечение позволило повысить степень автоматизации процесса обработки рентгенографических снимков с элементами автоматической обработки, что позволяет формализовать процедуру постановки диагноза;

4) разработано программное обеспечение реализующее алгоритмы обработки статистических параметров (гистограмма, математическое ожидание, коэффициент вариации) для количественной оценки состояний лобной или верхнечелюстной пазухи и их идентификации в соответствии с классом патологий при диагностике пациента в автоматизированном и автоматическом режиме по рентгенографическим и томографическим изображениям[7,9,10];

5) разработано информационное обеспечение - структура базы данных в виде набора связанных таблиц для хранения базовой информации о пациентах и процессе диагностики и лечении[8,9];

6) информационное обеспечение реализовано с возможностью инвариантности хранимой информации и моделей методов (способов) диагностики с целью возможности адаптации для различных лечебных учреждений[9,10,11];

7) результаты работы прошли апробацию на восьми международных и семнадцати Всероссийских научно технических конференциях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Волков А.Г., Самойленко А.П., Проскуряков А.В.* Метод диагностики состояния параназальных пазух по их рентгенографическим изображениям. – X Международную научно-техническую конференцию «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» (ФРЭМЭ'2012) 2012, 63-67 с.
2. *Тарасов Н.В., Дубинин А.А., Голощапов И. В* Алгоритмы анализа медицинских рентгенографических и томографических снимков. Ростов-на-Дону, Издательство Южного Федерального Университета: Материалы III Всероссийской научно-технической конференции «Фундаментальные и прикладные аспекты компьютерных технологий и информационной безопасности»(ФПАКТИБ'2017) 2017, С.237-240
3. *Самойленко А.П., Проскуряков А.В.* Способы реализации метода диагностики состояния параназальных пазух по их рентгенографическим изображениям. – Сборник трудов XI Международной научно-технической конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» (ФРЭМЭ'2014) 2014, С.71-75.
4. *Проскуряков А.В., Самойленко А.П.* Подсистема математического и программного обеспечения поддержки принятия решений на базе способов диагностики заболеваний по рентгеновским снимкам «Медицинской автоматизированной диагностической информационной системы» Журнал «Промышленные АСУ и контроллеры». 2015. № 1 С.34-43 ISSN 1561-1531.
5. *Проскуряков А.В., Смеречинский Д.В.* Информационное обеспечение интегрированной автоматизированной системы обработки данных результатов обследования в медицинском учреждении " Журнал «Промышленные АСУ и контроллеры». 2015. № 2 С.30-39 ISSN 1561-1531
6. *Проскуряков А.В.* Реализация способов диагностики заболеваний в медицинской автоматизированной информационной системе поддержки приня-

тия решений. Владимир, Суздаль: Сборник трудов XII Международной научно-технической конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» (ФРЭМЭ'2016) 2016, С.303-307.

7. *Тарасов Н.В., Проскуряков А.В.* Реализация алгоритма информационно - энтропийного анализа медицинских рентгенографических и томографических снимков. Ростов-на-Дону, Издательство Южного Федерального Университета: Материалы IV Всероссийской научно-технической конференции «Фундаментальные и прикладные аспекты компьютерных технологий и информационной безопасности» (ФПАКТИБ'2018) 2018, С.461-465.
8. *Проскуряков А.В, Самойленко А.П.* Формирование статистического образа для распознавания состояния репаративного процесса костных тканей. Владимир, Суздаль: Сборник трудов XIII Международной научно-технической конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» (ФРЭМЭ'2018) 2018, С.205-209.
9. *Проскуряков А.В, Самойленко А.П.* Методология верификации состояния фрагментов биологических объектов по компьютерно-томографическим изображениям. Владимир, Суздаль: Сборник трудов XIII Международной научно-технической конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» (ФРЭМЭ'2018) 2018, С.209-212.
10. *Проскуряков А.В, Самойленко А.П.* Метод построения статистических портретов при реализации безэталонного способа обработки и анализа медицинских рентгенографических и томографических снимков. Ростов, Таганрог: Сборник материалов XVI Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Информационные технологии, системный анализ и управление» (ИТСАиУ-2018), С.207-213.
11. *Проскуряков А.В.* Медицинская автоматизированная информационная система поддержки принятия решения для диагностики заболеваний с использованием верификации состояния фрагментов медико-биологических объектов по компьютерно-томографическим изображениям // Информатизация и связь. -2020 г., N3, с.55-60.

Проскуряков Александр Викторович, старший преподаватель кафедры Математического обеспечения и применения ЭВМ, Южного федерального университета, Россия, г. Таганрог, улица Энгельса,1 347900, телефон: +7(8634) 37-16-73, email: avproskuryakov@sfedu.ru.

Proskuryakov Alexander Viktorovich., senior lecturer, Department of Mathematical support and computer application, southern Federal University, Russia, Taganrog, Engels street,1 347900, phone: +7(8634) 37-16-73, email: avproskuryakov@sfedu.ru.

УДК 004.42+004.3
УДК 57.08+615.47+615.8

Проскуряков Александр Викторович

РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОЛОГИИ ВЕРИФИКАЦИИ СОСТОЯНИЯ ФРАГМЕНТОВ МЕДИЦИНСКИХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПО КОМПЬЮТЕРНО- ТОМОГРАФИЧЕСКИМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ ПОДСИСТЕМОЙ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ

В данной статье описаны информационное и программное обеспечение реализации различных методов верификации состояния фрагментов биологических объектов по компьютерно-томографическим изображениям подсистемой поддержки принятия решения для диагностики заболеваний, описаны основные методы, лежащие в основе верификации по рентгеновским и компьютерно-томографическим изображениям. Это позволяет повысить оперативность, точность верификации состояния медицинских биологических объектов, достоверность процесса диагностики заболеваний.

Биологический, верификация, безэталонный метод верификации, диагностика, информация, медицинский, метод, метод эталонный, статистика, рентгенография, томография, энтропия, эталон.

Proskuryakov Alexander Viktorovich

IMPLEMENTING METHODS FOR VERIFYING THE STATE OF FRAGMENTS OF MEDICAL BIOLOGICAL OBJECTS BASED ON COMPUTER - TOMOGRAPHIC IMAGES BY THE DECISION-MAKING SUBSYSTEM FOR THE DIAGNOSIS OF DISEASES

This article describes the information and software implementation of various methods for verifying the state of fragments of biological objects using computed tomography images by the decision support subsystem for disease diagnosis, describes the main methods underlying verification using x-ray computed tomography images. This makes it possible to increase the efficiency and accuracy of verification of the

state of medical biological objects, as well as the reliability of the disease diagnosis process.

Biological, verification, non-Etalon verification method, diagnostics, information, medical, method, reference method, statistics, radiography, tomography, entropy, standard.

Введение. Современный этап развития медицины характеризуется развитием и внедрением новых методов, способов диагностики, позволяющих повысить своевременность, точность и достоверность диагностических мероприятий в различных областях и направлениях медицины. Учитывая современное состояние развития медицинской диагностической техники, оснащённость данной техникой медицинских учреждений страны и не оперативная её доступность для населения указывает на то, что актуальность, инновационный и прикладной характер темы, рассматриваемой в данном докладе очевидны. Это привело к появлению и активному развитию новых направлений в области лучевой диагностики, к которым относятся:

1) цифровая и пленочная рентгенография;
2) компьютерная томография[1];
3) магнитно-резонансная томография.

Современные томографы не оснащены программным и информационным обеспечением, позволяющим осуществлять поддержку принятия решения при диагностике заболевания, и тем самым не позволяют избежать ошибочных решений на конечном этапе постановки диагноза. Необходимо отметить отсутствие томографов в районных центрах, городах прямого областного и краевого подчинения, не имеющих финансовых ресурсов для приобретения дорогостоящей диагностической аппаратуры. Как правило компьютерные томографы находятся в диагностических центрах и употребляются в универсальных целях, то есть для отображения большого набора различных заболеваний, несмотря на это, вынесение решения по анализу состояния пациента зависит от медицинской энциклопедической эрудиции, обслуживающего рентгеновский аппарат или томограф рентгенолога. Следует отметить, что в области ЛОР и других заболеваний, необходимо констатировать наличие в практике диагностики посредством верификации состояния фрагментов биологических объектов, на примере лобных и верхнечелюстных пазух, лёгочных заболеваний следующей технологической последовательной цепочки, которая включает: «рентгеноло-

гическое изображение» диагностируемого объекта – заключение рентгенолога – врача клинициста, заказавшего диагностическое исследование», результатом которой является принятие решения по хирургическому или медикаментозному воздействию на пациента[2]. Недостатком, как показывает опыт специалистов в области ЛОР – заболеваний [3], является недостаточная эффективность диагностики в соответствии вышеупомянутой технологической диагностической цепочкой, которая составляет порядка 70%. Столь низкий уровень достоверности объясняется интуитивным качественным анализом рентгенографического изображения, как рентгенологом, так и клиницистом. С целью максимального исключения ошибочных решений при диагностировании состояний лобных и верхнечелюстных пазух пациентов предлагается автоматическое цифровое распознавание и идентификацию рентгенографических изображений в пленочном, электронном и компьютерно- -томографическом представлении.

Постановка задачи. В данной работе акцент сделан на анализ рентгенографических изображений.

В условиях жесткой конкуренции рентгенография **имеет ряд преимуществ** относительно своих аналогов:

1) широкая доступность метода и лёгкость в проведении исследований;

2) для большинства исследований не требуется специальной подготовки пациента;

3) относительно низкая стоимость исследования;

4) снимки могут быть использованы для консультации у другого специалиста или в другом учреждении.

Рентгенография также **имеет ряд недостатков**:

1) статичность изображения — сложность оценки функции органа;

2) наличие ионизирующего излучения, способного оказать вредное воздействие на организм пациента;

3) рентгеновские изображения отражают суммарную рентгеновскую тень анатомических структур, в отличие от послойных серий изображений, получаемых современными томографическими методами;

4) рентгеновские снимки могут иметь низкий уровень информативности за счет зашумленности и слабой интенсивности полученного изображения.

Важной задачей при анализе рентгенографических изображений медицинских биологических объектов является улучшение качества изображения.

С целью улучшения качества рентгеновских снимков и повышения их информативности была разработана программная система их коррекции и анализа включающая следующие функциональные возможности:

1) поворот, отражение и инвертирование изображения;
2) применение алгоритмов шумоподавления;
3) коррекция общей интенсивности изображения;
4) анализ областей методами матстатистики.

В статье рассматриваются следующие этапы реализации проекта разработки методологии верификации состояния фрагментов биологических объектов, как метода диагностики состояния параназальных пазух по их рентгенографическим и компьютерно-томографическим изображениям:

1) разработать цифровую модель представления исследуемого фрагмента (лобной и верхнечелюстной пазух) по его статическим отображениям(рентгенограмма, томограмма, диафанограмма);

2) разработать и адаптировать к признакам патологий объектов отоларингологической среды математическое и программное обеспечение для синтеза и анализа их адекватных моделей на основе статистической базы данных, сконструированной по имеющимся историям болезней пациентов городской клиники;

3) разработать методологию построения статистических портретов (образов) цифровых и пленочных изображений отоларингологических фрагментов с различными признаками заболеваний в соответствии с их возрастной классификацией - как основу автоматизированной экспертной системы поддержки принятия решения при вынесении советующего решения в процессе диагностике.

Реализация. Описание методов, используемых для диагностики

1.Метод сравнения с эталоном, основанный на математической статистике

Область исследуемого объекта и его эталон представляем матрицами интенсивности яркости пикселей.

В качестве эталона выбираем такой фрагмент снимка , на котором имеет место постоянное значение интенсивности яркости, в работе в качестве эталона было принято изображение глазницы. Таким образом, пред-

ставив лобную пазуху и глазницу в виде матриц X и Y, размерами $n \times n$, можно приступить к их математической обработке. Основные этапы алгоритма эталонного способа метода диагностики могут быть представлены следующим образом.

1.Первым этапом является вычисление нормированной гистограммы распределения уровней яркости фрагмента уровней яркости фрагмента $h_i(r_k)$ по формуле 1.

$$h_i(r_k) = \frac{n_k}{n_i}, \qquad (1)$$

где n_i – общее количество пикселей в исходном фрагменте изображения, n_k – число пикселей изображения, уровень которых равен r_k.

Следовательно, таким образом, в результате применения данного алгоритма, мы получим нормированные гистограммы исследуемого рентгеновского снимка. Сводный график гистограмм позволяет врачу сравнить распределение вероятностей интенсивностей яркости для каждого из фрагментов по отношению к другому и произвести диагностику на основе данной информации. Таким образом, гистограммная модель плотности распределения вероятностей яркости диагностически-информативных фрагментов рентгеновских изображений в носоподбородочной проекции позволяет:

– представить исследуемый фрагмент,

– оценить его яркостное распределение,

– сравнить с другими диагностически - информативными областями рентгенограммы и оценить состояние пациента.

Следующими этапами диагностики будет:

2.Второй этап. Сравнение между собой средних значений

$$M^*[Y] = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} Y_i = \overline{Y}_{\text{ср}} \quad \text{и} \quad M^*[X] = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i = \overline{X}_{\text{ср}}, \qquad (2)$$

3. Третий этап. Сравнение между собой дисперсий.

$$D^*[X] = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(X_i - \overline{X}_{\text{ср}}\right)^2 \quad \text{и} \quad D^*[Y] = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(Y_i - \overline{Y}_{\text{ср}}\right)^2. \qquad (3)$$

4.Четвёртый этап. Вычисление вариационного коэффициента для области пазухи путём отношения среднеквадратического отклонения к матожиданию.

Таким образом, оценку состояния лобной пазухи осуществим посредством отношений математических ожиданий объекта и эталона и с помощью вариационного коэффициента, определяемых отношением средне-

квадратичных отклонений к математическим ожиданиям соответственно для каждой гистограмм. Патология лобной пазухи будет иметь место, если отношение между математическими ожиданиями соответствующих гистограмм объекта и эталона будет превышать единицу, а коэффициент вариации лобной пазухи будет превышать соответствующий коэффициент эталона[1,2,3,4,5,6].

Недостатком эталонного способа при автоматической диагностике рентгенографического изображения является качество изображения такого выбранного фрагмента снимка, на котором имеет место постоянное значение интенсивности яркости. Данная погрешность может привести к существенному искажению качества результата обработки снимка и тем самым к неточному или неправильному диагнозу заболевания пациента, что может в некоторых случаях привести к неверному медикаментозному или хирургическому лечению.

2. Метод, основанный на вычислении расстояния между изображениями эталона и исследуемой области

Область исследуемого объекта и его эталон представляем матрицами интенсивности яркости пикселей. Проведя анализ матрицы яркости эталона, получаем среднее значение яркости пикселей. Формируем вспомогательную матрицу относительно небольшого размера, в зависимости от размера исследуемой области. Используем формулу 4 для вычисления расстояния между изображениями, которое представляет собой нормированные квадраты разностей интенсивности пикселей для каждого положения вспомогательной матрицы на исследуемой области.

$$R(x,y) = \frac{\sum_{x',y'}(T(x',y') - I(x+x',\ y+y'))^2}{\sqrt{\sum_{x',y'} T(x',y')^2 * \sum_{x',y'} I(x+x',\ y+y')^2}}\ , \qquad (4)$$

где T – вспомогательная матрица яркости пикселей, I – матрица яркости пикселей исследуемой области.

Позиция, где коэффициент корреляции достигает своего наибольшего значения, является позицией наихудшего соответствия. Область вокруг позиции наихудшего соответствия, рассматривается как область с патологией, если отношение между средним значением вспомогательной матрицы и средним значением области наихудшего соответствия не превышает 0.85.

3.Метод, основанный на вычислении оценки информативности эталона и исследуемой области

Информативность рентгеновского изображения оценивается объемом полезной диагностической информации, которую врач получает при изучении снимка. В конечном итоге, она характеризуется различимостью на снимках деталей исследуемого объекта.

Область исследуемого объекта и его эталон представляем матрицами интенсивности яркости пикселей. Определяем для исследуемой области и эталона, характеризующие их информационные индексы, используя формулу 3.

$$Q = \sum_{x=0}^{x_{max}} \sum_{y=0}^{y_{max}} \left(\frac{2|I_{x,y} - I_{x,y+1}|}{I_{x,y} + I_{x,y+1}} \geq c_{min}, 1.0 \right) \frac{1}{n} + \sum_{x=0}^{x_{max}} \sum_{y=0}^{y_{max}} \left(\frac{2|I_{x,y} - I_{x+1,y}|}{I_{x,y} + I_{x+1,y}} \geq c_{min}, 1.0 \right) \frac{1}{n}, \quad (5)$$

где x_{max} и y_{max} – число пикселей в строке и столбце соответственно, $I_{x,y}$ – яркость пикселя с координатами (x, y), c_{min} – минимально воспринимаемый контраст (0.03 для реальных медицинских рентгенограмм), n – общее количество, рассматриваемых пикселей [2,3,8,9,10].

4.Реализация. Информационно-энтропийный метод.

Он основан на методе исчисления новой (непредсказуемой) и избыточной (предсказуемой) информации Клода Шеннона. При таком анализе мы рассчитываем показатель энтропии целевой области, рассчитываем максимальный показатель энтропии (исходя из количества уровней изображения), и, сравнивая полученные два значения, делаем вывод анализа (по принципу – чем больше энтропия, тем хуже). Данный подход также позволяет получить релевантный результат при условии хорошей ограниченности исследуемого объекта (исследуемый объект должен включать всю исследуемую область, и не включать ничего кроме этого)[7,8,9].

При векторном описании изображения среднее количество информации в изображении равно энтропии источника:

$$H(f) = -\sum_{t=1}^{t} P(f_t) \log P(f_t) . \quad (6)$$

Данный подход предполагает реализацию следующего алгоритма:

1) исследуемое изображение рентгеновского снимка разбивается на отдельные участки – сегменты;

2) размеры участка могут варьироваться в зависимости от наличия априорной информации об искомом признаке патологии (размер исследу-

емого фрагмента лобной, носоподбородочной области, области грудной клетки и т.д.);

3) оцифровка фрагмента – участка заключается в его декомпозиции-анализе в виде размеров точки, с ранее заданной масштабной сеткой налагаемой на исследуемый снимок;

4) масштаб сетки формируется в процессе диагностики, то есть выполняется адаптация;

5) каждый фрагмент представляется в виде матрицы значений размером nxn денситометрического параметра: плотности яркости или черноты;

6) каждая матрица в соответствии со стандартным алгоритмом обработки отображается в виде гистограммы распределений частности денситометрии параметра с последующим определением основных числовых характеристик: среднее арифметическое, выборочная (исправленная дисперсия), СКО, коэффициент вариации для оценки гистограммы.

В результате каждая гистограмма является основой для оценки соответствующего сегмента снимка среднестатистической и максимальной энтропией в стандартных единицах измерения битах.

Научная новизна. Результаты. Научная новизна заключается в разработке методологии верификации состояния фрагментов биологических объектов по компьютерно-томографическим изображениям и использовании для этого статистических параметров (математическое ожидание, дисперсия, гистограмма, коэффициент вариации, автокорреляционная матрица, коэффициент корреляции) для количественной оценки состояний лобной или верхнечелюстной пазухи и их идентификации в соответствии с классом патологий при диагностике пациента в автоматическом режиме по рентгенографическим (томографическим) изображениям. Это позволило получить следующие результаты:

1) разработано программное обеспечение, реализующее алгоритм обработки рентгенографических изображений с использованием эталонного и безэталонного, информационно-энтропийным способов метода диагностики инвариантного к видам заболеваний (параназальных пазух при ЛОР – заболеваниях, бронхо-лёгочных заболеваний);

2) это позволило повысить качество обработки рентгенографических снимков и как следствие точность диагностики заболеваний;

3) разработанное программное обеспечение позволило повысить степень автоматизации процесса обработки рентгенографических сним-

ков с элементами автоматической обработки, что позволяет формализовать процедуру постановки диагноза;

4) разработано программное обеспечение реализующее алгоритмы обработки статистических параметров (гистограмма, математическое ожидание, коэффициент вариации) для количественной оценки состояний лобной или верхнечелюстной пазухи и их идентификации в соответствии с классом патологий при диагностике пациента в автоматическом режиме по рентгенографическим и томографическим изображениям[8,9,10];

5) разработано информационное обеспечение - структура базы данных в виде набора связанных таблиц для хранения базовой информации о пациентах и процессе диагностики и лечении[9,10];

6) информационное обеспечение реализовано с возможностью инвариантности хранимой информации и моделей методов (способов) диагностики с целью возможности адаптации для различных лечебных учреждений[10,11];

7) результаты работы прошли апробацию на восьми международных и семнадцати Всероссийских научно технических конференциях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Волков А.Г., Самойленко А.П., Проскуряков А.В.* Метод диагностики состояния параназальных пазух по их рентгенографическим изображениям. – X Международную научно-техническую конференцию «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» (ФРЭМЭ’2012) 2012, 63-67 с.
2. *Самойленко А.П., Проскуряков А.В.* Способы реализации метода диагностики состояния параназальных пазух по их рентгенографическим изображениям. – Сборник трудов XI Международной научно-технической конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» (ФРЭМЭ’2014) 2014, С.71-75.
3. *Проскуряков А.В., Самойленко А.П.* АРМ поддержки принятия решений при диагностике ЛОР-заболеваний медицинской интегрированной автоматизированной информационной диагностической системы.– Сборник трудов XI Международной научно-технической конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» (ФРЭМЭ’2014) 2014, С. 68-72.
4. *Проскуряков А.В., Самойленко А.П.* Подсистема математического и программного обеспечения поддержки принятия решений на базе способов диагностики заболеваний по рентгеновским снимкам «Медицинской автома-

тизированной диагностической информационной системы» Журнал «Промышленные АСУ и контроллеры». 2015. № 1 С.34-43 ISSN 1561-1531.

5. *Проскуряков А.В., Смеречинский Д.В.* Информационное обеспечение интегрированной автоматизированной системы обработки данных результатов обследования в медицинском учреждении " Журнал «Промышленные АСУ и контроллеры». 2015. № 2 С.30-39 ISSN 1561-1531
6. *Проскуряков А.В*. Реализация способов диагностики заболеваний в медицинской автоматизированной информационной системе поддержки принятия решений. Владимир, Суздаль: Сборник трудов XII Международной научно-технической конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» (ФРЭМЭ'2016) 2016, С.303-307.
7. *Тарасов Н.В., Проскуряков А.В.* Реализация алгоритма информационно - энтропийного анализа медицинских рентгенографических и томографических снимков. Ростов-на-Дону, Издательство Южного Федерального Университета: Материалы IV Всероссийской научно-технической конференции «Фундаментальные и прикладные аспекты компьютерных технологий и информационной безопасности» (ФПАКТИБ'2018) 2018, С.461-465.
8. *Проскуряков А.В, Самойленко А.П.* Формирование статистического образа для распознавания состояния репаративного процесса костных тканей. Владимир, Суздаль: Сборник трудов XIII Международной научно-технической конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» (ФРЭМЭ'2018) 2018, С.205-209.
9. *Проскуряков А.В, Самойленко А.П.* Методология верификации состояния фрагментов биологических объектов по компьютерно-томографическим изображениям. Владимир, Суздаль: Сборник трудов XIII Международной научно-технической конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» (ФРЭМЭ'2018) 2018, С.209-212.
10. *Проскуряков А.В, Самойленко А.П.* Метод построения статистических портретов при реализации безэталонного способа обработки и анализа медицинских рентгенографических и томографических снимков. Ростов, Таганрог: Сборник материалов XVI Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Информационные технологии, системный анализ и управление» (ИТСАиУ-2018), С.207-213.
11. *Проскуряков А.В.* Медицинская автоматизированная информационная система поддержки принятия решения для диагностики заболеваний с использованием верификации состояния фрагментов медико-биологических объек-

тов по компьютерно-томографическим изображениям // Информатизация и связь. -2020 г., N3, с.55-60.

Проскуряков Александр Викторович, старший преподаватель кафедры Математического обеспечения и применения ЭВМ, Южного федерального университета, Россия, г. Таганрог, улица Энгельса,1 347900, телефон: +7(8634) 37-16-73, email: avproskuryakov@sfedu.ru.

Proskuryakov Alexander V., senior lecturer, Department of Mathematical support and computer application, southern Federal University, Russia, Taganrog, Engels street,1 347900, phone: +7(8634) 37-16-73, email: avproskuryakov@sfedu.ru.

