



КОМПЬЮТЕРНЫЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ, ИНЖЕНЕРИИ И УПРАВЛЕНИИ

Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием имени профессора О.Н. Пьявченко «КомТех-2019»

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГАННОВЕРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ЛЕЙБНИЦА
FRAUNHOFER INSTITUTE FOR ELECTRONIC NANO SYSTEMS
МИНСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНЫЙ
ИНСТИТУТ**

**Компьютерные и информационные
технологии в науке, инженерии и управлении
«КомТех-2019»**

**Материалы Всероссийской научно-технической
конференции с международным участием**

Ростов-на-Дону – Таганрог
Издательство Южного федерального университета
2019

УДК 004.7(06)

ББК 73Я431

К637

Ответственный редактор *С.И. Клевцов*

К637 Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении, «КомТех-2019» : материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием имени профессора О.Н. Пьявченко ; отв. ред. С.И. Клевцов ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южногo федерального университета, 2019. - 495 с.

ISBN 978-5-9275-3306-0

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. Представлен достаточно широкий спектр приложений информационных технологий – от алгоритмов поиска оптимума в задачах прокладки маршрутов до разработки программного обеспечения специализированных интегральных схем для обработки сигналов от датчиков физических величин. Рассматриваются применения программной обработки сигналов в робототехнике, радиосвязи, радиолокации, биологии и медицине.

Доклады могут быть интересны научным работникам, преподавателям, инженерам и студентам, специализирующимся в применении компьютерной обработки информации в технике, биологии и социальных системах.

УДК 004.7(06)

ББК 73Я431

ISBN 978-5-9275-3306-0

СОДЕРЖАНИЕ

Пьявченко Т.А., Пьявченко А.О. МЕТОД ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЯХ..	11
Давыденко О.В. О ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДОВ ГЕОСТАТИСТИКИ В МОНИТОРИНГЕ УРБОГЕОСИСТЕМ.....	18
Уварова А.А. О ПРИМЕНЕНИИ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ.....	23
Левонюк С.В., Конева А.В. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ОБРАТИМОГО СЖАТИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ MULTISIM.....	30
Макаров А.М., Постовалов С.С. ВВЕДЕНИЕ В ТЕОРИЮ ОПЕРАТОРОВ, ПОРОЖДАЕМЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫМ ПРЕБРАЗОВАНИЕМ МЕЛЛИНА.....	34
Тимофеев А.Е. РАЗРАБОТКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ВИБРОДИАГНОСТИКИ.....	39
Малыхина А.А., Нагаенко А.В., Скрылёв А.В., Панич Е.А. АЛГОРИТМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ОПТИМАЛЬНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ.....	47
Балыбердин В.А., Белевцев А.М., Белевцев А.А., Бендерский Г.П. ОБ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ДАННЫХ В ИНФОРМАЦИОННОМ ПОЛЕ АСУ НА БАЗЕ ПРЕДЛОЖЕНИЙ МЕЖДУНАРОДНЫХ СТАНДАРТОВ.....	52
Филимонова О.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ ГИС ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ КАДАСТРОВОЙ ОЦЕНКИ ЗЕМЕЛЬ НА ПРИМЕРЕ Г.ТАГАНРОГА.....	61
Фадеева А.Б., Пилипенко А.М. АЛГОРИТМЫ НЕЛИНЕЙНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ЗАДАЧ ОБНАРУЖЕНИЯ И РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ.....	66

Подсвиров В.Н. СИНТЕЗ ВСТРОЕННОГО КОНТЕКСТНО-ДООПРЕДЕЛЯЕМОГО ЯЗЫКА ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ОБУЧАЮЩИХСЯ АГЕНТОВ (ПРЕДСКАЗАНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ РЕСУРСОВ В СФЕРЕ ЖКХ).....	73
Нсуе Хасинто Мба Бийе, Федосов В.П., Кучерявенко С.В. ОБНАРУЖЕНИЕ И ИЗМЕРЕНИЕ КРАТКОВРЕМЕННОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ЧАСТОТЫ ВЫСОКОСТАБИЛЬНЫХ ГАРМОНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ.....	80
Пилипенко А.М., Черноцкая К.Л. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ЧИСЛЕННОГО АНАЛИЗА СИСТЕМЫ СИНТЕЗА ЧАСТОТ ВО ВРЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ.....	86
Малохатко С.В. МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРЕЛОВИДНОГО КАНТИЛЕВЕРА НА ОСНОВЕ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ ДЛЯ МНОГОЧАСТОТНОЙ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ.....	93
Малыхин А.Ю., Карюков Е.В., Свирская С.Н. ОПТИМИЗАЦИЯ СПОСОБОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЬЕЗОКЕРАМИКИ ЦТБС-3 С ЦЕЛЬЮ УЛУЧШЕНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	97
Радченко Г.С., Скрылёв А.В., Малыхин А.Ю. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТИПА СВЯЗНОСТИ ПОРИСТЫХ КОМПО- ЗИТОВ «ПЬЕЗОКЕРАМИКА-ПОРЫ» НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ДИ- ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ.....	103
Синюкин А.С. МОДЕЛИРОВАНИЕ МОДУЛЯ ПИТАНИЯ ПАССИВНЫХ УСТРОЙСТВ РАДИОЧАСТОТНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ.....	107
Радченко Г.С., Скрылёв А.В., Малыхин А.Ю., Панич А.А. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ СВОЙСТВ СЛОЖНЫХ КОМПОЗИТНЫХ СРЕД СО СВЯЗНОСТЬЮ ТИПА «СТАТИСТИЧЕСКАЯ СМЕСЬ».....	113
Цветков Ф.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ПРИЕМНОМ ТРАКТЕ SDR-ТРАНСИВЕРА НА ЯЗЫКЕ LABVIEW.....	120

РЫЖОВ В.П., РЫЖОВ Ю.В. СПЕКТРАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ДВУМЕРНЫХ СИГНАЛОВ (ИЗОБРАЖЕНИЙ) В НЕГАРМОНИЧЕСКИХ БАЗИСАХ.....	127
Данилов И.Г. ОБ ОДНОМ ВАРИАНТЕ СХЕМЫ ДАННЫХ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОБЪЕМНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАФОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ	133
Семенистый В.В., Гамолина И.Э., Дурягина В.В. МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЕРХЗВУКОВОГО ТЕЧЕНИЯ ПО КАНАЛУ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ ANSYS.....	138
Деркачев В.А. ФОРМИРОВАНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СЦЕНЫ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РЛС С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ....	145
Шандыба Н.А., Панченко И.В. ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ НА ОСНОВЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК МЕТАЛЛОВ МЕТОДОМ ФОКУСИРОВАННЫХ ИОННЫХ ПУЧКОВ.....	151
Шатюк В.В. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ СЕРДЕЧНО- СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАФИИ.....	156
Проскуряков А.В. РЕАЛИЗАЦИЯ БЕЗЭТАЛОННОГО СПОСОБА ОБРАБОТКИ МЕДИЦИНСКИХ РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКИХ И ТОМОГРАФИЧЕСКИХ СНИМКОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ.....	164
Проскуряков А.В., Александрова А.С. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ РОБОТОВ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ЦЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕКУРРЕНТНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ.....	169
Проскуряков А.В. ВЕРИФИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ ФРАГМЕНТОВ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПО КОМПЬЮТЕРНО-ТОМОГРАФИЧЕСКИМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ.....	175

Кисель Н.Н., Алпатова А.В., Панычев А.И. АЛГОРИТМ УЧЕТА ТОНКИХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ПРИБЛИЖЕННЫХ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЯ.....	184
Хамед Махьюб, Кисель Н.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МОДИФИЦИРОВАННОЙ МИКРОПОЛОСКОВОЙ АНТЕННЫ.....	190
Шифрин Б.М., Елисеев И.В. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЕДИНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА ПРЕДПРИЯТИЯ С ПОДДЕРЖКОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ ЗАМЕНЫ СЛОЕВ.....	197
Жильникова Ю.Ф., Тютиков В.В. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИФРОВЫХ СЕЛЕКТИВНО- ИНВАРИАНТНЫХ САУ.....	203
Бахчевников В.В. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННОГО РАССЕЙЯНИЯ ОТ ПОДСТИЛАЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ.....	206
Жданова Е.В. КОМПЬЮТЕРНЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРИКЛАДНОЙ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ СРЕДНЕГО ЗВЕНА ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ.....	212
Ильченко А.В. ОЦЕНКА ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ ЧАСТОТНО- МАНИПУЛИРОВАННОГО СИГНАЛА МЕТОДОМ ДРОБНОГО ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ.....	217
Ингабуре Алин ВЛИЯНИЕ ВЕТРА НА БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ.....	222
Корогодова И.В. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА.....	229

Позднякова В.О. ОБЗОР ВОЗМОЖНОСТЕЙ ВНЕДРЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ГИС- ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПРОБЛЕМАМ ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВА И КАДАСТРА.....	233
Приказнова А.Е. АНАЛИЗ ОРГАНИЗАЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ВЕДЕНИЯ КАДАСТРА ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАН.....	239
Репенко Е.А. ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ТУРИСТСКО- РЕКРЕАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ.....	244
Сытенький В.Д. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ В КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ.....	250
Левонюк С.В., Хлапонин Д.А. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ВОССТАНОВЛЕНИЯ СЖАТЫХ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ MULTISIM	256
Науменко Д.В. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ВИБРАЦИОННОГО МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА.....	261
Белевцев А.М., Дворецкий В.В. МЕТОДИКА АНАЛИЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ МАКРОСРЕДЫ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ.....	266
Аноприенко А.Я. КОМПЬЮТЕРНЫЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОШЛОМ И БУДУЩЕМ: ПЕРИОДИЧЕСКИЕ И ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ.....	271
Попов А.О. ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЕМКОСТИ В ЧАСТОТУ ДЛЯ ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ МИКРОМЕХАНИЧЕСКИХ ГИРОСКОПОВ-АКСЕЛЕРОМЕТРОВ....	277
Удод Е.В. ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ НА ТОЧНОСТЬ ВЫЧИСЛЕНИЙ ЗНАЧЕНИЙ ДАВЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ	

ПЕРЕДАТОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕНЗОРЕЗИСТИВНОГО ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ.....	283
Бугакова Анна Витальевна, Дроздов Дмитрий Геннадьевич, Титов Алексей Евгеньевич, Овсепян Елена Владимировна	
РАДИАЦИОННО-СТОЙКИЙ И НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ БИПОЛЯРНО-ПОЛЕВОЙ БУФЕРНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ С РЕЖИМОМ КЛАССА АВ.....	290
Денисенко Дарья Юрьевна, Прокопенко Николай Николаевич, Жеб- рун Евгений Андреевич, Бутырлагин Николай Владимирович	
ПОЛОСОВОЙ РС-ФИЛЬТР С НЕЗАВИСИМОЙ ПОДСТРОЙКОЙ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ	296
Горбенко Александр Петрович	
ОЦЕНКА ДИСПЕРСИИ ПОМЕХИ ПРИ НЕОДНОРОДНОЙ ВЫБОРКЕ.....	303
Воронков Олег Юрьевич	
СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ «ЛЕТАЮЩЕЙ ПЛАТФОРМОЙ».....	308
Константинов Владимир Владимирович	
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УЧЕТА РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ СОТРУДНИКОВ ПРЕДПРИЯТИЯ.....	314
Кузьменко Алла Сергеевна	
КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АВИАЦИОННОГО ОПРЫСКИВАНИЯ.....	320
Тарасова Ирина Александровна	
ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКИХ ПЕРЕМЕННЫХ С ФУНКЦИЯМИ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ НЕСКОЛЬКИХ АРГУМЕНТОВ В ЗАДАЧЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЗИРОВОК МЕДИКАМЕНТОВ В ПРОЦЕССЕ ЛЕЧЕНИЯ ПРЕЭКЛАМПСИИ БЕРЕМЕННЫХ ЖЕНЩИН.....	326
Шилов Сергей Александрович, Константинов Владимир Владимирович	
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ГРУППОВОЙ КОРРЕКТИРОВКИ И АУДИТА СВОЙСТВ И ОФОРМЛЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ЦИФРОВОГО МАКЕТА ИЗДЕЛИЯ НА СООТВЕТСТВИЕ КОРПОРАТИВНЫМ НОРМАМ И ТРЕБОВАНИЯМ.....	333
Шинкаренко Татьяна Вячеславовна	
АЛГОРИТМ ПОИСКА ОПТИМАЛЬНОГО МЕСТА НА АВТОМАТИЗИРОВАННОМ МНОГОЯРУСНОМ ПАРКИНГЕ.....	339
Номерчук Александр Яковлевич, Ольховская Екатерина Сергеевна, Недомовный Александр Андреевич	

РАЗРАБОТКА ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОГО ОШЕЙНИКА ДЛЯ КОШЕК.....	348
Сытенький Василий Дмитриевич, Максименко Андрей Андреевич ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ РАДИАЛЬНО-БАЗОВЫМ МЕТОДОМ.....	354
Щербак Дарья Юрьевна, Шадрина Валентина Вячеславовна ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕДИКТИВНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ.....	360
Дубяго Александр Геннадьевич, Полуянович Николай Константинович МЕТОД ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕСУРСА ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ.....	367
Знайченко Богдан Геннадьевич, Пивнев Виталий Викторович РАЗРАБОТКА МИКРОКОНТРОЛЛЕРНОЙ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ АССИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ДО 1000 В.....	377
Азаров Николай Николаевич, Огреничев Александр Васильевич, Полуянович Николай Константинович ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСА КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ.....	383
Немцов Дмитрий Анатольевич, Полуянович Николай Константинович АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР И ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ИЗ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ	391
Болдырев Антон Сергеевич, Веревкин Александр Леонидович НЕЙРОННЫЙ АЛГОРИТМ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ С УЧЕТОМ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ.....	398
Веревкин Александр Леонидович, Пшихопова Карина Вячеславовна, Веревкина Лина Станиславовна ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ МНОГОКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ С УЧЕТОМ ВАРИАНТОВ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ	406
Север Константин Олегович, Горемыкин Евгений Викторович ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ.....	414
Лобов Павел Николаевич, Волощенко Юрий Петрович РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ БЛОКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ШАРОВЫМ КРАНОМ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ.....	419

Пьявченко Тамила Алексеевна, Пьявченко Алексей Олегович

МЕТОД ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЯХ

Рассматривается предлагаемый авторами метод цифрового управления уровнем жидкости в гидравлическом объекте с транспортным запаздыванием, работающем в нестационарных условиях. Достоинство разработанной системы заключается в высокой устойчивости и помехозащищенности при качке до 6 баллов включительно с учетом наличия вибраций работающих на судне механизмов. Изучение поведения гидравлического объекта позволило заменить звено транспортного запаздывания в его модели набором инерционных звеньев, которые ослабили влияние внешнего нестационарного возмущения благодаря их фильтрующим свойствам. Применение предиктора Смита обеспечило требуемые показатели качества управления гидравлическим объектом в установившемся и переходном режимах в условиях нестационарных возмущений. В работе представлены результаты модельно-ориентированного проектирования программной реализации дискретной модели системы управления с предиктором Смита. В качестве тестовой платы использовалась STM32F4Discovery, поддерживаемая средой MATLAB/SIMULINK совместимой версии. Выполненная с учетом заданного шага моделирования и требуемого управляющего воздействия верификация в SIMULINK с использованием PIL-реализации позволила доказать, что полученный программный код алгоритма работы системы цифрового управления функционирует с требуемым качеством в условиях его интеграции и взаимодействия с аналоговой моделью объекта управления.