УДК 681.3.06

Панычев Андрей Иванович, Максимов Александр Викторович,
Панычев Сергей Андреевич, Тройченков Илья Николаевич,
Максимов Дмитрий Александрович

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ БОРТОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Приведена краткая классификация известных моделей оценки надежности программных средств. Выбрана комбинация хорошо адаптированных к многопроцессорным системам методов и выполнена модернизация модели оценки надежности программы. В развитие модели Джелинского-Моранды для прогноза количественных показателей надежности программного обеспечения предложено использование метода максимального правдоподобия. Предложенная модель основана на допущениях: поток отказов является простейшим и интенсивность отказов программы пропорциональна оставшимся в программе ошибкам.

Программное обеспечение, бортовое оборудование, надежность, модель.

Panychev Andrey Ivanovich, Maksimov Aleksandr Viktorovich,
Panychev Sergey Andreevich, Troichenkov Ilya Nikolaevich,
Maksimov Dmitry Aleksandrovich

EVALUATION OF ONBOARD COMPUTER SYSTEMS SOFTWARE RELIABILITY

A brief classification of well-known models for evaluating the software tools reliability is given. A combination of well-adapted methods for multiprocessor systems is

selected and the program reliability evaluation model is upgraded. AS a development of the Gelinsky-Moranda model, the use of the maximum likelihood method for predicting quantitative indicators of software reliability is proposed. The proposed model is based on assumptions: the flow of failure is the simplest, the failure rate of the program is proportional to the remaining errors in the program.

Software, onboard equipment, reliability, model.

Введение

Ввиду особой важности решаемых бортовыми вычислительными комплексами задач их программное обеспечение (ПО) должно быть максимально надежным. Данная проблема обсуждается во многих научных и прикладных работах, однако единого подхода к ее решению до настоящего времени не выработано [1-11].

В соответствии со стандартом, надежность ПО понимается как совокупность свойств, характеризующая способность ПО сохранять заданный уровень пригодности в заданных условиях в течение заданного интервала времени [12]. Этот параметр является свойством программы, заложенным при ее создании и количественно оцениваемым при ее функционировании вероятность безотказной работы (отсутствия ошибок), интенсивностью сбоев и отказов, устойчивостью к ошибкам и перезапускаемостью.

Можно выделить четыре группы принципов и соответствующих им методов обеспечения надежности ПО [13-15]:

- предупреждение ошибок – минимизация (как конечная цель – полное исключение) ошибок на этапе разработки ПО;
- обнаружение ошибок – способность ПО к самотестированию и выявлению внутренних ошибок;
- исправление ошибок – наличие у ПО функций по исправлению внутренних ошибок или их последствий;
- обеспечение устойчивости к ошибкам – способность ПО продолжать функционирование при наличии ошибок.

В [5-9] показатели надежности ПО рассматриваются как один из критериев, по которым контролируется и диагностируется работоспособность бортового оборудования. При этом методы количественной оценки надежности ПО разработаны значительно слабее, чем методы расчета надежности аппаратных средств, поскольку программные средства имеют ряд существенных отличий:

- ПО не подвержено физическому износу или структурной деградации;

- ограничение функционирования ПО является следствием дефектов, возникших в процессе его создания или модификации;

- количество и характер отказов ПО не зависят от времени, но зависят от способа применения и условий функционирования;

- надежное ПО не исключает наличия в нем ошибок – важно, чтобы ошибки в заданных условиях проявлялись приемлемо редко.

Анализ моделей надежности программного оборудования

Известные модели оценки надежности программного обеспечения [13-16] можно классифицировать следующим образом (табл. 1).

Таблица 1

Классификация моделей надежности программного обеспечения

Признак классификации	Виды моделей
Степень математической формализации	- аналитические, использующие некоторый хорошо развитый математический аппарат; - эмпирические, базирующиеся на анализе структурных особенностей ПО
Учет фактора времени	- динамические, учитывающие временной фактор появления отказов ПО, в них фиксируется время выполнения тестового прогона до очередного отказа; - статические, учитывающие зависимость количества ошибок только от числа тестовых прогонов ПО (по области ошибок) или только от характеристики входных данных (по области данных)
Закономерность проявления ошибок в программах	- модель с дискретно понижающейся частотой проявления ошибок; - модель с дискретным увеличением времени наработки на отказ; - экспоненциальная модель
Сложность проектирования модели надежности ПО	- вероятностные модели, основанные на предположении связи надежности ПО с функцией риска; - статистические модели, основанные на тестировании ПО в течение некоторого времени; - интуитивные модели для оценки числа ошибок в ПО
Направление оценки надежности ПО	- модели сложности, основанные на параметрах композиционного проектирования; - обобщенные модели, не учитывающие конкретные атрибуты программ

Сравнительная характеристика основных моделей оценки надежности программного обеспечения приведена в табл. 2.

Таблица 2

Основные модели оценки надежности программного обеспечения

Название модели	Классификация модели	Основные параметры модели	Основные допущения модели
Модель Шумана	аналитическая динамическая дискретная	частота обнаружения ошибок $p(t,\tau)=\exp\left(-C\left[\frac{E_0}{I}-\varepsilon(\tau)\right]t\right)$, E_0 – число ошибок в системе в начальный момент компоновки программы; I – общее число машинных команд; $\varepsilon(\tau)$ – отношение числа ошибок, устраненных за время отладки τ, к общему числу команд на машинном языке; C – мера доверия к модели	- целесообразность применения модели зависит от принятых допущений и условий; - в ходе корректировок новые ошибки не вносятся; - число машинных команд в программах постоянно; - интенсивность отказов пропорциональна числу ошибок, оставшихся в ПО после отладки за время τ
Модель Муса	аналитическая динамическая непрерывная	- коэффициент уменьшения числа ошибок (количество устраненных ошибок, приходящихся на один отказ): $B=\frac{N_0}{M_0}=\frac{n}{m}$, N_0 – первоначальное число ошибок в ПО; M_0 – общее число отказов ПО; n – число ошибок, выявленных при тестировании за время t; m – число отказов, при тестировании за время t; - средняя наработка на отказ (математическое ожидание временного интервала между двумя последовательными отказами): $T=\int_0^\infty tf(t)dt=\int_0^\infty R(t)dt$, $R(t)$ – функция надежности	- считается, что не всякая ошибка может вызвать отказ ПО, поэтому допускается появление более одной ошибки до очередного отказа ПО; - интенсивность отказов пропорциональна числу неустраненных ошибок; - скорость изменения числа устраненных ошибок (относительно суммарного времени функционирования ПО) пропорциональна интенсивности отказов; - если интенсивность отказов постоянна (длительность интервалов между последова-

			тельными отказами имеет экспоненциальное распределение), средняя наработка на отказ обратно пропорциональна интенсивности отказов
Модель Джелинского-Моранды	аналитическая динамическая непрерывная частный случай модели Шумана	- функция надежности: $$R(t) = \exp\left(-\int_0^t z(x)dx\right);$$ - функция риска (вероятность того, что ошибка появится на интервале от 0 до t): $$z(t) = K\left(N - \int_0^t p(\tau)d\tau\right),$$ $p(t)$ – частота обнаружения ошибок; K – неизвестная константа; N – неизвестное первоначальное число ошибок	- значения интервалов времени отладки между обнаружением двух ошибок имеют экспоненциальное распределение с частотой ошибок, пропорциональной числу невыявленных дефектов; - все ошибки одинаково серьезны; - ошибка исправляется немедленно, и число оставшихся ошибок уменьшается на единицу; - при всех исправлениях найденные ошибки устраняются, и новых ошибок не вносится; - программа не изменяется; - для всех программ функция риска подобна
Модель Миллса	аналитическая статическая по области ошибок	- первоначальное число ошибок в программе: $$N = \frac{s \cdot n}{V};$$ - мера доверия к модели: $$C = \begin{cases} 1, & n > k, \\ \dfrac{s}{s+k+1}, & n \le k, \end{cases}$$ s – число ошибок, внесенных в программу случайным обра-	- нельзя предсказать величину параметра C до тех пор, пока не будут обнаружены все внесенные ошибки; - внесенные ошибки должны быть «типичными» образцами ошибок, но какие

		зом; n – количество найденных собственных ошибок; V – количество найденных внесенных ошибок; k – число всех собственных ошибок	именно – неизвестно
Модель Коркорэна	аналитическая статическая по области ошибок	– частота обнаружения ошибок: $$p = \frac{1}{N}\left(N_0 + \sum_{i=1}^{K} y_i (N_i - 1)\right),$$ N – число испытаний; N_i – число ошибок i-го типа (i-го источника отказа); $y_i = 0$, если $N_i = 0$; $y_i = a_i$, если $N_i > 0$; a_i – вероятность устранения ошибки i-го типа; N_0 –число успешных исходов в серии из N; K – априори известное число типов ошибок	- рассмотрены изменяющиеся вероятности отказов для различных источников ошибок и соответственно различные вероятности их исправления; - не используется параметр время тестирования, учитывается только результат n испытаний; - слабо учитываются свойства программ
Модель Нельсона	аналитическая статическая по области данных	- вероятность безотказности выполнения n прогонов программы: $$R(n) = \prod_{j=1}^{N}\left(1 - Q_j\right);$$ - вероятность того, что j-й прогон закончится отказом: $$Q_j = \sum_{i=1}^{N} p_{ij} Y_i,$$ p_{ij} – вероятность выбора i-го набора входных данных при j-м прогоне из некоторой последовательности прогонов; $y_i = 0$, если прогон программы при i-м наборе вводимых данных успешный; $y_i = 1$, если возникает отказ; N – число возможных наборов входных данных	
Модель Шика-Волвертона	аналитическая динамическая дискретная, модификация	используется предположение, что частота ошибок пропорциональна не только количеству ошибок в программах,	вероятности обнаружения ошибок с течением времени возрастают

	модели Джелинского-Моранды	но также и времени отладки	
Модель Вейса	аналитическая динамическая дискретная	помимо предположения об экспоненциальном распределении интервала времени между отказами считается, что существует M причин возможных отказов в начале процесса разработки программного обеспечения	для получения вероятности обнаружения ошибок некоторых типов при тестировании она должка быть предварительно оценена на основании фактических данных

Модернизация модели оценки надежности программы

Актуальной является задача разработки эффективной прикладной модели оценки надежности и технологии тестирования надежности ПО бортовых вычислительных комплексов, в том числе в экстремальных условиях. Некоторые результаты представлены в [17, 18].

Разрабатываемая модель является модернизацией модели Джелинского-Моранды [16], в которой использованы следующие допущения:

- поток отказов программы является простейшим;
- интенсивность отказов программы пропорциональна оставшимся в программе ошибкам.

Согласно этим допущениям вероятность безотказной работы ПО на некотором интервале определится как функция времени

$$p(t_i) = \exp(\lambda_i t_i),$$

где $\lambda_i = C[N-(i-1)]$ – интенсивность отказов ПО; i – текущий интервал безотказной работы программы, $i = \overline{1, N}$; C – неизвестный коэффициент пропорциональности; N – первоначальное число ошибок в программе.

Предполагается, что известны начальные интервалы времени безотказной работы. С целью определения прогнозирующих оценок надежности в последующие интервалы времени использован метод максимального правдоподобия, логарифмическая функция которого имеет вид

$$L = \ln\left(\prod_{i=1}^{k-1} C(N-i+1)\exp\left(-C\left[N-i+1\right]t_i\right)\right). \quad (1)$$

На основе условий экстремумов функции (1) по обоим параметрам $\frac{\partial L}{\partial C} = 0$; $\frac{\partial L}{\partial N} = 0$ формируются нелинейные уравнения, из которых определяется коэффициент C. Затем из (1) формируется нелинейное уравнение,

которое может быть решено любым численным методом. Искомый коэффициент C позволяет оценить интенсивность отказа программного модуля на последующем отрезке времени.

Описанный алгоритм реализован в программном модуле прогностики надежности программных средств бортового оборудования, вырабатывающем прогнозируемые оценочные значения вероятности безотказной работы и интенсивности отказов ПО [19].

Обобщенные оценки показателей надежности вырабатываются по модели Холстеда, которая позволяет по априорной информации о ресурсоемкости программного средства прогнозировать потенциально возможное первоначальное количество ошибок. В интегральной модели реализован принцип максимума правдоподобия (1), позволяющий определять показатели надежности между сбоями и отказами. Входными данными для программного комплекса является числовой ряд интервалов безотказной работы программного средства. Рассчитанные показатели надежности отображаются в виде графических зависимостей вероятности безотказной работы и интенсивности отказов от времени функционирования программного продукта, а также в виде числовых значений прогнозируемых показателей.

Иллюстрация работы программного модуля представлена на рис. 1.

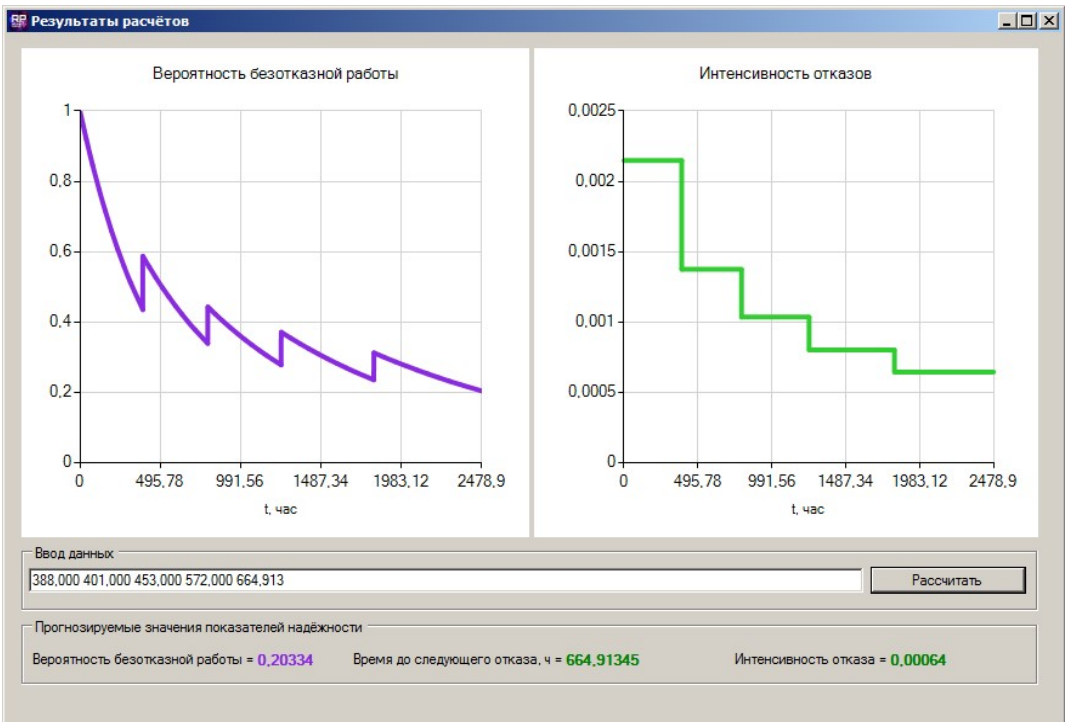


Рис. 1. Иллюстрация работы программного модуля прогностики надежности программных средств бортового вычислительного комплекса

Выводы

Таким образом, определение надежности программного обеспечения бортовых вычислительных комплексов должно выполняться в неразрывной связке теоретической оценки надежности ПО и технологии натурного тестирования надежности ПО, основанной на интегрировании в единый комплекс потока данных, программного сопровождения и технического обеспечения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Lesh F.* Software development aids in distributed microprocessor system // Proc. 1977 Jnt. Sump. MINI and MIKRO Comput. MINI77, Monthreal. P. 88-90.
2. *Домарев В.В.* Безопасность информационных технологий. Системный подход. – К.: ООО ТИД Диа Софт, 2004. – 992 с.
3. *George A. Smith*, Computer interfacing. B.A. (Hons), C. Eng. M.I.E.E. – Newnes. Oxford, Boston, 1999.
4. *Chow Y.-C., Kohler W.* Models for dynamic load balancing in a heterogenerous multiple processor system // IEEE Trans. Comput. – Vol. C-28. No. 5. P. 354-362.
5. *Самойленко А.П., Панычев С.А., Панычев А.И., Усенко О.А., Байбуз А.Г.* Синтез реконфигурируемых систем функционального контроля и диагностики бортового радиоэлектронного комплекса. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2020.
6. *Samoilenko A.P., Panychev A.I., Panychev S.A.* Statistical diagnostics of irreversible avionics as a controlled random process // 2016 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Proceedings. IEEE Catalog Number: CFP16794-CDR. Online ISSN: 2380-6516. C. 7491722.
7. *Samoilenko A.P., Panychev A.I., Panychev S.A.* Design principles of integrated criteria for the evaluation of effectiveness of control systems survivability avionics // Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2016). Yerevan, October, 14-17, 2016. pp. 252-255.
8. *Samoilenko A.P., Panychev A.I., Panychev S.A.* Architectural features of implementation of the failover onboard computer system for an aircraft without airfield basing // XI International Scientific Conference on amphibious and airfield free basing aviation. Abstracts. Gelendzhik. – 2016. Sept. 23-24. P. 81
9. *Samoylenko A.P., Panychev A.I., Maksimov A.V., Baibuz A.G.* Invariant approach in monitoring condition of onboard radio electronic equipment // 2018 Global

Smart Industry Conference (GloSIC), Chelyabinsk, Russia, 13-15 Nov. 2018. DOI: 10.1109/GloSIC.2018.8570133.
10. *Балыбердин В.А., Белевцев А.М., Степанов О.А.* Анализ основных процессов обеспечения надёжности программных средств АСУ специального назначения // Известия ЮФУ. Технические науки. 2015. № 3 (164). С. 62-70.
11. *Балыбердин В.А., Белевцев А.М., Степанов О.А.* О тестировании программных средств мобильных АСУ специального назначения // Известия ЮФУ. Технические науки. 2018. № 3 (197). С. 209-219.
12. ГОСТ 28806-90. Качество программных средств. Термины и определения.
13. *Липаев В.В.* Надежность программных средств. – М.: Синтег, 1998.
14. *Майерс Г.* Надежность программного обеспечения. – М.: Мир, 1980.
15. *Тейер Т., Липов М., Нельсон Э.* Надежность программного обеспечения. – М: Мир, 1981.
16. *Иыуду К.А.* Надежность, контроль и диагностика вычислительных машин и систем. – М.: Высшая школа, 1989.
17. *Жаднов В.В., Лазарев Д.В.* Качественные и надежностные показатели и характеристики программного обеспечения // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». 2005. Т. 1. С. 317-319.
18. *Балыбердин В.А.* О технологии тестирования надежности программных средств АСУ сложными системами в экстремальных условиях // Российский химический журнал. 2020. Т. 64. № 4. С. 74-77.
19. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017614009 Российская Федерация. Программный модуль прогностики надежности программных средств бортового оборудования / В.Ф. Гузик, А.П. Самойленко, С.А. Панычев; заявитель ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 5 апреля 2017 года.

Панычев Андрей Иванович, кандидат технических наук, доцент института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, Таганрог, пер. Некрасовский, 44, 347922, телефон: +7 (8634) 37-16-34, email: aipanychev@sfedu.ru.

Максимов Александр Викторович, кандидат технических наук, доцент института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, Таганрог, пер. Некрасовский, 44, 347922, телефон: +7 (8634) 37-16-34, email: avmaksimov@sfedu.ru.

Панычев Сергей Андреевич, кандидат технических наук, институт компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета, Россия, Таганрог, пер. Некрасовский, 44, 347922, телефон: +7 (8634) 37-17-37, email: panychev@sfedu.ru.

Тройченков Илья Николаевич, ведущий программист института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, Таганрог, пер. Некрасовский, 44, 347922, телефон: +7 (8634) 37-16-34, email: itroychenkov@sfedu.ru.

Максимов Дмитрий Александрович, студент института компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета, Россия, Таганрог, пер. Некрасовский, 44, 347922, email: dmaksimov@sfedu.ru.

Panychev Andrey Ivanovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), associate Professor of the Institute of Radio Engineering Systems and Control of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, per. Nekrasovsky 44, 347922, phone: +7 (8634) 37-16-34, email: aipanychev@sfedu.ru.

Maksimov Aleksandr Viktorovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), associate Professor of the Institute of Radio Engineering Systems and Control of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, per. Nekrasovsky 44, 347922, phone: +7 (8634) 37-16-34, email: avmaksimov@sfedu.ru.

Panychev Sergey Andreevich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Institute of Computer Technologies and Information Security of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, per. Nekrasovsky 44, 347922, phone: +7 (8634) 37-17-37, email: panychev@sfedu.ru.

Troichenkov Ilya Nikolaevich, lead programmer, Institute of Radio Engineering Systems and Control of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, per. Nekrasovsky 44, 347922, phone: +7 (8634) 37-16-34, email: itroychenkov@sfedu.ru.

Maksimov Dmitry Aleksandrovich, student of the Institute of Computer Technologies and Information Security of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, per. Nekrasovsky, 44, 347922, email: dmaksimov@sfedu.ru.

УДК 614.2:004.9

Крамм Михаил Николаевич, Бодин Андрей Юрьевич
Бодин Олег Николаевич

ПОСТРОЕНИЕ МЕДИЦИНСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МУЛЬТИАГЕНТНОХ ТЕХНОЛОГИЙ И ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Повсеместное развитие компьютерной техники и информационных технологий предоставляет все более широкие возможности для повышения эффективности диагностики функционального состояния организма (ФСО) путем внедрения методов цифровой обработки сигналов, компьютерного моделирования, вычислительной математики и визуализации. При этом появляется возможность предъявлять врачам в визуальном виде пространственно-временную информацию о ФСО.

Целью статьи является разработка структура медицинской информационной системы (МИС) медицинской организации на основе мультиагентной технологии. Агентно-ориентированный подход к построению МИС позволяет функционально распределить задачи, решаемые отдельными интеллектуальными агентами (ИА), и затем интегрировать полученные результаты. Важнейшим ИА в системе электрокардиологического скрининга является цифровой двойник (ЦД) сердца, осуществляющий по электрокардиосигналам (ЭКС) множественных отведений анализ и визуализацию электрической активности сердца (ЭАС); моделирование и контроль состояния ЭАС; интеллектуальное взаимодействие с другими ИА.

Разработанная система электрокардиологического скрининга в рамках МИС позволяет расширить функциональные и диагностические возможности неинвазивной электрокардиодиагностики при скрининговых обследованиях широких слоев населения.

Медицинская информационная система, мультиагентная система, цифровая обработка сигнала, электрокардиосигнал, цифровой двойник сердца, диагностические возможности, неинвазивная кардиология, схема лечения, мониторинг сигнала, внедрение технологий.

Kramm Mikhail Nikolaevich, Bodin Oleg Nikolaevich,
Bodin Andrey Yurievich

BUILDING MEDICAL INFORMATION SYSTEMS USING MULTI-AGENT TECHNOLOGIES AND CLOUD COMPUTING

The widespread development of computer technology and information technology provides more and more opportunities to improve the efficiency of diagnostics of the functional state of the body (FSO) by introducing methods of digital signal processing, computer modeling, computational mathematics and visualization. In this case, it becomes possible to show physicians in a visual form spatio-temporal information about the FSO.

The purpose of the article is to develop the structure of a medical information system (MIS) of a medical organization based on multi-agent technology.The agent-based approach to the construction of MIS allows you to functionally distribute the tasks solved by individual intelligent agents (IA), and then integrate the results obtained. The most important AI in the system of electrocardiological screening is the digital twin (DT) of the heart, which analyzes and visualizes the electrical activity of the heart using multiple-lead electrocardiosignals modeling and monitoring of the state of the EAS; intellectual interaction with other IA.

The developed system of electrocardiological screening within the framework of the MIS makes it possible to expand the functional and diagnostic capabilities of non-invasive electrocardiological diagnostics during screening examinations of the general population.

Medical information system, multi-agent system, digital signal processing, electrocardio signal, digital twin of the heart, diagnostic capabilities, non-invasive cardiology, treatment regimen, monitoring of the signal, technology implementation.

Введение

В медицинских информационных системах (МИС) важным элементом является ***выбор схемы лечения пациента***. В соответствии с [1] выбор схемы лечения осуществляется путем сравнения со схемами лечения ранее проведенных с высоким качеством комплексов лечения других пациентов с аналогичной степенью тяжести и наличием патологий". Индивидуальность состояния каждого пациента не позволяет со 100% гарантией выздоровления использовать то, что у другого пациента позволило достичь хорошего результата. Научными исследованиями доказано, что «усредненная неэффективность» лекарственных препаратов при различных заболеваниях

может достигать 75% [2]. Существенным элементом оптимизации лечебно-диагностической медицинской помощи является тесное информационное взаимодействие с базами данных (БД) и ведущими специалистами других медицинских организаций (МО). Такое взаимодействие позволяет реализовать следующие возможности:

– консультации ведущих специалистов-кардиологов с большим опытом работы, когда расстояние между МО является критическим фактором (телемедицина) [3];

– корректировка БД МО с учетом БД других МО для учета новых перспективных схемам лечения ранее проведенных с высоким качеством комплексов лечения других пациентов с аналогичной степенью тяжести и наличием патологий;

– корректировка БД других МО с учетом новой информации БД данного МО о проведении лечения;

– получение диагностической информации о пациенте в БД других МО, что является критически важным для определения схемы лечения [4].