Гидравлический объект, нестационарные возмущения, комплексный коэффициент передачи, предиктор Смита, MATLAB/SIMULINK, PIL-реализация.

Tamila Alexeevna Pyavchenko, Alexey Olegovich Pyavchenko

THE METHOD OF DIGITAL CONTROL OF OBJECTS WITH DELAY UNDER NON-STATIONARY DISTURBANCES

A digital implementation of the developed algorithm for controlling the liquid level in a hydraulic object when operating in non-stationary conditions is proposed. The advantage of the developed system is high stability and noise immunity in case of

non-stationary disturbances. The replacement of the transport lag link with a set of inertial links has been performed. Control of a hydraulic object is carried out by a PI controller with Smith's predictor. The paper presents the results of model-oriented design of software implementation of a discrete control system model with inertial negative feedback. STM32F4Discovery unit was used as a test Board supported by compatible version of MATLAB/SIMULINK. The verification in SIMULINK with the use of PIL-implementation allowed to prove that obtained program code of the algorithm of the digital control system functions with the required quality in the conditions of its integration and interaction with the analog model of a hydraulic object.

Hydraulic object, non-stationary disturbances, complex transfer coefficient, Smith's predictor, MATLAB/SIMULINK, PIL- implementation.

Введение

Для многих государств морская транспортировка является основной отраслью экономики, связывающей их со всем миром. К примеру, на долю Соединенных Штатов приходится 90% перевозок, а для Японии и Великобритании еще больше - 98%. Между отдельными континентами при отсутствии железнодорожного транспорта перевозки различных грузов осуществляют морским путем.

Как известно, судно в открытом море может совершать колебательные движения вокруг положения равновесия, называемые качкой [1, 2]. На тихой воде эти колебания, вызванные, например, порывом ветра, постепенно затухают и прекращаются. Под действием же периодически возникающих волн колебания будут затруднять эксплуатацию машин, механизмов и приборов из-за воздействия возникающих сил инерции, как на сами технические средства, так и на людей, их эксплуатирующих. Кроме того, долгое воздействие качки на транспортируемые жидкие грузы, в первую очередь относящиеся к продуктам питания, может приводить к ухудшению их потребительских свойств, а в отдельных случаях – к их полной порче. С этой точки зрения наиболее опасной является бортовая качка.

Основные параметры бортовой качки: высота волны, её период и частота определяются по шкале балльности [2]. Например, волне в VI баллов соответствуют следующие параметры: высота (3,5-6) м; средний период (5-7) сек; частота 0,8976 рад/с. Размах волны в 10 м трудно выдержать не только человеку, но и механизмам и приборам, установленным и работающим на судне. Одно из самых бурных морей, омывающих берега России, где высота волн может достигать 5 м, – Берингово море [1]. Отсюда и акту-

альность рассмотрения вопросов стабилизации горизонтального уровня жидкости, помещенной в специальные контейнеры на судне в процессе осуществления их перевозки морем в условиях воздействия бортовой качки при работающих судовых механизмах.

В рамках статьи рассматривается решение задачи цифрового управления уровнем жидкости L в гидравлическом объекте в нестационарных условиях работы с целью обеспечения стабилизации этого уровня с погрешностью, не большей $\pm 2.5\%$ от его установившегося значения. Причем время перехода системы управления в установившийся режим не должно превышать величину постоянной времени самого объекта.

Оценка влияния сложного возмущения на гидравлический объект. Динамика многих промышленных объектов [3, 4] таких, как гидравлический объект управления по уровню, абсорбер, ректификационная колонна, парогенератор, процесс нагрева замкнутого объема, барабанная сушилка и т.п. описывается дифференциальным уравнением с транспортным запаздыванием или передаточной функцией вида

$$W_{oy}(s) = \frac{K_{oy}}{(1 + T_{oy}s)} e^{-\tau_{зап}s}, \tau_{зап} < T_{oy}. \quad (1)$$

Наличие в передаточной функции (1) звена транспортного запаздывания с передаточной функцией $e^{-\tau_{зап}s}$ указывает на то, что с момента подачи управляющего воздействия на объект управления (ОУ) ненулевое значение сигнала на его выходе появится спустя время $\tau_{зап}$, что в реальных условиях, как правило, не соответствует действительности.

Более тщательное изучение ОУ при его идентификации позволило заменить звено транспортного запаздывания набором инерционных звеньев и получить уточненную модель гидравлического объекта в виде

$$W_{oy}(s) = \frac{K_{oy}}{(1 + T_{oy}s)(1 + Ts)^N}. \quad (2)$$

При этом параметры T и N могут быть определены в пакете Editor среды MATLAB на основании анализа частотных характеристик комплексного коэффициента передачи в соответствии с методикой, изложенной в Приложении 1, с. 310 источника [4]. Согласно выполненным расчетам, количество инерционных звеньев N было выбрано, равным 4, при постоянной времени T в 2.15 сек, что позволило уточнить модель гидравлического объекта:

$$W_{oy}(s) = \frac{0.06}{(1 + 72s)(1 + 2.15s)^4}. \quad (3)$$

Модель системы управления гидравлическим объектом с передаточной функцией (3) при использовании предиктора Смита [5, 11] представлена на рис 1.