Структура МИС медицинской организации на основе мультиагентной технологии

МАС представляет собой комплекс аппаратно-программных средств, включающий сервер МИС МО на котором расположены БД и система управления базами данных (СУБД), мультиагентную подсистему с выходом через локальную сеть МИС МО к автоматизированным рабочим местам (АРМ) пользователей и интернет-порталу МИС МО, а так же выход в ЕГИСЗ.

Агентно-ориентированный подход к построению информационно-измерительных и управляющих систем позволяет функционально распределить задачи, решаемые отдельными интеллектуальными агентами (ИА), и затем интегрировать полученные результаты. На рис.1 представлена разработанная структурная схема информационной системы электрокардиологического скрининга. Здесь центральное место занимает автоматизированное рабочее место (АРМ) врача-кардиолога, отвечающее за анализ кардиологической информации и принятие решений.

Рис. 1. Структурная схема информационной системы электрокардиологического скрининга

Центральным агентом верхнего уровня является агент выбора схемы лечения, который принимает решения о проведении лечения на основании информации от блоков, представленных на рис.1.

Важнейшим агентом исполнительного уровня в АРМ врача-кардиолога является цифровой двойник (ЦД) сердца, который получает текущую электрокардиологическую информацию об обследуемом в виде записей ЭКС множественных отведений от блока регистрации ЭКС (рис.2).

Рис. 2. Структурная схема ЦД сердца

ЦД сердца включает в себя:

-блок разработанных моделей ЭЭГС ПТ, ЭЭГС ДТ на основе моделей поверхностей торса и эпикарда, предоставляющий выбор моделей и параметров ЭЭГС [5];

-блок формирования результатов реконструкции индивидуальных ЭЭГС, обследуемого на основании ЭКС множественных отведений и предоставляемых моделей [6];

-блок визуализации динамических карт электрической активности сердца на основании полученных индивидуальных ЭЭГС обследуемого [7];

-блок основных параметров ССС, включая основные параметры сердечного ритма (СР), параметры вариабельности СР, параметры гемодинамики, параметры ЭКГ ВР и др [7].

Цифровой двойник – это цифровая имитационная модель, основанная на технологиях искусственного интеллекта и машинного обучения. Кроме того, ЦД непрерывно обучается и обновляет свои параметры, получая информацию от устройств измерения текущих параметров реального объекта и внешней среды (при необходимости). Естественно, ЦД перспективны в медицине для имитации жизнедеятельности всего человека или его отдельных органов [8].

Внедрение технологии ЦД в область медицины может решить множество современных проблем, при этом осуществляя переход к медицине превентивной, профилактической и индивидуализированной.

Аппаратная часть проектируемого комплекса будет представлена небольшим мобильным устройством, включающим в себя медицинские датчики. Они предназначены для постоянного мониторинга таких важных показателей, как частота дыхания, артериальное давление, характеристики сердечной деятельности (кардиограмма), температура тела и так далее. Полученные данные оперативно поступят по сети на специальный сервер, где помимо этих показателей должна будет храниться полная история врачебных наблюдений пациента. Далее после обработки информации нейросетевым агентом (личной нейросетью) будет сформирован прогноз состояния пациента.

При создании ЦД человека или отдельных его органов могут быть использованы наработки проектирования ЦД технических объектов [9].

Традиционно для создания цифровых моделей физических объектов применяют методы математической физики [10]. Эти методы используются при анализе прочности конструкций, в теплопередаче, в гидродинамике, в электроэнергетике и др. Задача моделирования физического объекта представляется в виде набора краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений и (или) дифференциальных уравнений в частных производных, например, для уравнений Эйлера – Лагранжа, Навье – Стокса. Основные подходы к решению таких задач – это сеточные методы - методы конечных элементов и методы граничных элементов.

Новые методы обработки и наглядного представления результатов анализа кардиографической информации, следует признать перспективными для повышения возможностей функциональной диагностики.

Выводы

1. Проведен анализ функционирования и предложены способы описания структуры для функциональной модели интелелктуального агента (ИА).
2. Предложены модели информацонного взаимодействия в медицинских информационных системах (МИС).
3. Проведен анализ и предложена функциональная модель мультиагентной системы (МАС) в составе МИС, основанная на обработке информационных составляющих при решении задач ИА в МАС с использованием теоретико0множесмтвенных соотношений.
4. Предложена структура медицинской информационной системы медицинской организации на основе мультиагентной технологии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Амосов А.А., Дубинский Ю.А., Копченова Н.В.* Вычислительные методы для инженеров: Учеб.пособие. – М.: Высш. шк., 1994. – 544 с.
2. *Аронов Д.М., Лупанов В.П.* Функциональные пробы в кардиологии. –М. : МЕДпресс-информ, 2007. – 328 с.
3. *Владзимирский, А. В.* Телемедицина: моногр. / А. В. Владзимирский, Г. С. Лебедев. – Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2018. – 576 с.
4. Автоматизация процессов, цифровые и инорфмационные технологии в управлении и клинической практике лечебного учреждения : научные труды / Под ред. О.Э. Карпова – М.: Деловой эксперсс, 2016. – 388 с.

5. *Баум О.В., Волошин В.И., Попов Л.А.* Реализация биофизических моделей электрической активности сердца// Биофизика, т.54, 1, с.97-113,2009
6. *Баскаков С.И.* Радиотехнические цепи и сигналы.– М.: Высшая школа, 2016. – 528с
7. Крамм М.Н. Оценка эффективности расстановки электродов при измерении координат дипольных источников миокарда / Крамм М.Н., Жихарева Г.В., Лебедев В.В. // Медицинская техника, №1, 2006. М.: Медицина. – 48 с. С. 5-8
8. *Крамм М.Н.* Реконструкция зон малых нарушений электрической активности миокарда с помощью многоэлектродной системы ЭКГ-отведений /Жихарева Г.В., Крамм М.Н. ,Лебедев В.В.//V Международный симпозиум "Электроника в медицине. Мониторинг, диагностика, терапия". Тезисы. Вестник аритмологии. Приложение А. 2006. – 240 с. С. 18.
9. *Крамм М.Н.* Реконструкция эквивалентного поверхностного источника биоэлектрической активности сердца /Жихарева Г.В.,Крамм М.Н. // Материалы XII Международного симпозиума «Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред». Тезисы докладов. – М.: Изд-во МАИ, 2006. – 338 с. С. 150-151.
10. *Крамм М.Н.* Система электродных отведений для измерения координат источников в области миокарда/Лебедев В.В., Крамм М.Н., Жихарева Г.В., Иванов Г.Г., Попов Ю.Б.// Медицинская техника, № 4, 2006. М.: Медици-на. – С. 7-9.

Крамм Михаил Николаевич, кандидат технических наук, профессор, доцент кафедры Основ радиотехники Национального исследовательского университета «МЭИ», Россия, город Москва, улица Краснознаменская 14, 111250, телефон: +7 (916) 193-04-27, email: krammmn@mail.ru.

Бодин Олег Николаевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Информационно – измерительной техники Пензенского государственного университета, Россия, Пенза, улица Красная 40, 440026, телефон: +7 (963) 098-04-53, email: bodin_o@inbox.ru.

Бодин Андрей Юрьевич, аспирант кафедры Основ радиотехники Национального исследовательского университета «МЭИ», Россия, город Москва, улица Краснознаменская 14, 111250, телефон: +7 (968) 846-33-62, email: bodin98@mail.ru.

Kramm Mikhail Nikolaevich, Candidate of Technical Sciences, Professor, Associate Professor of the Department of Fundamentals of Radio Engineering, National Re-

search University "MPEI", Russia, Moscow, Krasnoznamenskaya street 14, 111250, phone: +7 (916) 193-04-27, email: krammmn@mail.ru.

Bodin Oleg Nikolaevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Information and Measuring Technology, Penza State University, Russia, Penza, Krasnaya street 40, 440026, phone: +7 (963) 098-04-53, email: bodin_o@inbox.ru.

Bodin Andrey Yurievich, postgraduate student of the Department of Fundamentals of Radio Engineering, National Research University "MPEI", Russia, Moscow, Krasnoznamenskaya street 14, 111250, phone: +7 (968) 846-33-62, email: bodin98@mail.ru.

Секция – **ПРОМЫШЛЕННЫЙ ДИЗАЙН И АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

УДК 004.921

Ятченко Яна Владимировна, Аббасов Ифтихар Балакишиевич

ФИРМЕННЫЙ СТИЛЬ СТУДЕНЧЕСКОГО КЛУБА «ОМЕГА»

Данная работа посвящена разработка фирменного стиля студенческого клуба «Омега». Проведен сравнительный анализ рынка, предложена новая концепция фирменного стиля: разработан логотип, рекламная, сувенирная продукция, оригинальные авторские тематические изображения для оформления фирменных носителей, также варианты наружной рекламы.

Фирменный стиль, студенческий клуб, логотип, фирменные носители, деловая документация, сувенирная продукция, наружная реклама.

Yana V. Yatchenko, Iftikhar B. Abbasov

CORPORATE IDENTITY OF STUDENT CLUB "OMEGA"

This paper is devoted to the development of the corporate identity of the student club "Omega". A comparative analysis of the market was carried out, a new concept of corporate identity was proposed: a logo, advertising, souvenir products, original author's thematic images for the design of corporate media, as well as options for outdoor advertising were developed.

Corporate identity, student club, logo, corporate media, business documentation, souvenirs, outdoor advertising.

Введение

С помощью фирменного стиля можно создать графический образ компании лаконично, целостно, без применения существующих шаблонов и стереотипов. При этом основная задача состоит в разработке изобразительного ряда, который может помочь воспринять фирму-заказчика и ее назначение в нужном контексте, за счет соответствующей работы дизайнера [1].

Перечень поставленных задач

Для этого необходимо выполнить следующие задачи: изучение направления деятельности фирмы, обзор и анализ фирм конкурентов, подбор материалов и средств для разработки фирменного стиля компании, создание графического образа, отражающего имиджевую концепцию. В фирменном стиле необходимо учесть особенности восприятия визуальной культуры, эстетических предпочтений потенциальных клиентов [2].

Анализ существующего визуального ряда

Была проанализирована графическая информация следующих конкурентов: студенческий диско клуб «МАИ» «Equator», г. Москва, диско клуб «Европа», Ставрополь, ночные клубы «Гараж», «NEO», г. Таганрог.

Рис.1. Логотипы диско клубов: «Equator», «Европа», «NEO»

В представленных знаках присутствует необоснованное сочетание цветов, нарушение композиции, однако есть интересные, запоминающиеся знаки с лаконичным шрифтом.

Имиджевая концепция, разработка логотипа

Под имиджем понимается искусственный образ, формируемый в общественном или индивидуальном сознании средствами массовой коммуникации. Он сочетать как реальные свойства объекта, так и несуществующие, приписываемые. В данной работе стилистическим ориентиром для визуальных имиджевых материалов была выбрана космическая тематика. Космическая туманность «Омега» является жемчужиной летнего неба. Яркая и с характерной формой, она разительно отличается от большинства других диффузных туманностей.

Предлагаемы логотип должен быть простым, лаконичным, индивидуальным, на рис.2 представлены некоторые поисковые варианты.

Рис.2.Поисковые варианты логотипа

Итоговая версия разработанного логотипа состоит из графической и текстовой частей (рис.3). Графический знак – это буква омега Ω, стилизованная под космонавта. Начертание логотипа задумывалось

универсальным, оно одинаково хорошо выглядит как в цветном варианте, так и в черно-белом.

Рис.3. Итоговый вариант логотипа

Фирменные цвета и шрифты

Для логотипа был использован шрифт Eri-Black, начертание True-Type. В качестве фирменных цветов были выбраны оранжевый (символизирует благополучие, реализм, жизнь: C0,M60,Y100,K0) и синий цвета (ассоциируется с гармонией, внутренним спокойствием: C100,M84,Y9,K0) [4], [5].

Разработка носителей фирменного стиля

В ходе подготовки были чётко определены размеры каждого вида продукции. Обозначены конкретное место и форма каждого элемента, выбрано его графическое решение. Так же представлены возможные виды рекламного носителя. Дополнительно были разработаны несколько графических элементов, которые будут использованы для полиграфии и носителей фирменного стиля (рис.4). Так же они могут быть задействованы для оформления интерьера.

Рис.4. Графические изображения для носителей фирменного стиля

Была разработана фирменная деловая документация: визитки, бейджи, фирменные бланки, блокнот, меню, папка-счет, информационные таблички, оформление бокалов, чашек (рис.5) [1], [6].

Рис.5. Варианты оформления бокалов и чашек

Для еженедельных тематических вечеринок предложены рекламные плакаты, которые выдержаны в фирменной цветовой гамме с логотипом клуба.

Рис.6. Тематические плакаты

Из сувенирной продукции были разработаны: обложки для компакт-дисков, брелоки, футболки, бейсболки, пакеты. Для наружной рекламы были спроектированы макеты вывески, сити-монитора, рекламного шита.

Заключение

В данной работе были разработаны носители фирменного стиля для студенческого клуба. Были предложены логотип, макеты фирменной дело-

вой документации, сувенирной продукции, варианты оформления тематических рекламных плакатов. Благодаря разработанным материалам удалось создать и технологически обосновать составляющих фирменного стиля и его носителей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Бове К.Л., Арене У.Ф.* Современная реклама. Пер. с англ. -Тольятти: Издат. Дом «Довгань», 1995. – 582с.
2. *Назайкин А.А.* Эффективная реклама в прессе. – М., 2000. – 327 с.
3. *Рунге В.Ф., Сеньковский В.В.* Основы теории методологии дизайна. М.: М3-Пресс. 2003. – 253с.
4. *Базыма Б.А.* Психология цвета: теория и практик». – СПб.: Издат. Речь, 2005. 112 с.
5. *Буковецкая О. А.* Дизайн текста: шрифт, эффекты, цвет. – М.: ДМК Пресс. 2006. – 278с.
6. *Яцюк О.Г., Романычева Э.Т.* Компьютерные технологии в дизайне. Эффективная реклама/ – СПб.: БХВ-Петербург, 2001. – 432 с.

Ятченко Яна Владимировна, студентка, кафедра инженерной графики и компьютерного дизайна, Инженерно-технологическая академия Южного федерального университета, Таганрог, Россия, тел.: +7 (8634) 37-17-94.

Аббасов Ифтихар Балакишиевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой инженерной графики и компьютерного дизайна, Инженерно-технологическая академия Южного федерального университета, Таганрог, Россия, тел.: +7 (8634) 37-17-94, iftikhar_abbasov@mail.ru.

Yatchenko Yana V., Student of Department of Engineering Graphics and Computer Design, Engineering-Technological Academy of Southern Federal University, Taganrog, Russia, phone: +7 (8634) 37-17-94.

Abbasov Iftikhar B., Professor, Doctor of Engineering, Head of Department of Engineering Graphics and Computer Design, Engineering-Technological Academy of Southern Federal University, Taganrog, Russia, phone: +7 (8634) 37-17-94, iftikhar_abbasov@mail.ru.

УДК 621.396

Орехов Вячеслав Валентинович, Барвенко Виктория Ивановна

РАЗРАБОТКА ДЕТСКОГО ОБУЧАЮЩЕГО МУЛЬТИМЕДИЙНОГО КОМПЛЕКСА

В работе представлен процесс разработки мультимедийного обучающего комплекса для детей в составе которого разработаны следующие части:

- мультимедийный электронный учебник букв русского алфавита

- настольная игра

- раскраска.

Настольная игра и раскраска реализуют принцип повторяемости для закрепления результата в изучении букв.

Электронная азбука, Flash-анимация, компьютерное моделирование, концептуальный дизайн.

Orekhov Vyacheslav Valentinovich, Barvenko Victoria Ivanovna

DEVELOPMENT OF A CHILDREN'S EDUCATIONAL MULTIMEDIA COMPLEX

The paper presents the process of developing a multimedia educational complex for children which includes the following parts:

- multimedia electronic textbook of letters of the Russian alphabet

- board game - coloring book.

The board game and coloring book implement the principle of repeatability to consolidate the result in the study of letters.

Electronic alphabet, Flash animation, computer modeling, conceptual design.

Быстрый темп современной жизни приводит к недостатку времени у родителей для обучения своих детей элементарным начальным знаниям. Кроме того, современные дети растут в изобилии различных игрушек, занимательных игр, множества мультфильмов и т.д. Современные технологии сделали игрушки и мультфильмы настолько красочными и увлекательными, что современным детям просто скучно листать буквари двадцатилетней давности. Кроме того, по данным психологов, дети стали подвижнее, активнее и время концентрации их внимания заметно уменьшилось. Наш проект использует популярную среду Flash (которая имеется сейчас практически на любом компьютере), воздействует сразу и на слух и

на зрение, что задействует правополушарное мышление, обладающее большим быстродействием и восприятием, позволяет участвовать в процессе, что делает процесс обучения азбуке увлекательным и быстрым.

Также удобство заключается в том, что если за раскраской и настольной игрой придётся идти в магазин, то электронная версия может распространяться через Интернет, что делает её более доступной.

При разработке дипломного проекта стояла задача создать мультимедиа учебник для детей среднего дошкольного возраста (3-4 года), который бы привлекал к себе внимание и выделялся среди аналогов.

Так как целевая аудитория проекта — это дети 3-4 летнего возраста, то целесообразно было сделать учебник с яркими картинками, излучающими добро и позитив. Ролики должны быть заполнены множеством графических элементов, чтобы привлекать внимание ребенка. Также необходимо сделать их разнообразными по настроению и цветовой гамме. Это способствует сохранению концентрации внимания. Длительность 30-40 секунд, так как общее время урока с ребенком в этом возрасте не должно превышать 15 мин. Просмотр телевизора или нахождения у монитора тоже ограничены этими временными рамками.

При подборе гарнитуры шрифта были учтены особенности детской психологии: а именно резкие углы и засечки могут восприниматься агрессивно. Но и чересчур скругленные, деформированные очертания букв не будут эффективны, так как ребенку будет сложно сопоставить выученную форму буквы с ее классическим начертанием. Поэтому был выбран шрифт Comic Sans MS (рис. 1)

Рис. 1. Применение шрифта Comic Sans MS

Создание визуального ряда.

Создание мультимедиа учебника включало в себя четыре этапа. Изготовление имиджевых персонажей flash роликов, компиляция flash проекта, наложение звуковой дорожки. Также были предложены элементы под-

держки мультимедиа учебника: настольная игра и упаковка. Визуальный ряд нашего учебника состоит из: имиджевых персонажей для набора букв алфавита, фонов с которыми они взаимодействуют и красочных букв, поясняющих картинку.

Все персонажи разработаны на основе эскизов, выполненных вручную (рис. 2), и нарисованы при помощи программы Adobe Flash CS3 (рис. 3)

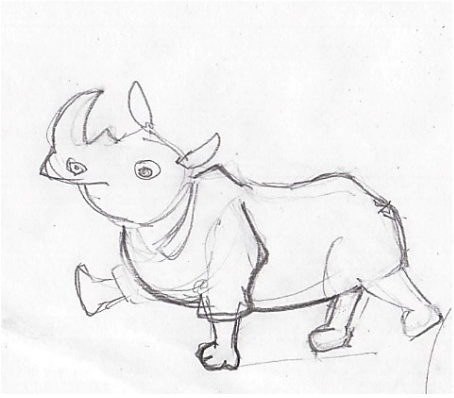


Рис. 2. Пример эскиза, выполненного вручную

Рис. 3. Результат отрисовки персонажа в формате векторной графики

Стиль сформировался в процессе создания проекта, влияние оказала детская литература и мультфильмы.

В начале проекта были созданы персонажи, затем в среде Adobe Flash SC3 фоны к персонажам, далее процесс «оживления» животных, и только после этого били подобраны звуковые треки, передающие определенное настроение (рис. 4).

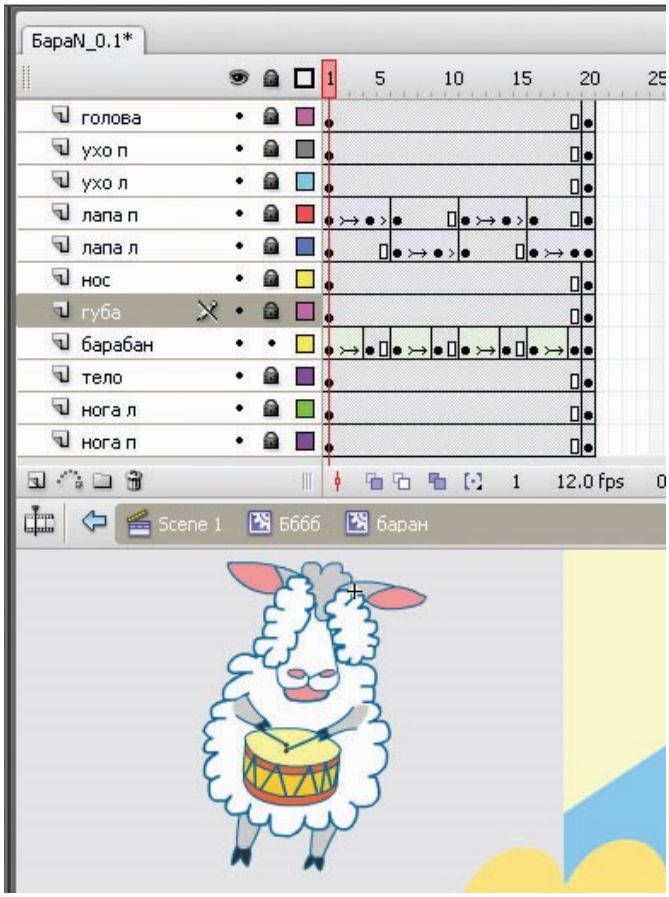


Рис. 4. Снимок экрана с интерфейсом программы и процесса создания анимации

При помощи ключевой анимации можно добиться эффекта для каждого из персонажей. При этом используются 2 типа ключевой анимации: Shape Tween для разных слоев. Созданные движения помещаются в цикл для имитации различных эффектов.

В поддержку проекта были разработаны бренд-элементы:

Настольная игра, состоящая из игрового поля формата А2, кубика и фигур животных. Кубик сделан из вспененного пластика, размер 40 на 40 мм. Фигурки животных выполнены из мягкого пластика с креплением в виде липкой ленты с одной стороны и нанесением самоклеящейся пленки с другой. Для удобства была разработана коробка, в которую помещается настольная игра.

Коробка выполнена из Картона 280 г/м² одностороннего мелования с фигурными вырубными частями.

В процессе работы был проведен анализ существующих проектов, предназначенных для обучения детей алфавиту и чтению, в результате которого выяснилось, что большинство из них скорее предназначены для де-

тей старшего дошкольного возраста и достаточно сложны. Проектов, обучающих детей первоначальным базовым знаниям начертания букв алфавита не много, кроме того, все они создаются с использованием традиционных языков программирования. Следует отметить, что успех применения подобных проектов на 90% зависит от дизайна и эргономики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Лещев Д.В.* Flash MX 2004. Теория и практика. Самоучитель. «Питер», 1-е издание, 2004.
2. *Ингенблек Вернер*. Все о мультимедиа. – Киев: BHV, 1996. – 352 с.
3. *Бурлаков М.В*. Macromedia Flash 8. Самоучитель. Киев.: Диалектика, 2006.
4. *Бригита Хосеа* Macromedia Flash 8. NT Press. Москва 2007.
5. *Фролов А.В., Фролов Г.В.* Мультимедиа для Windows. Руководство программиста. - М.: "ДИАЛОГ-МИФИ", 1994.
6. *Квин Донни*, Допечатная подготовка, издательский дом "Вильямс". – М., СПб., Киев, 2003г.
7. *Пронин С.* Рекламисту о дизайне, дизайнеру о рекламе. М.: Бератор, 2004г.
8. *Тычинский А. В.* «Методические указания по выполнению технико-экономического обоснования квалификационных работ. Маркетинговый подход» Таганрог, 2005.
9. *Билибин И.:* по материалам собрания Е. П. Климова / Автор-составитель Г. Климов. – М.: ТЕРРА, 1999.- 256 с.: ил.

Орехов Вячеслав Валентинович, старший преподаватель кафедры ИГиКД, ИРТСУ, Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица улица Чехова, 22Б, 347900, телефон: 8 988 5832049, email: orechovvv@sfedu.ru.

Orekhov Vyacheslav Valentinovich, Senior Lecturer, IGiKD Department, IRTSU, Southern Federal University, Taganrog, 22B Chekhova Street, 347900, phone: 8 988 5832049, email: orechovvv@sfedu.ru.

Секция – **КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИНЖЕНЕРНОЙ ПОДГОТОВКЕ**

УДК 378.016 + 004.738.5

Лызь Наталья Александровна, Истратова Оксана Николаевна

СЦЕНАРИИ И СПОСОБЫ СОПРОВОЖДЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТУДЕНТОВ В ИНТЕРНЕТ-ПРОСТРАНСТВЕ

Цель исследования – определить способы обеспечения безопасности деятельности студентов в интернет-пространстве. Для этого проанализированы особенности обучающихся и их поведения в интернет-пространстве и выделены высокоэффективные – безопасные, среднеэффективные – безопасные, среднеэффективные – рискогенные, неэффективные – рискогенные типы сценариев. Показаны возможности сопровождения информационно-образовательной деятельности студентов при рискогенных сценариях с использованием современных технологических решений и психолого-педагогической поддержки.

Студенты, Интернет, информационно-образовательная деятельность, сценарии, риск, сопровождение.

Natalia Alexandrovna Lyz’, Oksana Nikolaevna Istratova

SCENARIOS AND METHODS OF SUPPORTING THE STUDENTS’ ONLINE ACTIVITIES

The purpose of the study is to determine ways to ensure the safety of students' Internet activities. For this, the characteristics of students and their online activity have been analyzed. Highly effective and safe, medium effective and safe, medium effective and risky, ineffective and risky types of scenarios are highlighted. The possibilities of supporting students' information-educational activities in risky scenarios with the use of modern technological solutions and psychological and pedagogical support are shown.

Students, Internet, information-educational activity, scenarios, risk, support.

Введение. Цифровая трансформация образования существенно ускорилась в условиях пандемии. Традиционная образовательная реальность, дополненная цифровыми инструментами и сервисами дистанционной коммуникации, приобрела гибридный характер, а деятельность обучаю-

щихся в ряде аспектов перешла в Интернет и стала информационно-образовательной (ИОД). Под такой деятельностью понимается самостоятельная социально, личностно и интернет обусловленная познавательная, поисковая, коммуникативная, информационно-созидательная и развлекательно-познавательная активность субъекта, реализующаяся посредством сети интернет, направленная на решение образовательных задач и/или имеющая результатом расширение его жизненного, образовательного, профессионального опыта [1]. Она сопровождается множеством рисков, которые могут быть рисками для здоровья, развития, эмоционального благополучия обучающегося или рисками потери деятельности; внешними (связанными с обстоятельствами и организацией самого интернет-пространства и образовательной деятельности в нем) или внутренними (связанными с особенностями обучающихся); контентными, коммуникационными, кибер-рисками и др. [2]. Результаты проведенных исследований [1, 3, 4] показали, что информационно-образовательная деятельность студентов сконцентрирована в учебно-познавательном, поисково-познавательном и развлекательно-познавательном видах; при этом информационно-поисковая деятельность, обладая наибольшими рисками, выступает сквозной для всех видов ИОД. В связи с этим актуальна проблема выявления рисков и обеспечения безопасности и эффективности деятельности обучающихся в интернет-пространстве. В настоящей статье представлена классификация сценариев поведения обучающихся в интернет-пространстве по критериям эффективности и безопасности и способы сопровождения такой деятельности в случае рискогенных сценариев.

Основная часть. На основе систематизированных факторов, определяющих эффективность и безопасность деятельности обучающихся в интернет-пространстве [1, 2. 5] и моделей информационно-образовательной деятельности [3, 4, 6] разработана интегральная классификация сценариев поведения обучающихся в интернет-пространстве по двум критериям. Степень эффективности определяется сформированностью поведенческих, процедурных и метакогнитивных компонентов стратегии ИОД и соотношением компонентов деятельности (целевых, мотивационных, регулятивных); степень безопасности – наличием и актуализацией личностных ресурсов.

1. Высокоэффективные – безопасные сценарии: реализован полный цикл самоуправляемой или саморегулируемой деятельности (постановка / принятие цели; планирование деятельности и поиск ресурсов; исполнение;

отслеживание результатов; коррекция деятельности или коррекция цели); цели деятельности напрямую соответствуют ее содержанию и релевантны ведущей мотивации; актуализированы компетенции в сфере ИКТ, когнитивные, метакогнитивные, личностные ресурсы, позволяющие реализовать целеустремленное поведение, результативно выполнять деятельность, регулировать свою активность и управлять временем, преодолевать контентные и коммуникационные риски.

2. Среднеэффективные – безопасные сценарии: реализованы минимально необходимые компоненты цикла частично-регулируемой деятельности (принятие цели, исполнение, отслеживание результатов); цели деятельности в целом соответствуют ее содержанию и релевантны ведущей мотивации; актуализированы компетенции в сфере ИКТ, когнитивные, метакогнитивные, личностные ресурсы, позволяющие реализовать целеустремленное поведение, выполнять деятельность, регулировать свою активность, преодолевать контентные и коммуникационные риски.

3. Среднеэффективные – рискогенные сценарии: реализованы минимально необходимые компоненты цикла деятельности (принятие цели, исполнение, отслеживание результатов); цели деятельности не соответствуют ее содержанию и не релевантны ведущей мотивации; актуализированы компетенции в сфере ИКТ и когнитивные ресурсы, необходимые для выполнения деятельности.

4. Неэффективные – рискогенные сценарии: реализованы отдельные компоненты, не составляющие полного цикла деятельности (принятие цели, исполнение, отслеживание результатов); цели деятельности не соответствуют ее содержанию и не релевантны ведущей мотивации; не актуализированы компетенции в сфере ИКТ, когнитивные, метакогнитивные, личностные ресурсы, необходимые для выполнения деятельности и преодоления рисков.

Рискогенные сценарии обусловлены недостатком личностных ресурсов и компетенций студентов. Для таких сценариев угрозу несут не только негативные информационные события (содержащие контентные, коммуникационные и кибер-риски), но и позитивно воспринимаемые события (привлекательный контент), способствующие переходу деятельности в навязчивый веб-серфинг и интернет-зависимость [7, 8]. Поэтому сценарии последних двух типов требуют сопровождения, которое может осуществляться как человеком, так и с использованием современных технологических решений. Сопровождение как педагогическая технология предполага-

ет поддержку естественно развивающихся реакций и поведения и, в отличие от коррекции, не исправляет ошибки, а предупреждает и преодолевает проблемы в деятельности на основе актуализации ресурсов личности, опоры на ее возможности и создание на этой основе условий для развития. В этом контексте пути и формы сопровождения ИОД можно определить через формирование различных видов компетенций, техническую и психолого-педагогическую поддержку, позволяющую преодолевать соответствующие риски (табл. 1).

Таблица 1.

Риски и возможности сопровождения деятельности студентов в интернет-пространстве

Вид риска	Компетенции для превенции риска	Технологические решения для сопровождения	Психолого-педагогическое сопровождение
Нарушения здоровья	Валеологическая – установки на здоровый образ жизни, владение здоровьесберегающими технологиями	Отслеживание состояния и глазодвигательных реакций и обозначение необходимости сделать перерыв	Поддержка оффлайновых видов активности, саморегуляции, тайм-менеджмента и т.д.
Технические киберриски	Техническая – знания, умения, мотивация, ответственность, позволяющие эффективно и безопасно использовать технические и программные средства [9]	Биометрическая и динамическая аутентификация, обнаружение следов или признаков вредоносного ПО, реагирование на атаки [10]	Помощь в преодолении трудностей, формирование отношения к интернет-пространству как среде, имеющей риски
Контентные	Компетенция в сфере ИКТ и медиакомпетенция, связанные с поиском, осмыслением информации, с использованием цифровых ресурсов и созданием информационных объектов [9]	На основе отслеживания деятельности в Сети формирование сценариев, обнаружение и предотвращение обращения к вредоносному контенту: блокирование доступа, гиперссылка-предупреждение и т.п.	Поддержка критичности мышления, эмоциональной стабильности, преодоления ведомости и внушаемости

Коммуникационные	Коммуникативная – ответственность, знания, умения, мотивация, необходимые для различных форм коммуникации [9]	Выявление опасных контактов, предупреждение о них или блокировка	Помощь в преодолении трудностей, поддержка психологической устойчивости, критичности мышления, адекватной самооценки
Интернет-зависимость	Личностная безопасность – устойчивость мировоззрения и ресурсы субъектности	Ограничение экранного времени, регуляция пребывания в Сети всплывающими окнами	Поддержка саморегуляции, волевых ресурсов, субъектности, целеустремленности

Выводы. Представленная классификация сценариев поведения обучающихся в интернет-пространстве по критериям эффективности и безопасности может служить основой для определения форм и видов педагогического управления ИОД студентов. Рискогенные сценарии требуют сопровождения, которое может осуществляться с использованием современных технологических решений (например, интеллектуальных ассистентов) и психолого-педагогической поддержки деятельности и проявления в ней умений и личностных ресурсов студентов. Для превенции рисков важно формирование у студентов валеологической, технической, коммуникативной, компетенции в сфере ИКТ, медиакомпетенции и личностной безопасности. Перспективой исследования является определение технологических и педагогических способов оптимизации и повышения эффективности информационно-образовательной деятельности студентов в интернет-пространстве.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-29-22019.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Лызь Н.А., Истратова О.Н.* Информационно-образовательная деятельность в интернет-пространстве: виды, факторы, риски // Педагогика. 2019. № 4. С. 16–26.
2. *Лызь Н.А., Истратова О.Н., Лызь А.Е.* Возможности и риски информационно-образовательной деятельности студентов в интернет-пространстве. // Открытое образование. 2020. Т. 24. № 4. С. 67-74.

3. *Истратова О.Н., Лызь Н.А.* Концептуальная модель информационно-образовательной деятельности обучающихся в интернет-пространстве // Азимут научных исследований: педагогика и психология. 2019. Т. 8. № 2(27). С. 314–318.
4. *Лызь Н.А., Григорьев А.О.* Теоретический базис разработки сценариев поведения обучающихся в интернет-пространстве // Современные информационные технологии: тенденции и перспективы развития: материалы XXVII научной конференции [Электронный ресурс]. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2020. С. 172–174.
5. *Лызь Н.А., Истратова О.Н., Григорьев А.О.* Сценарии поискового поведения в контексте безопасности студентов в интернет-пространстве // Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении «КомТех-2020» [Электронный ресурс]. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2020. Т. 2. С. 275–280.
6. *Лызь Н.А., Истратова О.Н.* Процессуальная модель информационно-образовательной деятельности обучающихся // IX Всероссийская научная конференция «Системный синтез и прикладная синергетика»: сборник научных трудов. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2019. – С. 500–507.
7. *Бова В.В., Запорожец Д.Ю., Кравченко Ю.А., Кулиев Э.В., Курейчик В.В., Лызь Н.А.* Идентификация неявных угроз на основе анализа активности пользователя в интернет-пространстве // Известия ЮФУ. Технические науки. 2020. №3 (213). С. 156–172.
8. *Ioannidis K., Treder M.S., Chamberlain S.R., Kiraly F., Redden S.A., Stein D.J., Lochner C. Grant, J.E.* Problematic internet use as an age-related multifaceted problem: Evidence from a two-site survey // Addictive Behaviors, 2018. Volume 81. Pages 157-166.
9. Цифровая компетентность подростков и родителей. Результаты всероссийского исследования / Г.У. Солдатова, Т.А. Нестик, Е.И. Рассказова, Е.Ю. Зотова. – М.: Фонд Развития Интернет, 2013. – 144 с.
10. *Афанасьева Д.В.* Применение искусственного интеллекта в обеспечении безопасности данных // Известия ТулГУ. Технические науки. 2020. №2. С. 151–154.

Лызь Наталья Александровна, доктор педагогических наук, заведующая кафедрой психологии и безопасности жизнедеятельности Южного федерального

университета, Россия, г. Таганрог, улица Чехова, 2, телефон: +7 (8634) 36-15-86, e-mail: nlyz@sfedu.ru.

Истратова Оксана Николаевна, кандидат психологических наук, доцент кафедры психологии и безопасности жизнедеятельности Южного федерального университета, Россия, г. Таганрог, улица Чехова, 2, телефон: +7 (8634) 36-15-86, e-mail: oistratova@sfedu.ru.

Lyz' Natalia Alexandrovna, Doctor of Pedagogics, the head of the Department of Psychology and Safety of Existence, Southern Federal University, Russia, Taganrog, Chekhov Street, 2, phone: +7 (8634) 36-15-86, e-mail: nlyz@sfedu.ru.
Istratova Oksana Nikolaevna, Candidate of Psychological Sciences, Associate Professor in Department of Psychology and Safety of Existence, Southern Federal University, Russia, Taganrog, Chekhov Street, 2, phone: +7 (8634) 36-15-86, e-mail: oistratova@sfedu.ru .

Секция – **МЕТОДЫ, СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА ОБРАБОТКИ ФИЗИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ**

УДК 621.396

Губарев Дмитрий Егорович, Андрианов Артур Валерьевич,
Зикий Анатолий Николаевич, Зламан Павел Николаевич

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ШЛЕЙФОВОГО ФИЛЬТРА НА СТУПЕНЧАТЫХ РЕЗОНАТОРАХ

Проведено моделирование и экспериментальное исследование шлейфового фильтра на ступенчатых резонаторах. Фильтр выполнен не органическом диэлектрике типа ПТ-10 и работает в дециметровом диапазоне длин волн. Приведена схема, описана конструкция фильтра. Даны геометрические размеры всех микрополосковых линий. Моделирование фильтра проводилось в среде MicrowaveOffice. Испытания фильтра проводились с помощью векторного анализатора цепей типа "Обзор-103". Показано достижение следующих параметров:

- центральная частота полосы пропускания 910±10 МГц;

- ширина полосы пропускания по уровню минус 5 дБ от максимума 530±30 МГц;

- максимальные потери в полосе пропускания 7 дБ;

- полоса заграждения по уровню минус 30 дБ от 0 до 570 МГц;

- подавление ложной полосы пропускания на $3f_0$ не менее 30 дБ;

- волновое сопротивление входа и выхода 50 Ом.

Полосовой фильтр; микрополосковая линия передачи; амплитудно-частотная характеристика; моделирование; эксперимент.

Gubarev Dmitry Egorovich, Andrianov Artur Valeryevich,
Zikiy Anatoly Nikolaevich, Zlaman Pavel Nikolaevich

MODELING AND EXPERIMENTAL STUDY OF A LOOP FILTER ON STEP RESONATORS

Modeling and experimental investigation of the loop filter on step resonators is carried out. The filter is made of a non-organic dielectric of the PT-10 type and operates in the decimeter wavelength range. The scheme is given, the filter design is de-

scribed. The geometric dimensions of all microstrip lines are given. The filter was modeled in the MicrowaveOffice environment. The filter was tested using a vector circuit analyzer of the Obzor-103 type. The following parameters are shown to be achieved:

- the center frequency of the 910±10 MHz bandwidth;

- bandwidth at a level of minus 5 dB from a maximum of 530±30 MHz;

- maximum bandwidth loss of 7 dB;

- barrage band at the level of minus 30 dB from 0 to 570 MHz;

- false bandwidth suppression at 3f0 of at least 30 dB;

- input and output wave resistance of 50 ohms.

Bandpass filter; microstrip transmission line; amplitude-frequency response; simulation; experiment.

Введение

Фильтры с широкой полосой пропускания часто используются в радиотехнике, в том числе в приемно-передающей и измерительной аппаратуре. Их исследованию посвящено значительное число работ, в том числе монографии [1-3], учебные пособия [4], статьи [5,6], патенты [7].

Среди фильтров с широкой полосой пропускания важное место занимают шлейфовые фильтры. Целью данной работы является создание шлейфового фильтра с коэффициентом перекрытия $f_в/f_н$=1,875.

К фильтру предъявляются следующие требования:

- центральная частота полосы пропускания 910±10 МГц;
- ширина полосы пропускания по уровню минус 5 дБ от максимума 530±30 МГц;
- максимальные потери в полосе пропускания 7 дБ;
- полоса заграждения по уровню минус 30 дБ от 0 до 570 МГц;
- подавление ложной полосы пропускания на $3f_0$ не менее 30 дБ;
- волновое сопротивление входа и выхода 50 Ом.

Основная часть

На рис. 1 приведена схема исследуемого фильтра. Фильтр состоит из 9 резонаторов, соединенных между собой отрезками микрополосковой линии. Такая связь является сильной, и она позволяет реализовать широкую полосу пропускания. В фильтре использованы резонаторы со ступенчато изменяющимся волновым сопротивлением. Верхние отрезки микрополосковой линии имеют емкостной характер. Нижние короткозамкнутые отрез-

ки резонаторов имеют высокое волновое сопротивление и имеют индуктивный характер.

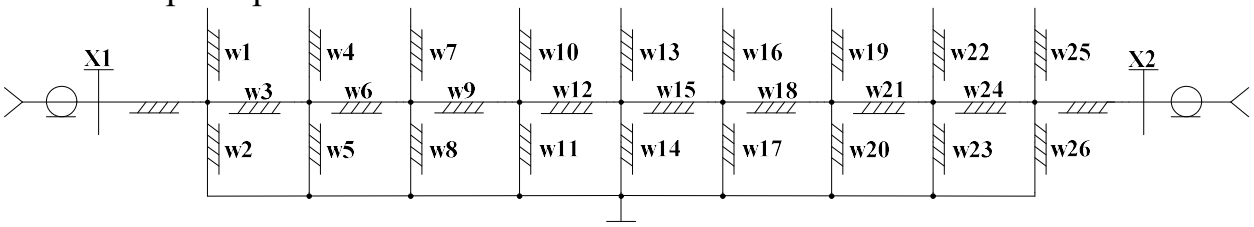


Рис. 1. Схема шлейфового фильтра

Такое построение фильтра приближается к фильтру с сосредоточенными параметрами. Фильтр был рассчитан по методике из статьи [5]. Результаты расчета помещены в табл. 1. По данным из таблицы 1 изготовлен макет, фото которого можно видеть на рис. 2. Плата запаяна в корпус рамочного типа. В качестве соединителей X1, X2 использованы коаксиально-полосковые переходы типа СРГ50-751ФВ [8]. Материал платы - ПТ-10 толщиной 1 мм, имеющий относительную диэлектрическую проницаемость 10±0,5 [9]. Для уменьшения габаритов фильтра тонкие проводники вытравить в форме букв Г и П.

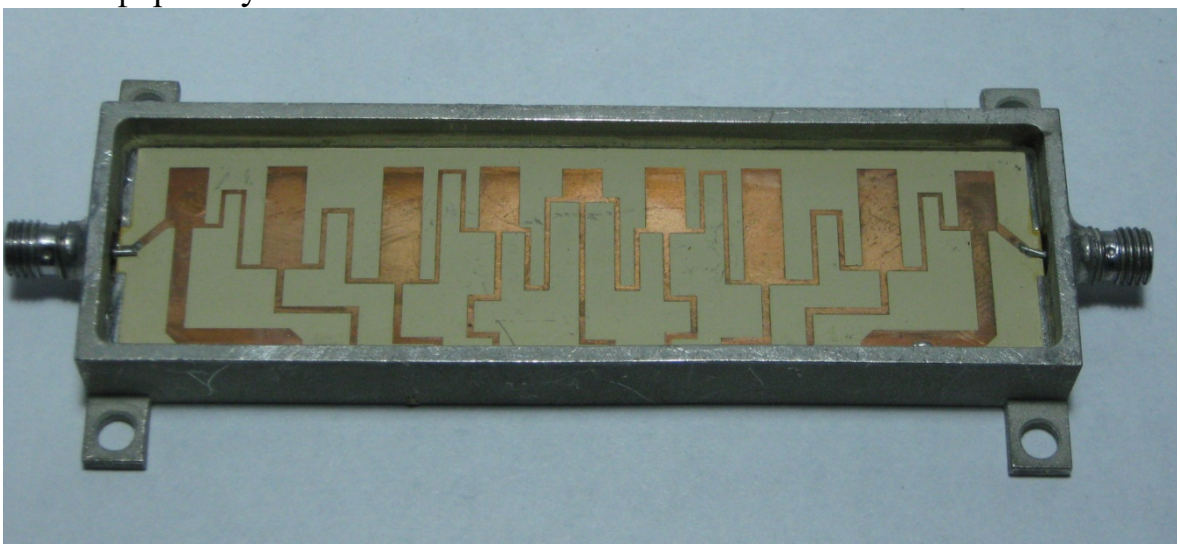


Рис. 2. Шлейфовый фильтр на ступенчатых резонаторах

Таблица 1.

Геометрические размеры фильтра

Позиц. обозначение	Ширина, мм	Длина, мм		Наименование
w1=w25	3,9	6,8		шлейф
w2=w26	1,4	26,1		КЗ шлейф
w3=w24	0,3	17,0		отрезок МПЛ
w4=w22	3,9	11,3		шлейф
w5=w23	0,5	17,5		КЗ шлейф
w6=w21	0,35	21,5		отрезок МПЛ
w7=w19	3,9	12,8		шлейф
w8=w20	0,5	12,0		КЗ шлейф
w9=w18	0,3	23,0		отрезок МПЛ
w10=w16	3,9	6,8		шлейф
w11=w17	0,5	19,0		КЗ шлейф
w12=w15	0,35	20,0		отрезок МПЛ
w13	3,9	3,4		шлейф
w14	0,3	20,8		КЗ шлейф
a1		94		наружная длина корпуса
a		90		внутренняя длина корпуса
h			10	внутренняя высота корпуса, мм
b1	28			наружная ширина корпуса
b	24			внутренняя ширина корпуса
T			1	толщина диэлектрика, мм
ε_r			10	относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика
t			18	толщина медной фольги, мкм
	24	90		размер платы

Моделирование.

Моделирование шлейфового фильтра проводилось в среде MicrowaveOffice (MWO) [10]. На рис. 3 приведена модель фильтра из MWO. Модель не учитывает изгибы короткозамкнутых шлейфов w2,w5 и т.д., а также изгибы микрополосковых линий связи между резонаторами (w3, w6, w9 и т.д.). Модель также не учитывает потери в 50-омной линии между соединителями и крайними резонаторами.

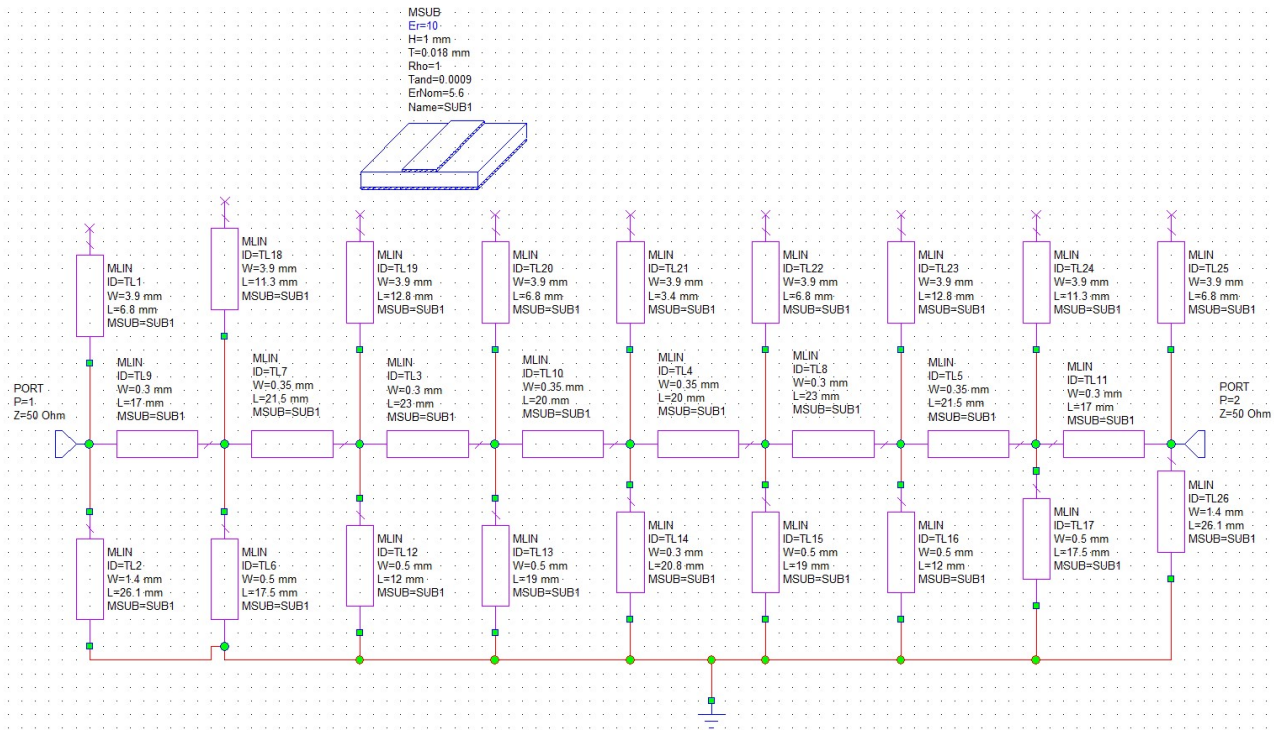


Рис. 3. Модель шлейфового фильтра

На рис. 4 можно видеть амплитудно-частотную характеристику фильтра в ближней зоне. Она показывает возможность достижения заданной полосы пропускания и потерь в ней. На рис. 5 изображена амплитудно-частотная характеристика фильтра в дальней зоне. Она показывает возможность достижения заданной полосы заграждения.