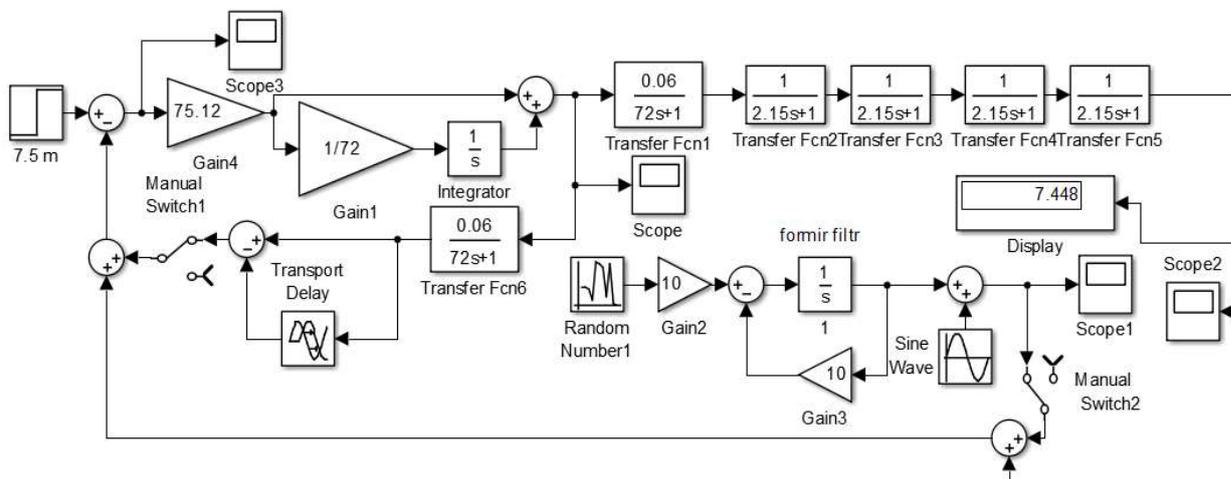
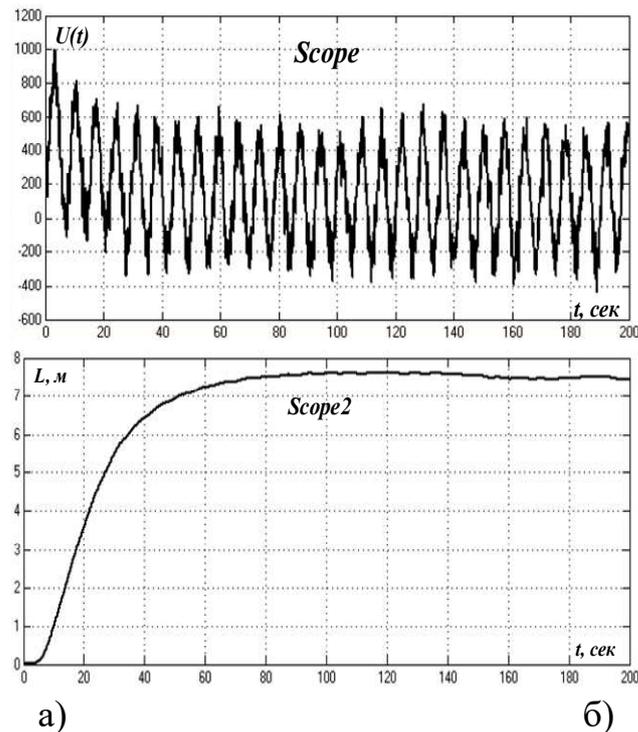


Рис. 1. Модель системы управления гидравлическим объектом с подключенным нестационарным возмущением

Здесь же приведена модель нестационарного возмущения в пакете Simulink среды MATLAB [6, 7, 8, 9]. Сложное возмущение смоделировано синусоидой Sine Wave, имитирующей регулярную качку с высотой волны 5 м и частотой 0.8976 рад/сек, при наложении случайной помехи (formir filtr с Random Number) со среднеквадратичным значением в 2.5 м, отражающим вибрацию работающего на судне оборудования. Параметры настройки ПИ регулятора определены в соответствии с рекомендациями, изложенными в [4, с.63] с использованием современных программных пакетов [7].

Поведение системы можно оценить по представленным на рис. 2 графикам, из которых следует, что длительность переходного процесса меньше постоянной времени объекта, величина перерегулирования составила 2.4% и погрешность в установившемся режиме вплоть до окончания слежения за заданием не превышает 1,4% по отношению к установившемуся значению. Само же установившееся значение определяется как 7.448 м против 7.5 м, которые требовалось обеспечить.



*Рис. 2. Реакция системы на нестационарное возмущение:
 а) управляющее воздействие, формируемое системой управления в условиях нестационарных возмущений;
 б) график изменения значения технологической переменной*

В результате модельно-ориентированного проектирования с использованием утилиты C/C+ Code (MATLAB/SIMULINK) была разработана программная реализация рассмотренного выше алгоритма работы цифровой системы управления гидравлическим объектом в условиях нестационарных возмущений. При этом в качестве целевого устройства использовались ресурсы демонстрационной платы STM32F4Discovery.

Используя PИL-подход (см. рис. 3), удалось доказать, что разработанный автоматизированным способом программный код реализации рассмотренного метода обеспечивает функционирование цифровой системы управления с требуемым качеством в условиях его интеграции и взаимодействия с аналоговой моделью ОУ, описанной в MATLAB/SIMULINK.