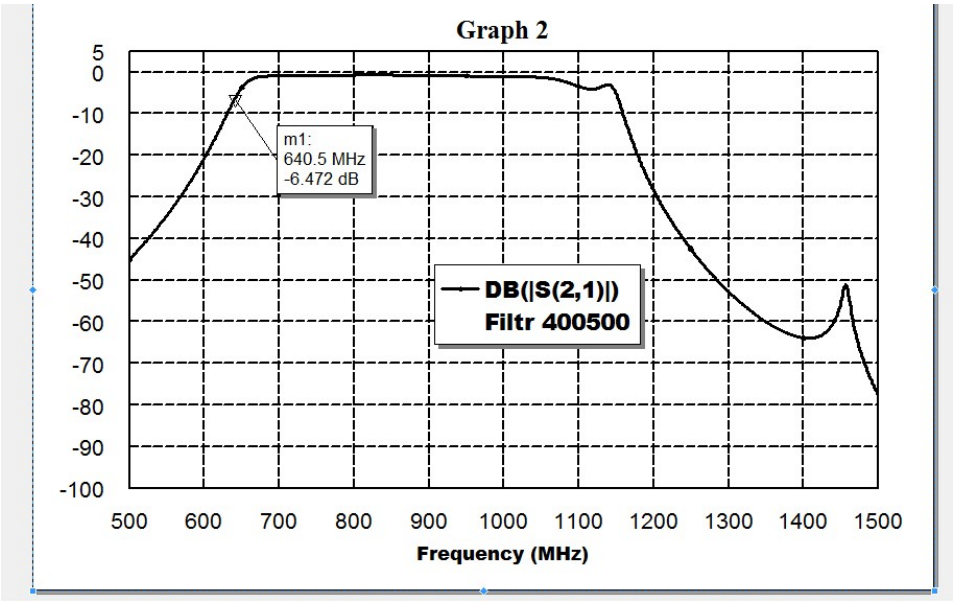


Рис. 4. АЧХ фильтра в полосе от 500 МГц до 1500 МГц

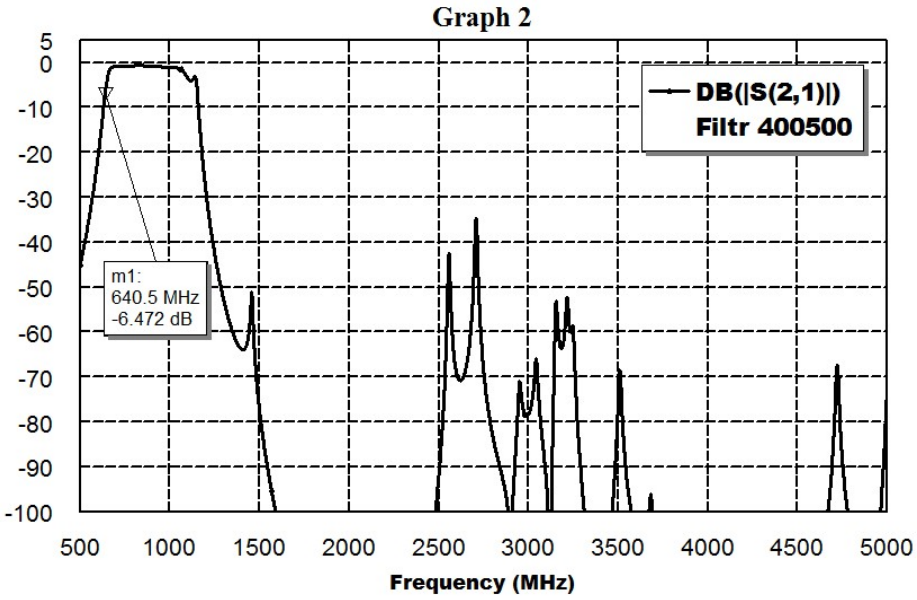


Рис. 5. АЧХ фильтра в полосе от 500 МГц до 5000 МГц

Эксперимент.

Эксперимент проводился на установке, содержащей векторный анализатор цепей типа "Обзор-103", ноутбук, набор кабелей и переходов. В первом эксперименте снималась амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) фильтра в ближней зоне (от 500 МГц до 1300 МГц). Результат измерения показан на рис. 6. Во втором эксперименте исследована АЧХ фильтра в полной полосе прибора "Обзор-103" от 0,3 МГц до 1300 МГц. Эта АЧХ приведена на рис. 7. Неравномерность потерь в полосе пропускания фильтра составляет около 5 дБ. Полоса пропускания фильтра по уровню минус 5 дБ от максимума простирается от 640 МГц до 1200 МГц. Полоса заграждения фильтра по уровню минус 30 дБ расположена от 0 до 600 МГц.

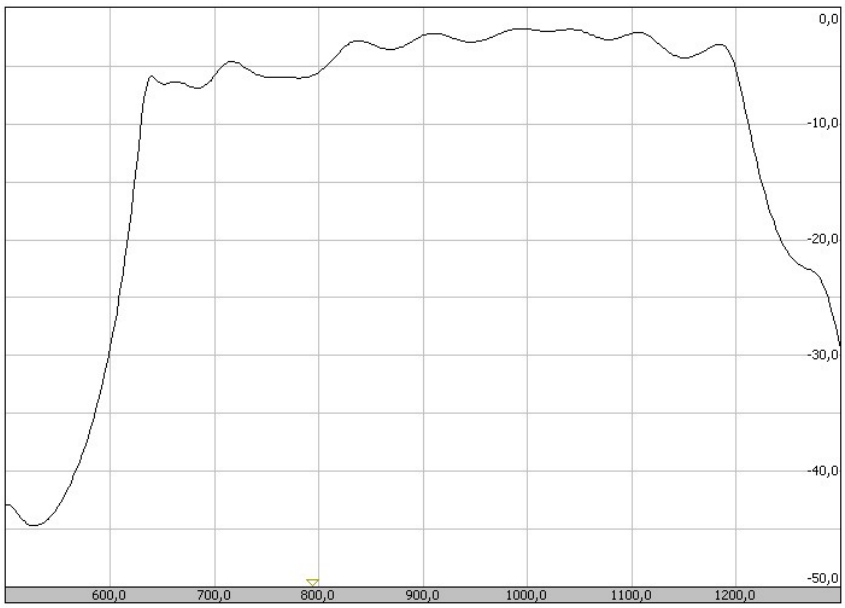


Рис. 6. АЧХ шлейфового фильтра в полосе 500 МГц -1300 МГц

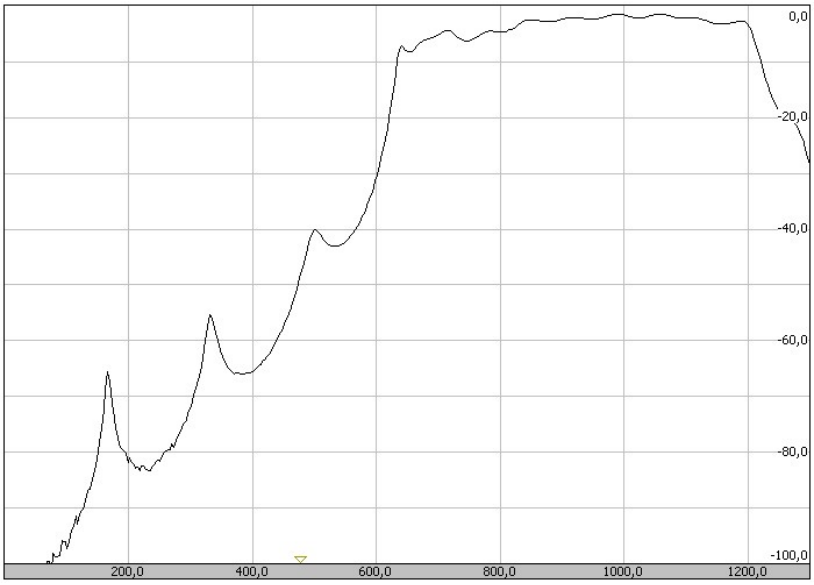


Рис. 7. АЧХ шлейфового фильтра в полосе 0 -1300 МГц

Выводы.

Ниже в табл. 2 приведено сравнение заданных и достигнутых параметров фильтра при моделировании и эксперименте.

Таблица 2.

Основные параметры фильтра

Наименование параметра, размерность	Задано	Моделирование	Эксперимент
Центральная частота полосы пропускания, МГц	910±10	900	920
Ширина полосы пропускания по уровню минус 5 дБ от максимума, МГц	530±30	500	560
Максимальные потери в полосе пропускания, дБ	7	5	7
Полоса заграждения по уровню минус 30 дБ, МГц	от 0 до 570	от 0 до 570	от 0 до 600
Волновое сопротивление, Ом	50	50	50
Подавление ложной полосы пропускания на $3f_0$, дБ	≥30	>30	-

Из этой таблицы видно, что все требования к фильтру выполняются.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Справочник по элементам полосковой техники. Под ред. А.Л. Фельдштейна. -М.: Связь, 1979. - 336 с.
2. *Маттей Д.Л., Янг Л., Джонс Е.М.Т.* Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи. В 2-х томах. -М.: Связь, 1971, 1972.
3. *Бова Н.Т. и др.* Микроэлектронные устройства СВЧ. Киев, Техніка, 1984. - 184 с.
4. Микроэлектронные устройства СВЧ. Под ред. Г.И. Веселова. -М.: Высшая школа, 1988. - 220 с.
5. *Лебедев В.К.* Шлейфовый фильтр. // Известия ВУЗов, серия Радиоэлектроника, 1972, №10, с. 1296-1297.
6. *Андрианов А.В., Зикий А.Н.* Моделирование и экспериментальное исследование шлейфового фильтра. // В сб. : Современный взгляд на будущее науки. Сборник статей Международной научно-практической конференции. Редактор Сукаасян А.А., 2015, с. 40-43.
7. *Карлов А.Ф., Семенихина Д.В.* Режекторный фильтр СВЧ. // А.С. СССР № 1.297.137. Заявл. 12.07.1985, опубл. БИ. №10, 1987, М.кл. Н01р 1/203.

8. *Джуринский К.Б.* Миниатюрные коаксиальные радиокомпаненты для микроэлектроники СВЧ. -М.: Техносфера, 2006. - 216 с.
9. Справочник по расчету и конструированию СВЧ полосковых устройств. Под ред. В.И. Вольмана. // -М.: Радио и связь, 1982. - 328 с.
10. *Разевиг В.Д., Потапов Ю.В., Курушин А.А.* Проектирование СВЧ устройств с помощью Microwave Office. // -М.: Солон-Пресс, 2003. - 496 с.

Губарев Дмитрий Егорович, аспирант Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, пер. Некрасовский 19, 347922, телефон: +7(961) 413-29-18, email: skyraninmyworld@mail.ru.

Андрианов Артур Валерьевич, начальник лаборатории Таганрог АО «ТНИИС», Россия, город Таганрог, пер. Некрасовский 19, 347922, телефон: +7 (9903) 488-59-27, email:artur_andrianov_1990@mail.ru.

Зикий Анатолий Николаевич, кандидат технических наук, доцент Южного федерального университета. Россия, город Таганрог, улица Шило д.257, 347939, телефон +7(918)-58-22-95 email: zikiy50@mail.ru.

Зламан Павел Николаевич, ведущий инженер- конструктор НКБ «МИУС», Россия, город Таганрог, проспект Свободы д.4 347900, телефон -7(918) 585-93-24, email: fm.mail@mail.ru.

Gubarev Dmitry, post-graduate student of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, per. Nekrasovsky 19, 347922, phone: +7(961) 413-29-18, email: skyraninmyworld@mail.ru.

Andrianov Artur V., Head of the Taganrog Laboratory, JSC "TNIIS", Russia, Taganrog city, per. Nekrasovsky 19, 347922, phone: +7 (903) 488-59-27, email:artur_andrianov_1990@mail.ru.

Zikiy Anatoly N., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Southern Federal University. Russia, Taganrog, Shilo Street, 257, 347939, phone +7(918)-58-22-95 email address: zikiy50@mail.ru.

Zlaman Pavel N., Lead design engineer of the NCB "MIUS", Russia, Taganrog, Svobody Avenue, 4 347900, phone -7(918) 585-93-24, email: fm.mail@mail.ru.

УДК 004.891.2

Удовика Юлия Дмитриевна, Тарасова Ирина Александровна

НЕЧЕТКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ЗАКУПОК НА КОММЕРЧЕСКОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Цель работы – минимизировать время на принятие решений в области логистической деятельности в сфере закупок коммерческого предприятия за счет создания модели на основе нечеткой логики. В статье представлена нечеткая модель планирования закупок, прогнозирующая спрос на продукцию с учетом потребностей и возможностей коммерческого предприятия. Результатом является сформированный нечетким алгоритмом оптимальный план закупки на определенный период с учетом влияния внешних факторов.

Нечеткое моделирование, система планирования, коммерческое предприятие, закупка.

Udovika Yulia Dmitrievna, Tarasova Irina Alexandrovna

FUZZY MODELING OF THE PROCUREMENT PLANNING SYSTEM AT A COMMERCIAL ENTERPRISE

The purpose of the work is to minimize the time for making decisions in the field of logistics activities in the field of procurement of a commercial enterprise by creating a model based on fuzzy logic. The article presents a fuzzy procurement planning model that predicts the demand for products, taking into account the needs and capabilities of a commercial enterprise. The result is an optimal procurement plan formed by a fuzzy algorithm for a certain period, taking into account the influence of external factors.

Fuzzy modeling, planning system, commercial enterprise, procurement.

Постановка проблемы

Фактором успешных взаимоотношений с клиентом является своевременное выполнение заказов на поставку продукции. От способности планировать продажи на будущее зависит обеспеченность предприятия товарными запасами. В свою очередь переизбыток заказанного товара, сезонные всплески, непредвидимые колебания способны поглотить основную часть бюджета компании, что крайне нежелательно. Балансировать между минимально-достаточными товарными запасами для покрытия спроса покупателей и не превращать все оборотные средства компании в складские за-

пасы – одна из ключевых и одновременно самых сложных задач в торговле. Слабо-структурированные ситуации в экономике, в которых участвует множество разнородных взаимодействующих факторов, удобно изучать с помощью когнитивного моделирования. Экономические понятия лучше всего определять в числовых интервалах и учитывать, например, промежутки роста или спада на спрос продукции, для этого и используется аппарат нечеткой логики. Он позволяет настраивать переменные под любые условия функционирования предприятия, а также специфику его работы, и учитывает форс-мажорные обстоятельства при планировании закупок [1].

Разработка нечеткой модели планирования закупок

В общем случае под нечеткой моделью понимается информационно-логическая модель системы, построенная на основе теории нечетких множеств и нечеткой логики. Подход к анализу систем на основе теории нечетких множеств является альтернативой общепринятым количественным методам. С экономической точки зрения нечеткая логика позволяет сформировать полный спектр возможных сценариев [2].

Приобретение товаров представляется следующей последовательностью: определение и формирование потребности в составе, объеме и стоимости закупки; сравнительный анализ поставщиков и оценка предлагаемых товаров; формирование заказов, заключение сделок и оформление договоров о покупке и поставке товаров. На рис. 1 представлена обобщенная структурная схема системы планирования закупок, где:

I1 – статистика продаж за предыдущий период;

I2 – общий показатель оптимальных закупочных стоимостей товаров;

I3 – затраты на перевозку;

I4 – затраты на оформление документов (например, услуги таможенного брокера);

I5 – затраты на складское хранение;

I6 – бюджет предприятия на закупку товаров;

I7 – запас товаров на складе;

I8 – информация о товаре (срок годности)

O1 – покрывающие способности поставок для различных контрагентов;

O2 – разработанные планы закупок [3].

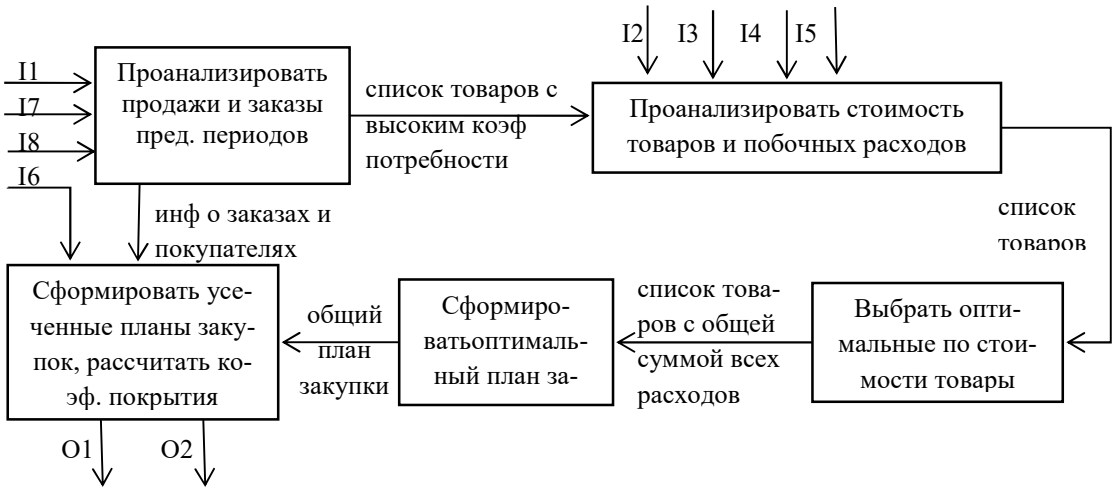


Рис. 1. Обобщенная структурная схема системы планирования закупок

Данная схема универсальна, так как аппарат нечеткой логики позволяет настраивать переменные под любые условия и учитывать форс-мажорные обстоятельства. Задав функцию расчета нечетких интервалов числовых переменных, можно получить точную динамическую модель любого процесса. Основой для проведения операции нечеткого логического вывода является база правил, содержащая нечеткие высказывания в форме «Если – То» и функции принадлежности для соответствующих лингвистических термов. Результатом нечеткого вывода является четкое значение переменной, рассчитанное на основе входных данных. Алгоритмы нечеткого вывода различаются главным образом видом используемых правил, логических операций и разновидностью метода дефаззификации. В разрабатываемой модели используется механизм Мамдани. Обобщенный алгоритм работы системы планирования закупок показан на рис. 2 [4].

Рис. 2. Обобщенный алгоритм работы системы планирования закупок

Анализ продаж предыдущих периодов (возможен выбор периода), представляет собой алгоритм, определяющий потребность в товарах с учетом выбора сценария закупки: по заказам покупателей, по закупкам предыдущих периодов, по продажам предыдущих периодов и т.д. Затем формируется список товаров, упорядоченный по убыванию потребности в товаре (см. рис. 2). При создании нечеткой системы управления необходимо задать лингвистические переменные и базу правил. Новизной данной работы является разработка метода, который позволяет автоматически задавать термы лингвистическим переменным. В качестве примера, на рис.3 представлен результат работы – график функции принадлежности для лингвистической переменной «запас товаров на складе». Каждая номен-

клатурная единица имеет собственные изменяющиеся со временем границы значений «малый», «средний» или «большой» запас на складе. Разработанная система планирования автоматически подстраивается под колебания спроса на рынке и режима работы предприятия [5].

Следующий этап учитывает финансовые ограничения на закупку товаров. В случае выхода за рамки бюджета, программа проводит расчет закупочной стоимости товаров и стоимости побочных расходов. Это необходимо при большом количестве возможных поставщиков, в ситуации с широким рынком предложений, чтобы выгоднее приобрести товар. Если необходимая база данных для определения наилучших альтернатив отсутствует, выбирается поставщик последних периодов. Полученный результат сравнивается с суммой закупки, указываемой пользователем, если сумма закупки больше требуемой – товары расположенные снизу списка (наименее востребованные) отсекаются.

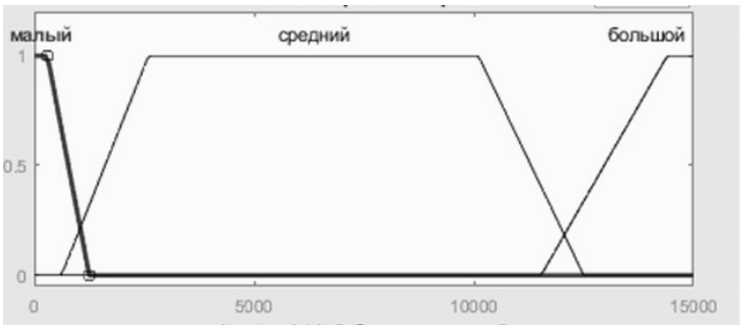


Рис. 3. График функций принадлежности для лингвистической переменной «Запас товаров на складе»

Выводы

Разработанная модель позволяет упростить процесс закупки товаров на коммерческом предприятии. В модели учтено множество факторов, часто затрудняющих планирование, поэтому использован аппарат нечеткой логики, способный более естественно описать характер человеческого мышления и охватить большее количество информации. Для корректной работы модель нуждается в большом объеме исходных данных, а так же настроек под специфику работы того или иного предприятия. Это позволит предсказывать спрос на товары, что уменьшит затраты на хранение и время ожидания у покупателей – тем самым увеличивая прибыль предприятия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Удовика Ю.Д.* Анализ существующих систем планирования ресурсов и их методов работы для коммерческого предприятия / Ю.Д. Удовика, И.А. Тарасова, В.И. Елисеев // Сборник материалов студенческой секции IX Международной научно-технической конференции «Информатика, управляющие системы, математическое и компьютерное моделирование (ИУСМКМ - 2018). – Донецк: ДОННТУ, 2018. – С. 447-449.
2. *Удовика Ю.Д.* Разработка методов планирования закупок товаров медицинского назначения на коммерческом предприятии / Ю.Д. Удовика, И.А. Тарасова // Сборник статей II Всероссийской научно-практической конференции «Вызовы цифровой экономики: итоги и новые тренды», ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», Брянск. – 2019 г. – С. 594-599.
3. *Удовика Ю.Д.* Разработка системы планирования закупок товаров медицинского назначения на коммерческом предприятии / Ю.Д. Удовика, И.А. Тарасова // Материалы студенческой секции X Международной научно-технической конференции «Информатика, управляющие системы, математическое и компьютерное моделирование» (ИУСМКМ - 2019). – Донецк: ДОННТУ, 2019. – С. 473-475.
4. *Удовика Ю.Д.* Разработка модели планирования закупок на коммерческом предприятии при помощи аппарата нечеткой логики / Ю.Д. Удовика, И.А. Тарасова // Сборник научных трудов III Международного научно-практического Форума 16-21 ноября 2020 года «Россия, Европа Азия: цифровизация глобального пространства», г. Невинномысск / Под ред. И. В. Пеньковой. – Ставрополь : СЕКВОЙЯ, 2020. – С. 703-706.
5. *Удовика Ю.Д.* Разработка системы планирования закупок товаров медицинского назначения на коммерческом предприятии / Ю.Д. Удовика, И.А. Тарасова // International peer-reviewed scientific and theoretical journal Problems of Artificial Intelligence – 2020. – С. 110-119.

Удовика Юлия Дмитриевна, студент САУм-19 ДонНТУ, г. Донецк, телефон: +7(918)5896357, email: youlia.u@mail.ru

Тарасова Ирина Александровна, старший преподаватель кафедры искусственного интеллекта и системного анализа Донецкого национального технического университета, ДНР, город Донецк, улица Артема 58, 283001, телефон: +3 (8071) 325-29-01, email: i_a_tarasova@mail.ru.

Udovika Yulia Dmitrievna, student of SAUm-19 DonNTU, Donetsk, phone: +7(918)5896357, email: youlia.u@mail.ru

Tarasova Irina Alexandrovna, Senior Lecturer, Department of Artificial Intelligence and Systems Analysis Donetsk National Technical University, DPR, Donetsk, 58 Artema Street, phone: +3 (8071) 325-29-01, email: i_a_tarasova@mail.ru.

УДК 62–843.4

Денисенко Никита Сергеевич, Береснев Алексей Леонидович

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ДАВЛЕНИЯ В ЦИЛИНДРЕ

Целью данного исследования является создание математической модели термодинамической составляющей давления в циилиндре. Основной задачей было создание такой модели для различных видов топлив, в том числе и комбинированных. С помощью данной модели становится возможным произвести более качественную диагностику двигателя путем сравнений графиков зависимости давления от угла поворота коленчатого вала, полученных при помощи данной модели, а также снятых непосредственно с объекта диагностирования.

Термодинамическая составляющая давления в цилиндре, бинарное топливо, диагностика автомобиля.

Denisenko Nikita Sergeevich, Beresnev Alexey Leonidovich

MATHEMATICIAN MODEL OF THERMODYNAMIC COMPONENT OF PRESSURE IN THE CYLINDER

The aim of this paper is to create mathematician model of thermodynamic component of pressure in the cylinder. The main objective is to create such model which would be appropriate for different kinds of fuels, including binary fuel. With this model it is possible to make diagnostics by comparing two graphs of pressure in cylinder in ratio to angle of cranckschaft. One would be got from this model and another directly from patient.

Thermodynamic component of pressure in the cylinder, binary fuel, car diagnostic.

Введение

В связи с современными темпами роста технологической оснастки нынешних автомобилей, а также использованием различных видов топлива все большую необходимость проявляет улучшение методов диагностирования автомобилей. Однако для обработки данных параметра,

снятого непосредственно с объекта диагностирования, необходимо знать усреднённые значения параметра. В данном случае необходимо снять значения давления в цилиндре без воспламенения от свечи зажигания, и сравнить с графиком, построенным благодаря модели. О данной модели и будет идти речь.

Основная часть

Моделирование индикаторной диаграммы термодинамической составляющей давления согласно данной модели [1 - 3] показано ниже на рис.1–3.

Температура поступившей в цилиндр газо-воздушной смеси:

$\mu pb := 102 \cdot 10^{-3}$ $Cpb := 2300$ $tpb := 343$

$\mu v := 28.97 \cdot 10^{-3}$ $Cv := 1010$ $tv := 288$

- Молярные массы теплоёмкости и температуры пропан-бутановой смеси и воздуха соответственно

$$T0 := \frac{\mu pb \cdot Cpb \cdot tpb + \mu v \cdot Cv \cdot tv}{\mu pb \cdot Cpb + \mu v \cdot Cv} = 336.901$$

Давление остаточных газов:

$\eta v := 0.88$ $\varepsilon := 10.25$ $p0 := 0.1013 \cdot 10^{6}$ *ε - степень сжатия(9.0-11.5) p0 - атмосферное давление*

$Tr := 900$ $\gamma := 0.075$ *(ηv - 0.80-0.96; γ - 0.05-0.10; Tr - 900-1100;) Tr - температура остаточных газов γ - коэффициэнт остаточных газов, ηv - коэффициент наполнения*

$$pr := \frac{\eta v \cdot (\varepsilon - 1) \cdot p0 \cdot Tr}{T0} \cdot \gamma = 1.652 \times 10^{5}$$

Увеличение температуры поступающей в цилиндр воздушно-газовой смеси от поверхности горячих стенок и остаточных газов

$Td := 283$ *Td - 273-283* *Td - увеличение температуры от узлов ДВС*

$$\Delta T := Td + 8 \cdot \gamma \cdot 100 = 343$$

Формла для расчёта давления в цилиндре в конце такта впуска:

$$pa := \frac{1}{\varepsilon} \cdot \left[(\varepsilon - 1) \cdot \eta v \cdot p0 \cdot \frac{T0 + \Delta T}{T0} + pr \right] = 1.785 \times 10^{5}$$

Рис.1. Моделирование в MathCad (часть 1)

Кинематическая функция хода поршня:

$$\varphi := \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0..360 \\ \quad \varphi_i \leftarrow \dfrac{2 \cdot \pi \cdot i}{360} \\ \varphi \end{array} \right.$$

φ - угол поворота коленчатого вала

$N := \text{last}(\varphi)$ $\qquad \lambda rs := \dfrac{0.04}{0.121}$ $\qquad$ λrs - отношение радиуса кривош длинне шатуна

$$\sigma := \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0..N \\ \quad \left| \begin{array}{l} L \leftarrow 1 + \dfrac{1}{\lambda rs} - \left(-\cos(\varphi_i) + \dfrac{1}{\lambda rs} \cdot \sqrt{1 - \lambda rs^2 \cdot \sin(\varphi_i)^2}\right) \\ \sigma_i \leftarrow L \end{array} \right. \\ \sigma \end{array} \right.$$

Кинематическая функция изменения объёма цилиндра:

$$\psi := \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0..N \\ \quad \left| \begin{array}{l} L \leftarrow 1 + \dfrac{\varepsilon - 1}{2} \cdot \sigma_i \\ \psi_i \leftarrow L \end{array} \right. \\ \psi \end{array} \right.$$

Функция, позволяющая высчитать обьём рабочего тела:

$Va := 0.00156$ $\qquad$ Va - обьем рабочего тела в точке а

$$Vaa := \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 1..N \\ \quad \left| \begin{array}{l} L \leftarrow \dfrac{Va \cdot \psi_i}{\varepsilon} \\ V_i \leftarrow L \end{array} \right. \\ V \end{array} \right.$$

$Vaa_0 := Va$

Рис. 2 Моделирование в MathCad (часть 2)

Температура рабочего тела в конце такта впуска:

$$Ta := \frac{T0 + \Delta T + \gamma \cdot Tr}{1 + \gamma} = 695.257$$

Показатель политропы сжатия:

$n1(rpm) := 1.41 - \dfrac{100}{rpm}$ $\qquad$ rpm - скорость вращения коленчатого вала

$n1 := 1.355$ $\qquad$ (1.32 - 1.39)

Функция, позволяющая вычислить температуру рабочего тела:

$$Taa := \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 1..N \\ \quad \left| \begin{array}{l} L \leftarrow Ta \cdot \left(\dfrac{Va}{Vaa_i}\right)^{n1-1} \\ T_i \leftarrow L \end{array} \right. \\ T \end{array} \right.$$

$Taa_0 := Ta$

Функция, позволяющая вычислить давление рабочего тела:

$\psi a := \psi_0$ $\qquad$ ψa - кинематическое изменение объёма цилиндра в точке а

$$paa := \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0..N \\ \quad \left| \begin{array}{l} L \leftarrow pa \cdot \left(\dfrac{\psi_i}{\psi a}\right)^{-n1} \\ p_i \leftarrow L \end{array} \right. \\ p \end{array} \right.$$

Рис. 3 Моделирование в MathCad (часть 3)

Таким образом, промоделировав всю систему, мы получили графики зависимости давления от угла поворота коленчатого вала при различных коэффициентах заполнения цилиндра. Ниже на рис. 4 представлено семейство кривых при различном коэффициенте заполнения.

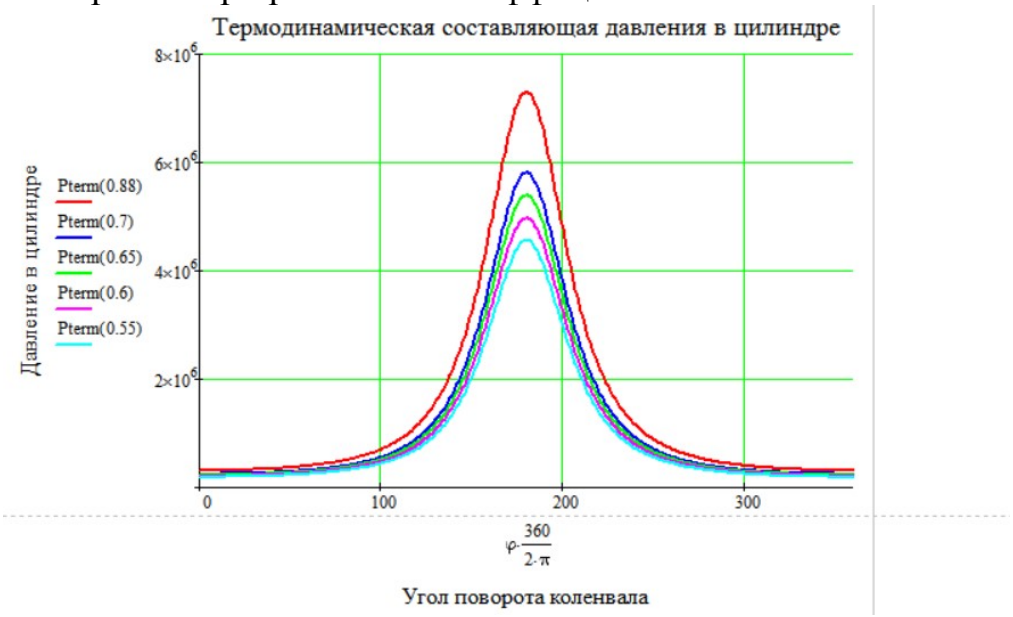


Рис. 4. Семейство кривых при различных коэффициентах заполнения

Ниже на рис. 5 семейство кривых с низким коэффициентом заполнения [4 - 5].

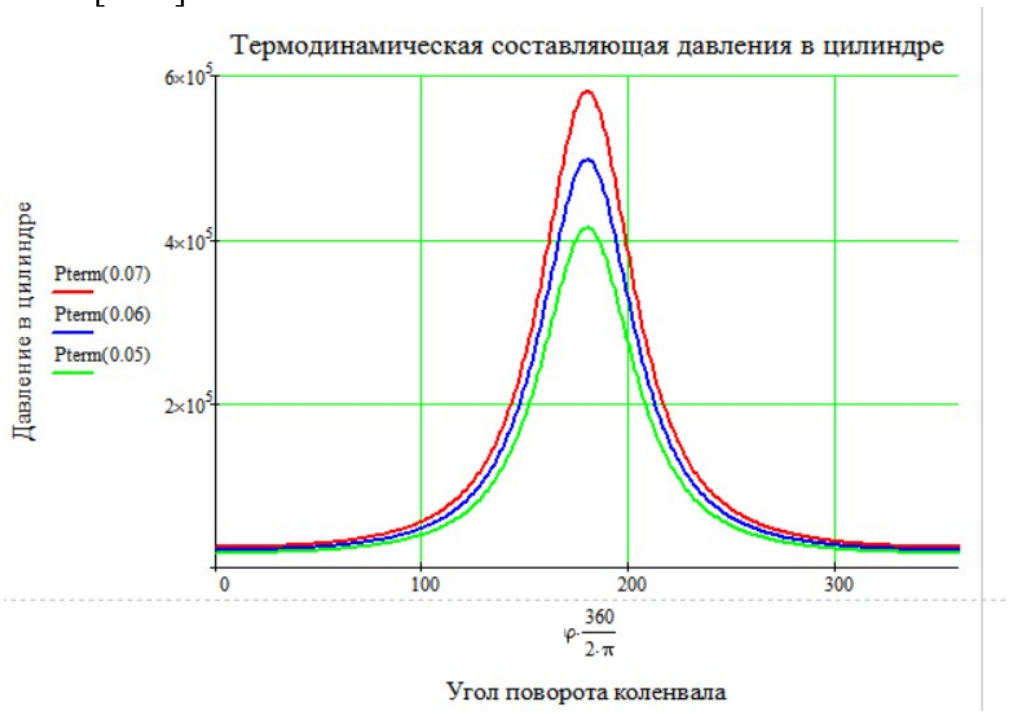


Рис. 5. График зависимости давления от угла поворота коленчатого вала при низком коэффициенте заполнения цилиндра

Вывод

В ходе исследования была создана математическая модель термодинамической составляющей давления в цилиндре. В дальнейшем необходимо простроение графика согласно данным, полученным в ходе диагностирования объекта и последующее его сравнение с приведенённым выше графиком.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Medvedev M., Beresnev A., Beresnev M., Shaiakhmetov A.* Prospects of new binary fuel mixtures for IC engines // ACM International Conference Proceeding Series. 5. Сер. "Proceedings of 2016 5th International Conference on Mechatronics and Control Engineering, ICMCE 2016" 2016. С. 20–26.
2. *Береснев А.Л., Береснев М.А.* Перспективы использования новых видов бинарных топлив для двигателей внутреннего сгорания. // Современные фундаментальные и прикладные исследования. 2016. № 3 (22). С. 14–25.
3. *Beresnev M.A., Beresnev A.L.* Control of spark ignition IC engines operating on alternative fuel mixtures. // IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline). 2014. С. 6289–6294.
4. *Береснев М.А., Береснев А.Л.* Управление составом бинарного топлива для улучшения показателей ДВС. // АвтоГазоЗаправочный комплекс + Альтернативное топливо. 2013. № 11 (80). С. 24–28.
5. *Beresnev M., Beresnev A.* A using mix of gasoline and liquefied petroleum gas for lower emissions and greater torque. // SAE Technical Papers. 2013. Т. 2. С. 17.

Денисенко Никита Сергеевич, студент кафедры Электротехники и Мехатроники Института Радиотехнических Систем и Управления Южного Федерального Университета, Россия, город Таганрог, улица Чехова 22, 347922, телефон: +79287595905, email: ndenisenko@sfedu.ru.

Береснев Алексей Леонидович, доцент, кандидат технических наук кафедры Электротехники и Мехатроники Института Радиотехнических Систем и Управления Южного Федерального Университета, Россия, город Таганрог, email: beresneval@sfedu.ru

Denisenko Nikita Sergeevich, student, Institute of Radio Engineering Systems and Control of Southern Federal University, 347922 Russia, Taganrog, 22, Chekhova street, phone +79287595905, email: ndenisenko@sfedu.ru

Beresnev Alexey Leonidovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.) Institute of Radio Engineering Systems and Control of Southern Federal University, email: beresneval@sfedu.ru

УДК 629.3.048.8

Бережная Анастасия Вячеславовна

ПЕРСПЕКТИВА РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ АДАПТИВНОГО ОСВЕЩЕНИЯ В АВТОМОБИЛЯХ

Доклад посвящен современной разработке системы адаптивного освещения. Также в статье содержится информация о назначении, способах работы, сильных и слабых сторонах системы адаптивного освещения.

Адаптивное освещение, автомобиль, фары.

Berezhnaya Anastasia Vyacheslavovna

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF ADAPTIVE LIGHTING SYSTEMS IN CARS

The article is devoted to the modern development of adaptive lighting systems. The article also contains information about the purpose, methods of operation, strengths and weaknesses of the adaptive lighting system.

Adaptive lighting, car, headlights.

Введение

Каждый водитель знает, что включения фар зачастую недостаточно для адекватной оценки дорожной обстановки в темноте. Чаще всего такие ситуации возникают при поворотах, когда определенные участки дороги находятся в мертвой зоне, то есть не освещаются. В таких случаях водитель может совершать ошибки, которые имеют различные неприятные последствия. По этой причине производители автомобилей интенсивно исследовали это направление. Адаптивное освещение было впервые предложено Volkswagen в качестве альтернативы обычному освещению. [1]

Основная часть

Сначала это было не самое совершенное устройство, но со временем его полезность признали все. Массовое внедрение видеокамер только добавило популярности адаптивным фарам. Возможность максимально адап-

тироваться к постоянно меняющимся дорожным условиям оказалась очень востребованной. В качестве примера можно привести очень распространенную ситуацию, когда по довольно безлюдной дороге водитель едет с включенным дальним светом. Если навстречу движется автомобиль, пускай даже относительно редко, приходится практически постоянно переключаться на ближний свет. Использование адаптивного освещения устраняет раздражающее переключение многих драйверов, не ослепляя других водителей.

Адаптивное освещение — это устройство, предназначенное для улучшения характеристик фары с помощью интеллектуальной системы регулировки угла наклона фар. Когда автомобиль движется по извилистой дороге, полной поворотов, степень информативности освещения значительно снижается. Это связано с тем, что неподвижные фары светят только в одном направлении, а взгляд водителя в это время немного направлен в сторону. Особенно заметно отсутствие освещения при движении в незнакомых условиях - в сельской местности, на дороге со сложной конфигурацией и т. д. [2]

Назначение и режимы работы

Адаптивное освещение поворотов повышает безопасность при движении в сложных погодных условиях и улучшает видимость маршрута. Это достигается за счет конструктивных особенностей системы и наличия электронного блока управления. Адаптивная оптика, в зависимости от типа автомобиля и установленных датчиков, может обеспечивать до шести режимов световой работы, показанных на рис. 1.

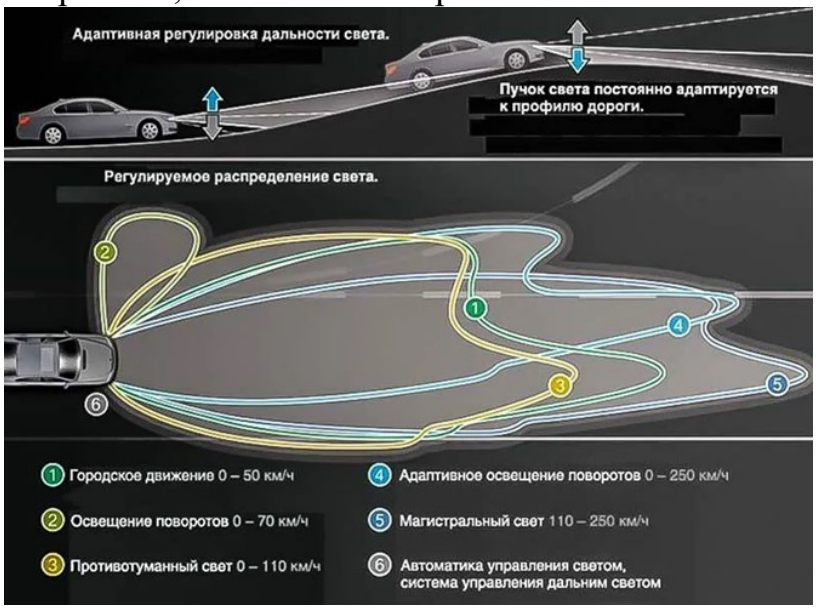


Рис. 1. Световые режимы

Исходя из конструкции самого транспортного средства, а также принципов работы системы адаптивное освещение бывает двух типов:

• AFS - эта система является основой современных технологий, поскольку не корректирует световой поток самих фар. Но сам излучаемый световой луч можно скорректировать в нужном направлении благодаря вращению светового блока;

• AFL - этот вариант можно назвать более прогрессивным, так как он предполагает установку еще одного дополнительного отражателя. Они активируются, когда рулевое колесо резко поворачивается, а сам световой луч направляется на правую сторону дороги, чтобы улучшить ее освещение.

Принцип работы системы AFS

Адаптивное освещение системы AFS - продукт, созданный немецкими специалистами Volkswagen, который позволяет изменять направление светового луча, излучаемого фарами автомобиля. Чтобы этот вариант работал максимально эффективно, в автомобиле должны быть установлены поворотные ксеноновые фары. Устройство и принцип работы адаптивного освещения AFS следующие:

• в автомобиле размещается основной блок управления данной системой, который принимает сигналы от различных базовых устройств – камер, датчиков определения уровня освещенности, рулевого колеса;

• проанализировав все данные, блок определяет необходимый тип освещения, а также обстановку на дороге;

• после этого электроника отправляет соответствующий сигнал на головные фары;

• система корректирует яркость излучаемого света, а также угол, под которым происходит падение светового пучка.

Для активации данного сервиса достаточно переместить переключатель управления светом автомобиля в положение Auto. После этого ассистент автоматически будет распознавать повороты, освещенность трассы и принимать решения о корректировки необходимых параметров. [3]

Как работает свет AFL

Adaptive AFL разработан специалистами немецкой автомобильной марки Opel. Это комбинированный вариант настроек основного света автомобиля, включающий использование дополнительных компонентов фар при повороте. В случае этого типа предусматривается установка таких

осветительных элементов, которые могут давать одинаковые результаты как при ближнем, так и при дорожном освещении. Основная особенность системы заключается в том, что она отслеживает угол поворота рулевого колеса и корректирует направление светового потока автомобиля на высокой скорости.

Дополнительно к свойствам системы необходимо добавить:

- изменение угла световых пучков от адаптивных фар на 15 градусов;
- улучшение освещенности дороги на поворотах на 90%;
- увеличение безопасности движения на перекрестках благодаря боковому свету;
- защита от ложных срабатываний при смене ряда движения.

Адаптивные фары обеспечивают яркий и интенсивный световой поток и позволяют забыть про ручное управление освещением. Больше не нужно думать о встречных машинах и переключении режима работы света. Главный недостаток AFL — дороговизна и сложность ремонта фар при повреждениях.

Опция адаптивного света, как и любая другая система, обладает рядом преимуществ и недостатков. К числу ее основных плюсов можно отнести:

- улучшение обзорности в темное время суток;
- уменьшение числа аварий благодаря отличному обзору;
- более безопасное прохождение поворотов;
- практически полное отсутствие риска ослепления встречного авто.

Главные недостатки системы:

- дороговизна установки;
- предназначается не для всех видов автомобилей;
- требует специальных знаний и особой настройки.

Адаптивная система регулировки положения фар (AFLS) - это система управления фарами, которая учитывает угол поворота рулевого колеса и скорость автомобиля и предназначена для ориентации фар под углом, обеспечивающим наилучшее ночное видение. [4]

Форма направленности луча движущегося автомобиля определяется различными условиями.

Компоненты AFLS: элемент ввода предоставляет информацию от датчика скорости, датчика дорожного просвета и т. Д., Относящуюся к состоянию транспортного средства; Блок управления (блок AFLS) управляет выходным элементом, анализируя и оценивая входной сигнал; Выходной элемент перемещает ближний свет вверх и вниз, влево и вправо для опти-

мального направления луча в соответствии с выходным сигналом управления AFLS.

Адаптивная оптика остается дорогим удовольствием. Несмотря на это, его популярность стремительно растет, и ведущие мировые производители начали устанавливать AFS на свои самые недорогие модели. Если еще учесть долю адаптивной оптики в общей стоимости, это не так уж и здорово. Например, если вы купите Skoda Superb, вам придется заплатить за эту опцию около 60 000 рублей. Это менее 5% от стоимости новой машины.

Выводы

В результате проведенного исследования было выявлено много сильных сторон адаптивного освещения фар, принцип и режимы их работы. Так же мы рассмотрели возможность их установки самостоятельно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Васильев В.И.* Интеллектуальные системы управления. Теория и практика / Васильев В.И., Ильясов Б.Г. - М.: Радиотехника, 2009. - 392 с.
2. *Туревский И.С., Соколов В.Б., Калинин Ю.Н.* Электрооборудование автомобилей: учебное пособие. - М: ИД «ФОРУМ»: ИНФА - М, 2009. - 368с: ил.
3. *Богданов М.Р.* Применения GPS/ГЛОНАСС. - 2012. - 136стр.
4. *Минккинен П.* Разработка новых комплексных услуг и передовых транспортных продуктов // Инновации транспорта. - 2014. - №4. -С.24-26.

Бережная Анастасия Вячеславовна, студентка третьего курса ПИ (филиал) ДГТУ, Россия, город Таганрог, улица Петровская 109А, телефон: +7 (9897) 00-29-80, email: badprincesscrown@gmail.com.

Berezhnaya Anastasia Vyacheslavovna, third-year student of PI (branch) of DSTU, Russia, Taganrog, Petrovskaya street 109A, phone: +7 (9897) 00-29-80, email: badprincesscrown@gmail.com.

УДК 621.8

Иванова Наталья Александровна, Пьянков Павел Алексеевич,
Удовиченко Серафим Евгеньевич

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ

В докладе рассматривается автоматизация производства с помощью станков с ЧПУ, информационных технологий, использования промышленных роботов.

Станки с ЧПУ, АСУ ТП, автоматизация.

Ivanova Natalia Aleksandrovna, Pyankov Pavel Alekseevich,
Udovichenko Serafim Evgenievich

AUTOMATED CONTROL SYSTEMS IN MECHANICAL ENGINEERING

The article deals with the automation of production using CNC machines, information technologies, and the use of industrial robots.

CNC machines, automated process control systems, automation

Ведение

Современное наукоемкое машиностроение и приборостроение относятся к высокотехнологичной сфере производства и имеют свои особенности, которые предопределяют специфику происходящих в них процессов.

Целью развития и внедрения современной автоматизированной системы управления производством является повышение эффективности управления проектированием новых изделий, подготовкой производства, производством, снабжением и сбытом на основе логически единого информационного потока предприятия в корпоративной сети, реорганизации и структурирования информации подразделений, получения необходимой плановой и учетной информации на каждом уровне управления.

Основная часть

Автоматизация производства является одним из основных направлений технической политики в нашей стране. Целью автоматизации является улучшение качества продукции, ускорение темпов повышения производительности труда, повышение ее конкурентоспособности.