Выводы. В результате проведенных исследований была уточнена модель гидравлического объекта: предложено рассматривать гидравлический объект как динамическую систему с набором инерционных звеньев. Это позволило не только разработать достаточно простой алгоритм управления ОУ в условиях нестационарных возмущений, но и создать его эффективную реализацию в виде программного исполняемого кода для современных

зарубежных ARM-микроконтроллеров, имеющих прямые отечественные аналоги. Тем самым, на взгляд авторов, задачу цифрового управления уровнем жидкости L в гидравлическом объекте в нестационарных условиях работы с целью обеспечения стабилизации этого уровня с заданным качеством можно считать решенной с учетом заявленных в статье ограничений.

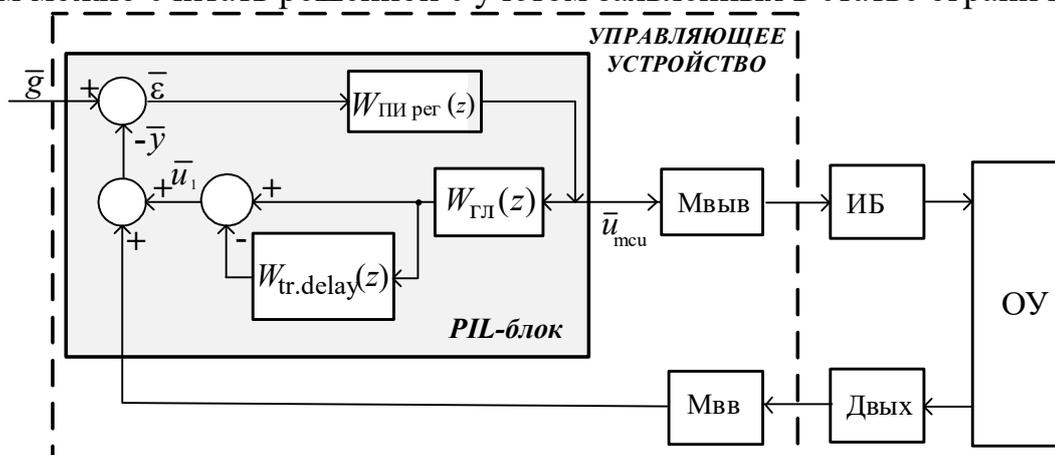


Рис. 3. Структурная схема реализации системы управления уровнем гидравлического объекта

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Режим, диагноз и прогноз ветрового волнения в морях и океанах. Научно-методическое пособие. // Под ред. Е.С. Нестерова. – М.: М.: Изд-во РОСГИДРОМЕТ, 2013. – 337 с.
2. Расчет бортовой качки корабля на нерегулярном волнении. – URL: https://studfiles.net/html/2706/241/html_eR0J1Jm5hX.Zoi4/img-UyS3G9.png (дата обращения 27.03.2019).
3. Курсовое и дипломное проектирование по автоматизации производственных процессов: Учеб. пособие. Под ред. И.К. Петрова. – М: Высш. шк., 1986. – 352 с.: ил.
4. Пьявченко Т.А. Автоматизированные информационно-управляющие системы с применением SCADA-системы Trace Mode: Учебное пособие. – СПб: Издательство «Лань», 2015. – 336 с.: ил.
5. Ермолович Д.А., Мовчан А.П. Управление объектами с большим запаздыванием. Национальный технический университет Украины. http://www.rusnauka.com/12_ENXXI_2010/Tecnic/64945.doc.htm (дата обращения 22.03.2019)
6. Фуртат И.Б. Алгоритм компенсации неизвестных мультигармонических возмущений для объектов с запаздыванием по управлению // Информационно-управляющие системы. 2013. №5. С.19-25.

7. Дьяконов В., Круглов В. Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2001.
8. Гайдук А.Р., Каляев И.А., Капустян С.Г., Рябченко В.Н. Идентификация непрерывных многомерных систем. Дискретно-подобные системы // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2013. № 4. С. 47-53.
9. Гайдук А.Р. Теория автоматического управления в примерах и задачах с решениями в MATLAB / А.Р. Гайдук, В.Е. Беляев, Т.А. Пьявченко. – СПб.: Лань, 2011. – 464 с.
10. Нейдорф Р.А. Инженерные методы синтеза автоматических систем управления: Учеб. пособие/под общ. ред. Р.А. Нейдорфа. – Ухта: EUNES Ростов-н/Д: Изд-во РГАСХМ, 2004. – 255 с.
11. Денисенко В. В. ПИД - регуляторы: принципы построения и модификации // Современные технологии автоматизации. 2006. № 4. С. 66 - 74; 2007. № 1. С. 78 - 88.]

Пьявченко Тамила Алексеевна – доцент, канд. техн. наук; кафедра систем автоматического управления; Южный федеральный университет; e-mail: tampyav@mail.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: +7 (918) 513 9107.

Пьявченко Алексей Олегович – доцент, канд. техн. наук; кафедра вычислительной техники; Южный федеральный университет; e-mail: aop61@mail.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: +78634371656.

Pyavchenko Tamila Alekseevna – Southern Federal University; e-mail: tampyav@mail.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +7 (918) 513 9107; the department of computer engineering; cand. of tech. sc.; associate professor.

Pyavchenko Aleksey Olegovich – Southern Federal University; e-mail: aop61@mail.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371656; the department of computer engineering; cand. of tech. sc.; associate professor.