На современном этапе машиностроительное предприятие может быть конкурентоспособным и даже просто существовать только в том случае, когда на предприятии есть автоматизированные системы, способны управлять в автоматическом режиме множество процессов и операции. Это способствует не только минимизации человеческого ручного труда, но и тому, что продукция в конечно итоге оказывается более конкурентоспособной и качественной. Ведь сейчас даже не обязательно автоматизировать предприятие машиностроительной промышленности системно и комплексно, потому, что есть возможность вводить автоматизацию поэтапно, и для начала организовать автоматизацию наиболее трудозатратных процессов, и те отрасли, где требуется большая точность.

Целью автоматизации технологических процессов является увеличение производительности труда наряду с общим улучшением качества продукции и внедрением высокотехнологичного оборудования. С ее помощью появляется возможность оптимизировать управление машиностроительным производством, переместить человека с опасных для здоровья промышленных зон. А также повысить надежность и удвоить рентабельность точного машиностроения. Поскольку автоматизация увеличивает конвертируемость и уменьшает время на обработку данных при планировании.

Автоматизация производства в машиностроении включает в себя весь комплекс мер: оснащение производственных линий современных роботизированным оборудованием, внедрение АСУ ТП, автоматизация управления. В машиностроительном производстве, при внедрении автоматизации, следует учитывать все факторы: с инженерной точки зрения часто достаточно сложно автоматизировать весь цикл производства, и необходимости в этом может и не быть – достаточно внедрить автоматизацию на отдельных, не связанных друг с другом, процессах.

В литейном цехе, например, автоматизируется процесс загрузки шихты, контроль температуры и заливка металла в формы. Различные датчики, связанные с контроллером, цепи обратной связи и дистанционное управление могут снизить до минимума участие человека в этом опасном и вредном производстве.

В цехах станочной обработки уже давно применяются токарные, фрезерные и многопрофильные станки с ЧПУ, когда участие человека сводится только к вводу параметров в программу и пуск всей линейки станков. Все остальные операции осуществляет специализированный компьютер.

Перемещение заготовки, установка её на следующий в цепочке станок и контроль размеров с микронной точностью выполняется автоматически.

Основополагающим фактором автоматизации технологических процессов и производств в машиностроении является внедрение АСУ ТП (Автоматизированная система управления технологическими процессами), когда управление осуществляется без непосредственного участия человека. В систему входит автоматизация непрерывных, отдельных и смешанных технологических процессов.

В результате это приводит к увеличению эффективности производства, улучшению качества выпускаемой продукции, а так же к разработке и внедрению новых образцов промышленной продукции. Повсеместно на предприятиях машиностроительного комплекса, для решения производственных вопросов используется современное программное обеспечение – «1С: Предприятие», «1С: Управление производственным предприятием», а так же другие программы.

Типы АСУ ТП для предприятий машиностроения:

• стенды для проведения испытаний оборудования;

• системы оснащенные ЧПУ;

• АСУ ТП для кранового хозяйства;

• АСУ ТП для прессов;

• АСУ ТП для различных конвейерных систем.

Какие стратегические задачи решает применение АСУ ТП в предприятия машиностроительной промышленности:

• обеспечивается более эффективное финансовое и материальное планирование;

• минимизируется уровень складских запасов и уровень незавершенного производства;

• снижаются затраты на каждую единицу готовой продукции,

• улучшаются финансовые показатели деятельности предприятия.

Однако есть и свои отрицательные моменты в замещении человеческого труда автоматизированным. Транспортное машиностроение, станочное производство или любое другое отраслевое промышленное предприятие сталкивается в процессе автоматизации труда со следующими негативными нюансами: сокращение рабочих мест; ограничения технического характера; существующие угрозы безопасности; непредсказуемость уровня затрат на внедрение и разработку; высокая изначальная ценовая политика.

Вывод

Автоматизация производства выступает сегодня в роли основного направления, по которому движется производство всего мира. Все, что ранее осуществлялось за счет трудоспособности человека, его физической силы и интеллектуальных способностей, все это в нынешнее время сводится к технике, которая самостоятельно орудует технологическими циклами и проводит контроль за их выполнением. При этом роль человека сводится к минимуму – ему лишь остается наблюдать за корректностью выполнения автоматизированными системами всех тех действий, которые направлены на оптимизацию отечественного производства. Все просто. Автоматизация технологических процессов в машиностроении осуществляется за счет совокупности операций, предполагающих запуск, остановку, поддержание или изменение процесса оперативной работы на объекте в целом. Она действительно играет важную роль в развитии отрасли в целом. Значение отдельных машин, аппаратов, агрегатов, устройств, комплексов машин, заключается в существенном влиянии на постановку принципиально нового рабочего процесса на машиностроительном заводе в целом. Ведь управляемые объекты в автоматике довольно разнообразны и невероятно эффективны в своем непосредственном назначении. Замена человеческого труда может быть осуществлена в ракурсе частичного или абсолютного замещения. Процесс машиностроения осуществляется либо полностью за счет новейших приборов автоматики, либо с частичным замещением человеческого труда. Не все заводы имеют возможность заменить человеческий труд полностью на автоматизированный. У кого-то для этого не хватает мощностей, у кого-то оборудования, а у кого-то и навыков работы с таким необычным, но при этом необычайно эффективным методом управления технологическим процессом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Автоматизированное проектирование и производство в машиностроении/ Ю.М. Соломенцев, В.Г. Митрофанов, А.Ф. Прохоров и др.; Под общ. ред. Ю.М. Соломенцева, В Г. Митрофанова . -М.: Машиностроение, 1986. - 256 с.
2. *Корытин АМ.* Автоматизация типовых технологических процессов и установок: Учеб, для вузов/ А.М. Корытин, Н.К. Радимов, Н.К Шапарев. -2-е изд., перераб. и доп. -М.: Энергоатомиздат, 1988. -432 с.
3. *Вороничев Н.М.* Автоматические линии из агрегатных станков/ Н.М. Вороничев, В.Б. Генин, Э.Э. Тартаковский. -М.: Машиностроение, 1971.-552 с.

4. *Алексеенко А.В.* Сбор и переработка металлической стружки. -М.: Машиностроение, 1980. - 120 с.
5. *Владзиевский А.П.* Основы автоматизации производства в машиностроении: Учеб, для техникумов/ А.П. Владзиевский, П. А.Белоусов. -2-е изд., перераб. и доп. -М.: Высш. шк., 1974. -352 с.
6. *Камышный Н.И.* Автоматизация загрузки станков. -М.: Машиностроение, 1977. -288 с.
7. *Карлащук В.И.* Электронная лаборатория на IBM PC. Программа Electronics Workbench.-2-е изд., доп. и перераб.-М.: СОЛОН-Р, 2001 -726 с.
8. *Кулаков В.А.* Программирование на аппаратном уровне. -СПб.: Питер-Пресс, 2001. - 496 с.
9. *Лебедев Л.В.* Начала технологического проектирования: Учеб.
10. Монтаж, контроль и испытание трубопроводных коммуникаций гидрогазовых систем ЛА/ В.М. Сапожников, Ю.Л. Иванов, К.А. Макаров и др. -М.: Машиностроение, 1996. -160 с

Пьянков Павел Алексеевич, студент (филиал) ДГТУ в г. Таганроге, +79081736544, gmail: pankovpavel363@gmail.com.

Pyankov Pavel Alekseevich, student (branch) of DSTU in Taganrog, +79081736544, gmail: pankovpavel363@gmail.com.

УДК 62-523.3

Дони Владлен Олегович

АВТОНОМНЫЕ МОНОБЛОЧНЫЕ ЭЛЕКТРОГИДРОСТАТИЧЕСКИЕ ПРИВОДЫ КАК ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МОДУЛИ ПОЛНОСТЬЮ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Предлагаются автономные моноблочные электрогидростатические приводы для силовых систем полностью электрифицированных робототехнических комплексов в качестве функциональной альтернативы традиционным электромеханическим приводам, обладающим существенным количеством известных недостатков. Определены, наиболее энергоэффективные способы управления – насосное и частотное. Проведен сравнительный анализ данных видов управления. Первоочередное внимание

уделялось регулировочным характеристикам и энергетической эффективности. Разработаны математические модели и установлены преимущества частотного управления над насосным.

АМЭГП, ПЭО, частотное регулирование, насосное регулирование, математическая модель контура энергетики, регулировочные характеристики.

Doni Vladlen Olegovich

AUTONOMOUS MONOBLOCK ELECTROHYDROSTATIC ACTUATORS AS EXECUTIVE MODULES OF FULLY ELECTRICIZED ROBOTIC COMPLEXES

Autonomous monoblock electrohydrostatic actuators for power systems of fully electrified robotic systems are proposed as a functional alternative to traditional electromechanical actuators, which have a significant number of known drawbacks. The most energy efficient control methods - pumping and frequency control - have been determined. A comparative analysis of these types of management has been carried out. Priority was given to regulation performance and energy efficiency. Mathematical models have been developed and the advantages of frequency control over pumping have been established.

AMEHD, FEF, frequency control, pump control, mathematical model of the power circuit, control characteristics.

Введение

Последние несколько десятков лет в мире активно проявляется тенденция создания технических объектов (ТО), основанная на концепции полностью электрифицированного объекта (ПЭО), подразумевающая создание ТО, в структуре которого имеется единая электрическая система, обеспечивающая все энергетические, управляющие и иные функции объекта [1].

Перспективным направлением развития ПЭО является использование в качестве исполнительных модулей автономных моноблочных электрогидростатических приводов (АМЭГП) [2]. В состав контура энергетики (КЭ) входит насос, гидродвигатель, комплект гидроаппаратуры с энергонакопителями, в ряде случаев – гидробак. АМЭГП имеет небольшие массогабаритные показатели, широкие регулировочные возможности, возможность накапливать энергию от электродвигателя (ЭД) и гидродвигателя (при отрицательных нагрузках). Объединение всех

силовых частей в единый моноблок позволяет практически полностью исключить обслуживание АМЭГП на протяжении всего периода эксплуатации при одновременном повышении надежности, живучести и энергоэффективности.

Наибольший интерес представляет исследование наиболее экономичных способов управления, которые в АМЭГП представлены насосным (АМЭГП-НУ) и частотным (АМЭГП-ЧУ), являющимся относительно новым и пока не получившем широкого применения в силовых гидроприводных системах. Это связано с затруднительностью сравнения АМЭГП-ЧУ с АМЭГП-НУ по совокупности технико-эксплуатационных и экономических свойств, недостаточной изученности регулировочных, энергетических, динамических возможностей таких приводов и их стоимостных показателей.

В рамках данной работы проводится сравнительный анализ АМЭГП-НУ и АМЭГП-ЧУ. Первоочередное внимание уделяется регулировочным характеристикам и энергетической эффективности АМЭГП. С этой целью сформированы математические модели АМЭГП с детализированным описанием составляющих потерь энергии и процессов регулирования. С использованием разработанных моделей выполнен расчёт составляющих потерь, КПД, показателей регулирования и построены графики соответствующих зависимостей.

Обоснование выбора конкурсных способов регулирования

Регулирование АМЭГП может осуществляться за счет [3, 4, 5]: изменения гидравлического сопротивления (дроссельное управление); изменения рабочего объема насоса (насосное управление); изменения рабочего объема гидромотора (моторное управление); изменения частоты вращения вала ЭД (частотное управление); изменения передаточного значения механического вариатора, соединяющего электродвигатель и насос или гидромотор и исполнительное устройство (вариаторное управление);

Современная тенденция развития силовых приводов и ТО в целом, придает важное значение повышению экономичности и адаптивности привода к меняющимся режимам работы [6, 7]. Основываясь на этом, из рассмотрения исключаются следующие способы управления: дроссельное управление, позволяющее регулировать только уже произведенную энергию приводным ЭД в сторону уменьшения; моторное управление, позволяющее лишь перераспределять составляющие энергопотока в

сторону повышенных тяговых или скоростных свойств привода, без возможности изменения потребляемой энергии [5]; вариаторное управление, повышающее громоздкость привода и увеличивающее функциональную протяженность силовой цепи передачи энергетического сигнала;

Наиболее экономичными и адаптивными выбраны насосное и частотное управление дающие возможность менять уровень и знак потока гидравлической энергии АМЭГП, обеспечивающие старт-стопные режимы работы без дополнительных агрегатов. При этом, АМЭГП-ЧУ обладает уникальной возможностью рекуперации энергии через ЭД, работающий в режиме электрогенератора, в электросеть ТО [8].

Моделирование контура энергетики

В моделировании использовалась аксиально-поршневая гидромашина с наклонным блоком цилиндров и двойным несиловым карданом [9].

Основные принятые допущения: исследование производится только для режима движения с препятствующей нагрузкой; рассматривается установившееся движение системы; КЭ укомплектован одним насосом и одним нерегулируемым гидромотором; протяженность гидролиний между насосом и мотором считается пренебрежимо малой.

КЭ нагружен внешним постоянным моментом $M_{нагр}$ и внешним моментом сил вязкого трения с коэффициентом $D_{нагр}$, ограниченными давлением настройки предохранительных клапанов контура.

Вводятся относительные безразмерные параметры регулирования:

$$\overline{e_н} = \frac{e_н}{e_н^{max}}, \overline{\omega_н} = \frac{\omega_н}{\omega_н^{max}},$$

где $\overline{e_н}$ – относительный безразмерный параметр насосного регулирования; $e_н$ – текущий параметр насосного регулирования; $e_н^{max}$ – максимальный параметр насосного регулирования; $\overline{\omega_н}$ – относительный безразмерный параметр частотного регулирования; $\omega_н$ – текущая угловая скорость вала насоса, $\omega_н^{max}$ – максимальная угловая скорость вала насоса.

Основные используемые уравнения: уравнение баланса расходов; уравнение равновесия вала гидромотора; уравнение входного момента на валу насоса; уравнение выходного момента гидромотора [10].

$$
\begin{cases}
\dfrac{V_{0н}\cdot e_н\cdot\omega_н\cdot\omega_н^{max}}{2\pi}-k_{оп}^{н}\cdot p-\dfrac{V_{0н}\cdot\omega_н\cdot\omega_н^{max}\cdot p(e_н+k_v^{н})}{2\pi\cdot E_ж}=\dfrac{V_{0м}\cdot\omega_м}{2\pi}+\\
\qquad +k_{оп}^{м}\cdot p+\dfrac{V_{0м}\cdot\omega_м\cdot p(1+k_v^{м})}{2\pi\cdot E_ж};\\
\dfrac{V_{0м}}{2\pi}p=\dfrac{k_{f.0}^{м}}{1+k_{f.\omega}^{м}\cdot\omega_м}(p_{с.т}^{м}+p)\dfrac{V_{0м}}{2\pi}+(k_{1.вт}^{м}+k_{2.вт}^{м})\dfrac{V_{0м}}{2\pi}\cdot\omega_м+D_{нагр}\cdot\omega_м+M_{нагр};\\
M_н^{вх}-\dfrac{V_{0н}}{2\pi}p+\dfrac{k_{f.0}^{н}}{1+k_{f.\omega}^{н}\cdot\overline{\omega_н}\cdot\omega_н^{max}}(p_{с.т}^{н}+p)\dfrac{V_{0н}}{2\pi}+\\
\qquad +(k_{1.вт}^{н}+k_{2.вт}^{н}\cdot\overline{e_н})\dfrac{V_{0н}}{2\pi}\cdot\overline{\omega_н}\cdot\omega_н^{max}+M_{с.п};\\
M_м-\dfrac{V_{0м}}{2\pi}p-\left(\dfrac{k_{f.0}^{м}}{1+k_{f.\omega}^{м}\cdot\omega_м}\right)(p_{с.т}^{м}+p)\dfrac{V_{0м}}{2\pi}-(k_{1.вт}^{м}+k_{2.вт}^{м})\cdot\omega_м,
\end{cases}
$$

где $V_{0н}(V_{0м})$ – объемная постоянная насоса (мотора); $k_{оп}^{н}(k_{оп}^{м})$ – коэффициент объемных потерь насоса (мотора); p – давление в КЭ; $k_v^{н}(k_v^{м})$ – коэффициент отношения невытесняемого и рабочего объемов насоса (мотора); $E_ж$ – модуль упругости жидкости; $\omega_м$ – угловая скорость вала мотора; $k_{f.0}^{н}(k_{f.0}^{м}), k_{f.\omega}^{н}(k_{f.\omega}^{м})$ – коэффициенты сил сухого трения покоя и движения насоса (мотора); $p_{с.т}^{н}(p_{с.т}^{м})$ – давление, эквивалентное действию всех начальных сил сухого трения в насосе (моторе); $k_{1.вт}^{н}(k_{1.вт}^{м}), k_{2.вт}^{н}(k_{2.вт}^{м})$ – коэффициенты сил вязкого трения соответственно зависящий и не зависящий от рабочего объема насоса (мотора); $M_н^{вх}$ – входной момент на валу насоса; $M_{с.п}$ – момент, отбираемый на работу системы подпитки; $M_м$ – выходной момент на валу мотора.

На рис. 1, изображены графики КПД привода в пространстве значений $\overline{e_н}(\overline{\omega_н})$, $M_{нагр}$, $D_{нагр}$. В качестве приемлемого КПД принимается значение 0,75. Работа привода при значениях КПД ниже приемлемого считается неэкономичной и не рассматривается.

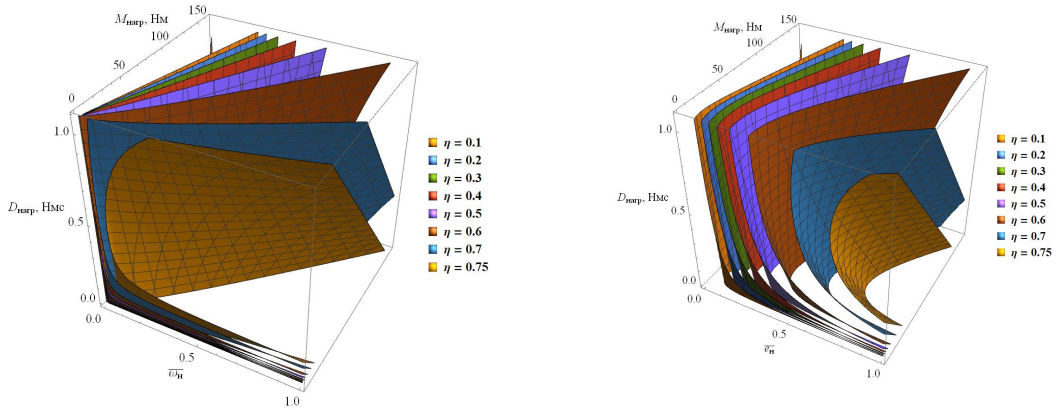


Рис. 1. Графики КПД в пространстве значений $\overline{e_н}$ $(\overline{\omega_н})$, $M_{нагр}$, $D_{нагр}$ для АМЭГП-НУ (слева) и АМЭГП-ЧУ (справа)

Выводы

Сформированы математические модели АМЭГП-ЧУ и АМЭГП-НУ с детализированным описанием составляющих потерь энергии и процессов регулирования, на основе которых был дан сравнительный анализ регулировочных и энергетических показателей конкурентных аналогов АМЭГП. Согласно результатам, АМЭГП-ЧУ обладает повышенным диапазоном регулирования и лучшими энергетическими показателями, что связано с высокими механогидравлическими потерями в АМЭГП-НУ, из-за необходимости работы насоса при максимальных скоростях на всем диапазоне регулирования, что вызывает дополнительные потери на нагрев и повышенные потери вязкого трения. Помимо этого, в АМЭГП-ЧУ отсутствуют затраты энергии на работу системы подпитки, благодаря возможности замены подпиточного насоса малоразмерным гидроаккумулятором. Учитывая не менее важные преимущества АМЭГП-ЧУ: возможность рекуперации энергии через ЭД, в электросеть ТО, а также отсутствие необходимости перекомпоновки гидравлического контура, можно судить о приоритетности использования АМЭГП-ЧУ над АМЭГП-НУ в вопросе установления перспективных направлений развития ПЭО. Сформулированные выводы позволяют оптимизировать машинно-аппаратную базу КЭ данных исполнительных модулей и решать задачи энергонакопления, рекуперации и динамики привода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Редько П.Г. и др.* Концепция развития систем рулевых приводов перспективных самолетов // Новые рубежи авиационной науки: Сб. тезисов IX Междунар. науч.-техн.симпозиума. М., 2007. С. 90.
2. *Зуев Ю. Ю., Зуева Е. Ю.* Улучшение динамики объемного гидропривода с частотным управлением с помощью дополнительной обратной связи // Вестник МЭИ. 2016 . №3.
3. *Зуев Ю.Ю.* Гидропневмопривод мехатронных и робототехнических устройств. Часть первая. Машинно-аппаратная база, принципиальные схемы и расчет параметров гидропневмоприводов в силовых системах цикловой автоматики мехатронных и робототехнических устройств: учеб. пособие. — Издательство МЭИ, 2019.
4. *Башта Т.М., Зайченко И.З., Хаймович Е.М.* Объёмные гидравлические приводы – М.: Машиностроение, 1968.

5. Исследование эффективности схемотехнических исполнений силовой части механизмов управления гидроприводов с моторным и насос-моторным регулированием / Голубев В.И., Зуев Ю.Ю., Драгомиров Д.В. Отчёт по НИР 227090 МЭИ (ТУ), 2011 г.
6. *Свешников В.К.* Перспективы развития гидропривода // Привод и управление, №0, 2000. С.5 – 12.
7. *Голубев В.И.* Пути создания конкурентоспособных гидроприводов. // Приводная техника №3-4, 1999.С.2 – 6.
8. *Геращенко А.Н., Самсонович С.Л.* Пневматические, гидравлические и электрические приводы летательных аппаратов на основе волновых исполнительных механизмов: Учеб. пособие; Под ред. А.М. Матвеенко. – М.: Машиностроение, 2006.
9. Аксиально-поршневой регулируемый гидропривод / Прокофьев В.Н. и др. Под ред. В.Н. Прокофьева. – М.: Машиностроение, 1969.
10. *Петров В.А.* Гидрообъемные трансмиссии самоходных машин – М.: Машиностроение, 1988.

Дони Владлен Олегович, студен национального исследовательского университета "МЭИ", Молдова, город Хынчешты, улица Кишиневская 10, MD-3401, телефон: +7 (977) 994-28-89, email: donivladlen@mail.ru.

Doni Vladlen Olegovich, student of the National Research University "IMPEI", Moldova, Hincesti city, Chisinau street 10, MD-3401, phone: +7 (977) 994-28-89, email: donivladlen@mail.ru.

УДК 658.512.2

Калашникова Татьяна Григорьевна

ПРОЕКТНЫЙ ИНТЕНСИВ: КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ДИЗАЙН МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО САМОЛЕТА-АМФИБИИ

Описывается организация проектной деятельности студентов направления «Технология художественной обработки материалов», профиль «Промышленный дизайн» на примере проекта «Концептуальный дизайн многофункционального самолета амфибии». Особое внимание уделено аспектам дистанционного и онлайн-сопровождения деятельности проектных групп, применения онлайн-курсов и технологических решений для организации проектной работы в группе.

Проектная деятельность, промышленный дизайн, 3D-моделирование, цифровые сервисы, командная работа, тьютор, образовательные запросы, онлайн-курсы, микрообучение.

Kalashnikova Tatiana Grigorevna

PROJECT ACTIVITIES: CONCEPTUAL DESIGN OF A MULTIFUNCTIONAL AMPHIBIAN AIRCRAFT

The article describes the organization of project activities of students of the direction Technology of artistic processing of materials, profile Industrial design on the example of the project "Conceptual design of a multifunctional amphibious aircraft". Particular attention is paid to the aspects of remote and online support for the activities of project groups, the use of online courses and technological solutions for organizing project work in a group.

Project activities, industrial design, 3D modeling, digital services, teamwork, tutor, educational inquiries, online courses, microlearning.

Введение

В образовательной программе Южного федерального университета по направлению «Технология художественной обработки материалов», профиль «Промышленный дизайн» модуль проектной деятельности предусмотрен учебным планом на 1 и 2 курсе. Проектная деятельность студентов является важной частью образовательной программы, она способствует формированию hard- и soft-skills в деятельностном формате. Один из вариантов реализации такой работы студентов – проектно-образовательный интенсив SfeduNet по модели и в сотрудничестве с «Университетом 20.35». В одном проекте объединяются участники разных направлений подготовки, осуществляется межпредметная реализация проектной деятельности. Кейсы для интенсива формируются реальными заказчиками, работодателями. Проектная деятельность реализуется под руководством наставников, с привлечением экспертов, полученные продукты представляются экспертной комиссии из числа заказчиков. Программа проектно-образовательного интенсива предусматривает лекции, мастер-классы, тренинги, практикумы, встречи с работодателями. Для участников интенсив – это возможность проявить себя, приобрести опыт работы в одной команде со студентами разных факультетов, получить поддержку наставников, тьюторов, получить навыки работы в цифровой среде.

Основная часть

Кафедрой инженерной графики и компьютерного дизайна ИРТСУ ЮФУ на проектный интенсив SfeduNet были предложены несколько исследовательских кейсов в области промышленного дизайна [1, 2]. Кейс «Концептуальный дизайн многофункционального самолета амфибии» был выбран участниками, интересующимися вопросами 3D-моделирования. В команду вошли участники из разных подразделений (Институт радиотехнических систем и управления, Институт компьютерных технологий и информационной безопасности, Специализированный учебно-научный центр) разного возраста (студенты 1, 2, 3 курса и школьники 7 класса), с дислокацией в разных городах (Таганрог, Ростов-на-Дону, кто-то не смог приехать из дома из-за пандемии коронавируса) – формат онлайн в этом случае становится единственно возможным, участникам пришлось знакомиться и взаимодействовать с помощью онлайн-сервисов. С командой работали наставник и эксперты в области промышленного дизайна – преподаватели кафедры ИГиКД ИРТСУ ЮФУ: д.т.н., проф. Аббасов Ифтихар Балакишиевич, к.т.н, доцент Калашникова Татьяна Григорьевна, старший преподаватель, практикующий дизайнер Орехов Вячеслав Валентинович. Они помогали участникам организовать работу по теме проекта, направляли их деятельность, отвечали на вопросы по профилю проекта.

На начальной стадии работы участниками был разработан документ с концепцией проекта, включающий разделы: основная информация по проекту, содержание проекта – обоснование инициации (зачем необходим проект? какую проблему решает?), основные стейкхолдеры, цель проекта, задачи, продукт (что конкретно получим по окончанию проекта?), контрольные события и даты, ресурсы, образовательные (компетентностные) дефициты, риски и мероприятия по управлению рисками, дополнительные требования. Были определены этапы работы по дизайн-исследованию: Исторические аспекты, Конъюнктура, Разработка концепции (идея), 3D-моделирование. Распределялись задачи каждого этапа между участниками команды. На встречах ребята выступали с докладами по своим разделам, таким образом, каждый выполнял свою часть работы, и вся команда знакомилась с результатами.

Командой при поддержке наставников и экспертов был проведен анализ ситуации по проекту: исторические предпосылки (опыт наработок в отечественной и мировой гидроавиации), для чего может использоваться

гидроавиации в настоящее время, какие технологии существуют на данный момент и развиваются (3D-моделирование, аддитивные технологии, производственные технологии в области самолетостроения), тенденции в авиастроении, определили возможных стейкхолдеров, обсудили препятствия в эксплуатации и ограничения производственных технологий, материалов, конструктивные ограничения (легкий ЛА + больше груза + дальность) [3, 4]. В процессе работы над проектом студенты изучали материалы для решения поставленных задач дизайна, конструирования и 3D-моделирования. Разбирали особенности работы с конструкторскими документами [5], нюансы бионического дизайна, особенности формообразования [6, 7].

Для организации командной работы над проектом онлайн-сервисы выбирались с учетом реализуемых задач [8] и требования УНТИ 20.35 для синхронизации с системами анализа цифровых следов деятельности участников. Доска для командной работы Trello является удобным инструментом для организации командной работы. Все задачи в проекте формализуются в виде карточек с указанием исполнителей и дат реализации, что позволяет оперативно отслеживать прогресс в деятельности участников. Результаты прикрепляются участниками к карточке в виде цифрового следа. Наставник команды верифицирует цифровые следы и осуществляет разметку по модели компетентностного профиля, уровню (владение конкретными инструментами, концептуальное понимание данной области, способность к результативной и продуктивной деятельности в рамках данной области). На основании этих данных формируется цифровой профиль каждого участника. Чтобы индивидуальные результаты исследовательской и проектной работы были доступны всем членам команды, все документы собираются в папку с общим доступом на сервисе One Drive. Чтобы собрать и наглядно представить все материалы по проекту команда по предложению наставника решила использовать онлайн-доску Miro (рис. 1).

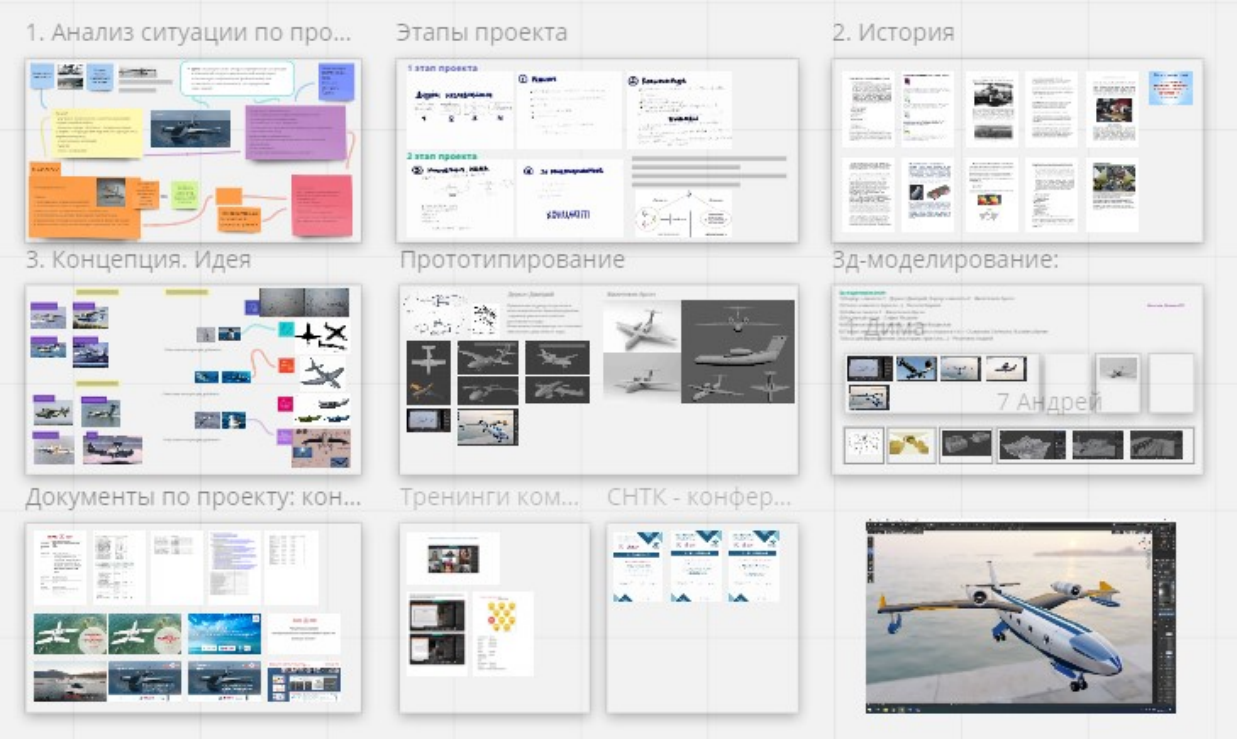


Рис. 1. Онлайн-доска Miro с материалами по проекту

Анализируя образовательные запросы в проектной деятельности команды, можно выделить две категории запросов: 1) знания, необходимые сейчас – для решения в короткий срок конкретной задачи проекта, 2) долгосрочные запросы для саморазвития студента. Наставник (в роли тьютора) помогает участнику выстраивать образовательную траекторию с учетом имеющихся знаний и навыков, желаний в плане саморазвития и запросов, возникающих при решении конкретных задач по проекту [9]. Также на проекте при получении новых знаний, в общении с заказчиком и наставником может прийти новое понимание реализации проекта, меняться/корректироваться требования к проекту или используемые технологии решения задач проекта. Все это может повлечь за собой необходимость новых компетенций участника, корректировку целей и образовательных запросов. От своевременно полученных необходимых новых знаний и навыков зависит не только успеваемость одного студента, а работа всей команды над проектом (7–10 человек), т.к. каждый выполняет свои определенные в технологической цепочке задачи. Обсуждение общих поставленных перед командой задач и запросов, с последующим индивидуальным уточнением уровня знаний у каждого участника способствует более эффективному подбору образовательных мероприятий и материалов –вводный курс, продвинутый уровень, мастер-

класс или консультация со специалистом. В качестве образовательной среды и учебных материалов выбирались онлайн-курсы [10–13]. Это позволило решить проблемы, связанные с логистикой и индивидуальными временными возможностями участников, т.к. доступ к материалам студенты получали в удобное для них время.

Выводы

Участниками команды были разработаны концепция дизайна многофункционального самолета-амфибии, выполнены эскизы на основе бионического дизайна, разработаны 3D-модели корпуса самолета-амфибии, одного из вариантов салона самолета, а также для визуализации подачи модели самолета-амфибии разработаны 3D-модели бухты базирования гидроавиации, ангара. Слаженная работа организаторов интенсива и команды участников создали пространство для прокачки всех категорий навыков: soft skills для успешного взаимодействия с командой, организаторами, заказчиками, прокачка hard skills для решения задач по реализации проектов и разработке MVP, self skills способствовали формированию мотивации к саморазвитию, самоанализу и самоопределению, что позволяет делать осознанный выбор и отвечать за результаты своей деятельности. Конструктивное взаимодействие наставников и экспертов со студентами помогает участникам определять свои зоны роста, формулировать и реализовать образовательные запросы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Аббасов И.Б., Орехов В.В.* Концептуальное моделирование самолетов-амфибий. Глава 2 в книге "Компьютерное моделирование в авиакосмической промышленности"/ под ред. И.Б. Аббасова. – М: ДМК Пресс, 2020. – С. 35–166.
2. *Ли В.Г.* Технология геометрического моделирования динамических объектов и процессов виртуальной среды для авиационно-космического тренажеростроения. Глава 6 в книге "Компьютерное моделирование в авиакосмической промышленности"/ под ред. И.Б. Аббасова. – М: ДМК Пресс, 2020. – С. 247–295.
3. *Аббасов И.Б., Орехов В.В.* Дизайн интерьера салона экраноплана//Дизайн. Материалы. Технология. 2019. № 1 (53). – С. 15-17.
4. *Орехов В.В.* Концептуальный дизайн многофункционального самолета-амфибии. Глава 4 в книге "Компьютерное моделирование в авиакосмической промышленности"/ под ред. И.Б. Аббасова. – М: ДМК Пресс, 2020. – С. 193–211.

5. *Гривцов В. В.* Инженерная графика. Чтение и деталирование сборочных чертежей/ В.В. Гривцов. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2018. – 118 с.
6. *Жданов Н.В.* Промышленный дизайн: бионика/ Н.В. Жданов, В.В. Павлюк, А.В. Скворцов. – М.: Издательство Юрайт, 2020. – 121 с.
7. Бионика. Формообразование: учебное пособие для вузов/ Н.В. Жданов, А.В. Уваров, М.А. Червонная, И.А. Чернийчук. – М.: Издательство Юрайт, 2020. – 217 с.
8. *Калашникова Т.Г.* Онлайн-технологии в инженерной подготовке// Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении «КомТех-2020»: материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием: в 2 т. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство ЮФУ, 2020. – С. 288–295.
9. Тьюторское сопровождение проектной деятельности студентов: теоретико-методологические основы и практика реализации: монография [Текст]/ И. А. Бакаева, М. Г. Бондарев, Л. В. Горюнова и др. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2020. – 224 с.
10. Аддитивные технологии (3D-печать)// https://www.coursera.org/learn/additivnye-tekhnologii (дата обращения 28.05.2021)
11. Трехмерное моделирование// https://openedu.ru/course/ITMOUniversity/3DMOD/ (дата обращения 28.05.2021)
12. 3D-моделирование в Blender и 3D-печать: введение// https://stepik.org/course/52711/promo (дата обращения 28.05.2021)
13. Промышленный дизайн в разработке и продвижении технологических продуктов// https://edunano.ru/courses/idesign/ (дата обращения 28.05.2021)

Калашникова Татьяна Григорьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной графики и компьютерного дизайна Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, г. Таганрог, ул. Чехова, 22, корп. «Б», 347900, телефон: +7 (8634) 37-17-94, e-mail: kalashnikovatg@sfedu.ru.

Kalashnikova Tatiana Grigorevna, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), associate professor, Department of engineering graphics and computer design, Institute of Radio Engineering Systems and Control, Southern Federal University, Russia, Tagan-

rog, 22 Chekhov street, 22, building «B», 347900, phone: +7 (8634) 37-17-94, e-mail: kalashnikovatg@sfedu.ru.

УДК 004.928

Лунева Елена Викторовна, Гривцов Владимир Владиславович

РАЗРАБОТКА АНИМАЦИОННОГО КЛИПА «13 MOONS»

Данная работа представляет собой разработку анимационного клипа для музыкальной композиции «13 moons» группы «Rabitza» по теме связанной с древней цивилизацией народов майя. Для анимационного клипа был придуман определенный сюжет, разработаны персонажи и создан смысловой видеоряд. Рассмотрены основные этапы изготовления составляющих частей клипа.

Клип, анимация, орнамент, персонаж, сцена, цикл.

Luneva Elena Viktorovna, Grivtsov Vladimir Vladislavovich

DEVELOPMENT OF ANIMATED CLIP «13 MOONS»

This work is the development of an animated video for the musical composition "13 moons" of the group "Rabitza" on the theme of the Mayan peoples associated with the ancient civilization. For the animated clip, a certain plot was invented, characters were developed and a semantic video order was created. The main stages of making component parts of the clip are considered.

Clip, animation, ornament, character, scene, cycle.

Введение

На сегодняшний день музыкальные видеоклипы стали неотъемлемой частью промокампании в продвижении музыкального проекта.

Анимационный видеоклип – это клип, целиком созданный в программах 3D-моделирования. Процесс изготовления анимированного видеоклипа отличается от всех других и вслед за утверждением сценария разрабатываются образы героев клипа и моделируются образцы движения. Затем производится сохранение сцен, и уже готовые сцены монтируются и видеоролик принимает конечный вид.

Основная часть

Музыкальная композиция «13 moons» была написана группой «Rabitza» под впечатлением от древней цивилизации народов майя. 13 лун – это система календарей, которыми пользовались майя [1].

Структура календаря майя поистине оригинальна и значительно отличается от всех других известных календарных систем. В календаре майя в году 13 Лун. Всего 13 Лун содержит 364 дня. Один день не входит ни в одну из Лун и называется Днем вне времени. Новый год по календарю майя наступает 26 июля [2].

Каждая из тринадцати Лун имеет своё особое предназначение, которое представляет животное-тотем в соответствии с астрологией майя, которое будет символизировать календарь, что было положено в концепцию клипа.

На основании данных фактов возник сценарий клипа - показать взаимосвязь человеческой истории от древнейших цивилизаций до наших дней с календарем 13 лун через последовательную трансформацию животных-тотемов. Каждое из тринадцати животных будет путешествовать по определенной исторической эпохе. В конце клипа последнее животное превращается в первое, тем самым символизируя бесконечную цикличность календаря и развитие человеческих цивилизаций.

Смену цивилизаций было решено показать с помощью, так называемой движущейся ленты времени, на которой расположены наиболее узнаваемые архитектурные сооружения и орнаменты, характеризующие определенную эпоху.

Для реализации проекта было выделено 15 наиболее ярких исторических цивилизаций-эпох: 1. Первобытность, 2. Мезоамерика, 5. Египет, 4. Вавилон, 5. Индия, 6. Арабская цивилизация, 7. Азия, 8. Древняя. Греция, 9. Древний Рим, 10. Средневековье, 11. Возрождение, 12. Новое время, 13. Модерн, 14. Модернизм, 15. Наше время.

Затем предстояло выделить для каждой эпохи, наиболее узнаваемые архитектурные памятники, а также различные орнаменты и декор (рис. 1.) [3,4].

Рис. 1. Пример архитектурного и декоративного материала

Для начала необходимо определиться со стилистикой прорисовки объектов, персонажей, и определена структура будущих сцен клипа. Было решено, что основной фон, по которому будут двигаться звери, будет состоять из трех планов. Первый план будет содержать в себе стилевые орнаменты и декор скульптуры определенной эпохи, второй план это земля, по которой будут двигаться персонажи, а третий план - архитектурные сооружения. Каждый из трех планов должен будет двигаться с разной скоростью, тем самым создавая иллюзию перспективы движения [5].

Определившись с концепцией изображения основных фонов, были созданы последовательно 16 сцен (рис. 2).

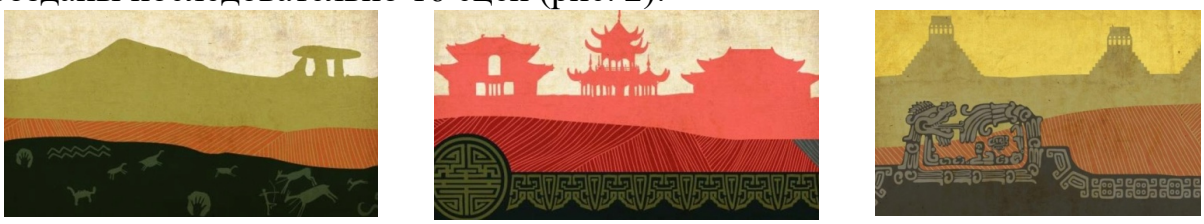


Рис. 2. Варианты изображения фонов

Для каждой исторической эпохи была подобрана своя цветовая гамма.

В соответствии с сюжетом было создано 13 персонажей, символизирующих календарь майя (рис. 3).

Рис. 3. Персонажи клипа

Для реализации проекта использовалась программа Macromedia Flash, позволяющая реализацию двухмерной компьютерной анимации [6,7].

Формат изображения был выбран 550x309 pic, что соответствует широкому экрану 16:9(HDTV). В дальнейшем готовая флеш-анимация будет конвертирована в видео необходимого размера.

Прежде чем приступить к рисованию графических объектов, для наглядности был создан так называемый схематичный Х-лист (хронометражный лист), который служит в традиционной анимации визуальным выражением времени (рис. 4). На данном Х-листе с учетом длительности и особенностей музыкального трека клип длительностью 3 минуты 19 секунд разделен на 16 сцен.

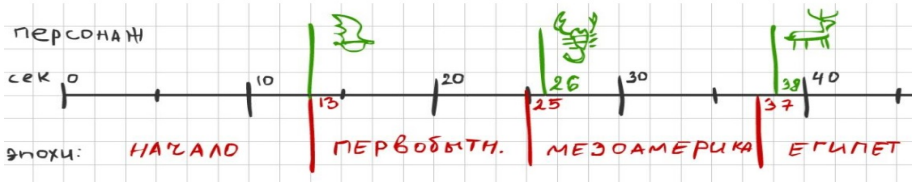


Рис. 4. Элемент Х-листа

На первом этапе работы на бумаге были созданы эскизы персонажей рис. 3 и фонов (рис. 2), которые впоследствии с помощью сканера были оцифрованы. Создание всех графических составляющих клипа происходило непосредственно во Flash с использованием графического планшета [8].

После того как все части будущего клипа были созданы, следующим этапом стал процесс анимации. Анимацию решено было делать с частотой 25 кадров в секунду.

При анимировании фонов была использована автоматическая анимация движения (motion tween). Достаточно было указать на временной шкале ключевые кадры начала и конца движения фона по прямой траектории.

При работе с анимацией была использована технология калькирования (onion skin), позволяющая видеть сквозь несколько промежуточных кадров (рис. 5)

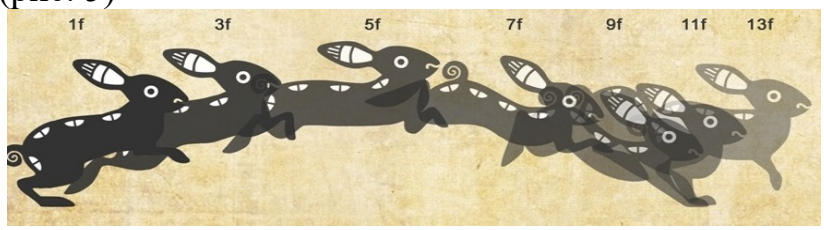


Рис. 5. Анимация персонажа

Поскольку анимация персонажей в данном клипе представляет бег/полет/ползание, то обязательным условием создания анимации персонажа будет создание цикла движения анимации. При анимировании персонажей была использована как автоматическая анимация, так и покадровая.

Каждый цикл созданных анимацией персонажей был в дальнейшем преобразован в movie clip.

Следующий этап анимации трансформация одного животного в другое (рис. 6). В данном процессе использовалась автоматическая анимация формы (shape tween) с использованием метки подсказок (shape hits). Метки подсказки расставляются попарно в начальном и конечном кадрах диапазона анимации и позволяют управлять ходом выполнения анимации формы [9].

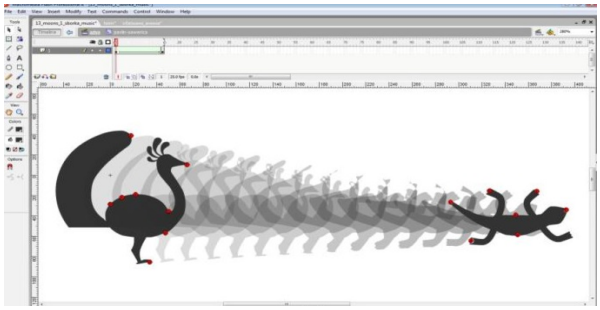


Рис. 6. Трансформация формы с применением меток подсказки

Каждому персонажу на шкале времени указано нужное количество кадров в сценах клипа для воспроизведения анимации. Затем на основе Х-листа весь материал был соединен и совмещен с аудиотрэком.

Рис. 7. Готовый клип в формате swf

Для придания художественности поверх всех сцен была наложена фактура бумаги, которой был присвоен уровень смешения Multiply. Получился готовый анимационный клип в формате swf (рис. 7) [10].

Выводы

В ходе выполнения представленной работы был создан анимационный видеоклип «13 moons» для композиции музыкальной группы « Rabitza». Для клипа был придуман сценарий на тему календаря майя, разработаны персонажи и создан визуальный ряд анимационного проекта. Разработанный видеоклип может демонстрироваться на телевидении, в интернете, так и сопровождать исполнителя во время концертов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Аргуэльес Х.* Фактор Майя. – М.: София, 1998.- 252с.
2. *Аргуэльес Х., Аргуэльес Л.* – Тринадцать лун в движении. – СПб.: Геликон Плюс, 2001. – 216с.
3. *Мейсон Э.* Древние цивилизации. – М.: ОНИКС 21 век, 2001. – 96с.
4. *Расинэ О.* Орнамент всех времен и стилей. – М.: Арт-Родник, 2011. -512с.
5. *Аббасов И.Б., Гривцов В.В., Маренечева Т.М.* Фирменный стиль студии дизайна «Home Planner» В сборнике: Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении (КомТех-2020). Материалы Всероссийской научно-технической конференции. 2020. С. 240-245.
6. *Киркпатрик Г., Пити К.* Мультипликация во Flash. – М.: НТ Пресс, 2006. – 336с.
7. Альберт Д. И., Альберт Е. Э. Macromedia Flash Professional 8. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 600с.
8. *Шишканов Д. В., Смолянинова О. Г.* Технология создания учебных мультимедиа-продуктов в инструментальной среде Macromedia Flash MX. – Красноярск.: Краснояр. гос. ун-т., 2004. – 209с.
9. *Саймон М.* Как создать собственный мультфильм. Анимация двухмерных персонажей. – М.: НТ Пресс, 2006. – 336с.
10. *Хитрук Ф.* Профессия – аниматор, (Т. 1,2). – М.: Гаятри, 2007. – 304с.

Лунева Елена Викторовна, студентка, кафедра инженерной графики и компьютерного дизайна, Института радиотехнических систем Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Чехова 22, 347928, телефон: +7 (8634) 37-17-94, email: ikg@sfedu.ru.

Гривцов Владимир Владиславович, кандидат технических наук, доцент Института радиотехнических систем Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Чехова 22, 347928, телефон: +7 (8634) 37-17-94, email: gvv@sfedu.ru.

Luneva Elena Viktorovna, student, Department of Engineering Graphics and Computer Design, Institute of Radio Engineering Systems, Southern Federal University, Russia, Taganrog, Chekhov Street 22, 347928, phone: +7 (8634) 37-17-94, email: ikg@sfedu.ru
Grivtsov Vladimir Vladislavovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), associate professor of the Institute of Radio Engineering System of the Southern Federal University, 347928, Russia, Taganrog, 22 Chekhov Street, phone: +7 (8634) 37-17-94, email: gvv@sfedu.ru.

Научное издание

Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении «КомТех-2021»

В двух томах

Том 2

Отв. за выпуск Клевцов С. И.

Оригинал-макет подготовила Замай Н. А.