Давыденко Ольга Владимировна

О ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДОВ ГЕОСТАТИСТИКИ В МОНИТОРИНГЕ УРБОГЕОСИСТЕМ

В статье отмечена актуальность применения методов геостатистики в мониторинге урбогеосистем. Представлены подходы для анализа пространственно-временных данных. Произведен обзор методов геостатистики в мониторинге урбогеосистем. Указывается, когда применение геостатистических методов в мониторинге урбогеосистем не имеет смысла. Описывается свойство кригинга как метода, сопровождающегося оценкой ошибки интерполяции в каждой точке. Отмечается способность методов геостатистики расширить представления в области урбогеосистем.

Геостатистика, методы геостатистики, мониторинг, пространственные данные, урбогеосистема.

Davydenko Olga Vladimirovna

THE APPLICATION OF THE METHODS OF GEOSTATISTICS FOR THE MONITORING OF URBAN TERRITORIES

The article notes the relevance of the use of geostatistics methods in monitoring of ubrogeosystems. The approaches for the analysis of spatial-temporal data are presented. An overview of geostatistics methods in monitoring ubrogeosystems. It is indicated when the use of geostatistical methods in monitoring ubrogeosystems does not make sense. The kriging property is described as a method, accompanied by an estimate of the interpolation error at each point. The ability of geostatistics methods to expand the ideas in the field of urban ecosystems is noted.

Geostatistics, geostatistical methods, monitoring, spatial data, ubrogeosystems.

Введение в проблему о необходимости мониторинга урбогеосистем

В [1] рассматривается новое осмысливание роли земель в поддержании устойчивости жизни человека в городе, в оздоровлении окружающей среды, и попытки решения проблемы охраны окружающей среды в городах.

Согласно [1] мониторинг – это инструмент наблюдений, контроля, прогнозирования и выработки управляющих решений для обеспечения эффективного и рационального землепользования.

Эффективность использования городских земель существенно зависит от решения задач мониторинга земель, который призван в данном случае обеспечить формирование пространственно-распределенных данных о состоянии земельных ресурсов города, включая данные о: престижности территории; экологическом состоянии земельных ресурсов; пригодности для создания объектов инженерной и рыночной инфраструктуры; привлекательности для реализации инвестиционных проектов [2].

Многие согласятся с тем, что для эффективного развития заселенных жителями (урбанизированных) территорий требуется высокоэффективная система наблюдения за такими территориями (мониторинг). В сложившихся условиях наиболее целесообразным становится применение ГИС-технологий, позволяющих выявлять динамику и особенности «зарастания» урбанизированных земель [3], поэтому можно использовать пространственно-временные данные урбогеосистем.

При мониторинге урбогеосистем существует несколько подходов использования пространственно-временных данных. Уделим особое внимание геостатистике в этом вопросе.

Обзор методов геостатистики в мониторинге урбогеосистем

Мониторинг основывается на пространственно-временных данных. Согласно [4] анализ пространственно-временных данных проводится с помощью следующих подходов: статистические методы; детерминистские методы; геостатистические методы [4].

Геостатистика, в свою очередь, согласно [5] понимается как наука и технология для анализа, обработки и представления пространственно-распределенной (и пространственно-временной) информации с помощью статистических методов.

В статье Плякина А. В., Козыревой В.Н. [6] говорится о том, что геостатистика моделирует распределение объектов, явлений и процессов природного и антропогенного происхождения в географическом пространстве, в связи с чем система показателей геоэкологического состояния территории может быть представлена в виде комплекса геостатистических показателей, характеризующих территориальные экологические, природно-климатические, почвенно-ландшафтные и другие условия. Также согласно [6] с понятием о геостатистическом показателе связаны связывают пред-

ставление о центре территории, имеющей границы: географический центр муниципального образования – геоцентр, районный демографический центр – демоцентр, центр расселения жителей района – урбоцентр и другие виды центров, адекватно отражающих экологическое, экономическое, демографическое состояние муниципального района.

В [6] говорится, что для определения местоположения центров разных типов необходимо наличие статистических данных по населенным пунктам (городам, поселкам, сельским поселениям), а имея геостатистические показатели, можно отобразить их на географической карте и получить центрограммы, то есть карты, на которых можно изобразить точкой значение геостатистического центра.

Согласно [7] существуют следующие методы современной геостатистики для анализа пространственно-распределенных данных: визуализации и описания данных; структурного анализа (вариографии); кросс-валидации, пространственной интерполяции (кригинг), визуализации результатов в виде карт ошибок, оценок, вероятностей и риска; картографирования в ГИС.

Тем не менее, как отмечается в [2], важно определить перечень методов и этапов, образующих замкнутый поэтапный цикл исследования геостатистических данных от начального анализа базовых статистических закономерностей в геостатистических данных до вероятностного картирования на основе нелинейных моделей кригинга.

Важнейшим этапом исследования согласно [2] является определение глобальных трендов в наборе геостатистических данных, а также исследование вариограммы (ковариации), позволяющей выполнить анализ пространственных зависимостей. Необходимо присутствие пространственной корреляции между исходными данными, иначе получение оценки в геоцентре путем взвешивания соседних центров и применение геостатистических методов интерполяции (кригинга) не имеет смысла.

Согласно [9] кригинг является наилучшим оценителем в статистическом смысле в классе линейных интерполяторов, так как его оценка обладает минимальной вариацией ошибки. Важное свойство кригинга — точное воспроизведение значений измерений в имеющихся точках. В отличие от многочисленных детерминистических методов, оценка кригинга сопровождается оценкой ошибки интерполяции в каждой точке. Полученная ошибка позволяет охарактеризовать неопределенность полученной оценки данных при помощи доверительных интервалов.

В статье Петковой Н.В. [10] была получена модель для геостатистического анализа методом кригинга (рис.1). При наложении на полученную поверхность карты города получают поверхность, описывающую границы наиболее «дорогих» районов города Ростова-на-Дону.

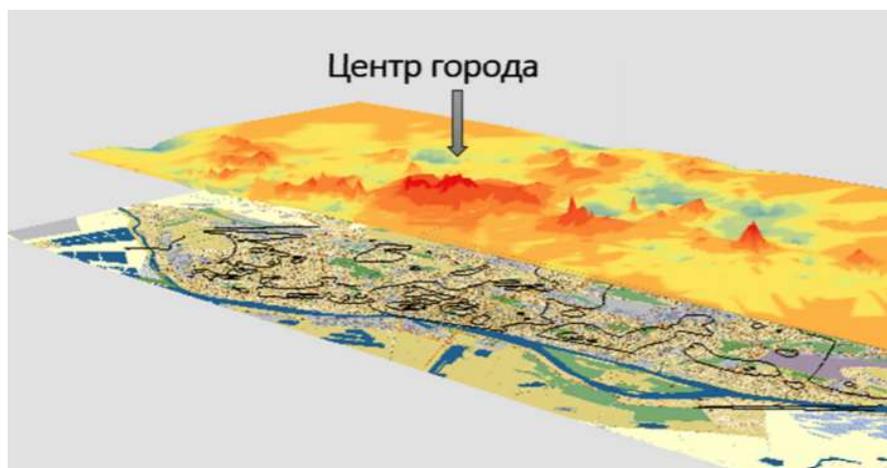


Рис. 1. Ценовая кригинг-поверхность

Выводы

Проведя обзор методов геостатистики, применяемых для ведения мониторинга урбогеосистем, можно сделать вывод, что кригинг наиболее точно воспроизводит значения измерений в имеющихся точках с минимальной вариацией ошибки. В результате осуществления мониторинга урбогеосистем можно осуществить сбор оперативной информации о негативных изменениях, происходящих в земельном фонде и его отдельных категориях, что является основой для ведения земельного кадастра, оценки эколого-экономической ущербов (рисков), планировании природоохранных мероприятий.

В настоящее время существует ряд доступных мощных геоинформационных систем, которые открывают хорошие перспективы применению предложенных геостатистических методов во многих организациях, которые выполняют мониторинг урбогеосистем, чтобы сохранить комфортные условия проживания для человека и для разработок программ стратегического развития территорий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Федер М.В.* Мониторинг городских земель как основа управления территорий // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. Статья в сборнике трудов конференции. 2015. С. 2577-2581.

2. *Бахарева Н. А.* Применение информационных технологий в кадастре и мониторинге земель // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофото-съемка. 2013. № 2. С.87–90.
3. *Бубенко И.С.* Разработка геоинформационной системы мониторинга городских земель // Известия алтайского государственного университета. 2004. № 1 (31). С.75-76
4. *Польшакова Н.В., Котова Е.И., Черникова К.С.* Использование геоинформационных технологий в мониторинге сельскохозяйственных земель // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2014. № 12-2. С. 330–332.
5. *Демидова П.М.* Определение кадастровой стоимости земель садоводческих некоммерческих объединений ленинградской области методами геостатистики // Инженерный вестник Дона. 2013. № 1 (24). С. 75.
6. *Плякин А.В., Козырева В.Н.* Реализация геостатистических методов оценки геоэкологического состояния территории в геоинформационной системе // Вестник волгоградского государственного университета. Серия 3: Экономика. Экология. 2012. № 2 (21). С.195-204.
7. *Бурцева С.А.* Глобализация: геостатистический подход – М.: Финансы и статистика. 2005. 448с.
8. *Каневский М.Ф., Демьянов В.В.* Введение в методы анализа данных по окружающей среде // Элементарное введение в геостатистику. Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 1999. № 11. С. 2–12.
9. *Кынашев С.К., Баранов С.А.* Основные элементы и понятия геостатистики // EUROPEAN RESEARCH. 2014. № 1 (1). С. 5–15.
10. *Петкова Н.В.* Геопространственное моделирование ценовых поверхностей в анализе недвижимости // Научные труды кубанского государственного технологического университета. 2017. № 4. С. 274–284.

Давыденко Ольга Владимировна – студентка 4 курса Южного Федерального Университета, Россия, город Таганрог, ул. Шевченко, 2/ ул. Чехова, 2, корпус «Е», 347922, телефон: +7(8634)37-16-38, e-mail: oldavydenko@sfedu.ru.

Davydenko Olga Vladimirovna – 4th year student Southern Federal University, 347922, Russia, Taganrog, 2 Shevchenko street/ 2 Chekhov street, building "E", phone:+7(8634)37-16-38, email: oldavydenko@sfedu.ru.

УДК 004.9:502

Уварова Анна Андреевна

О ПРИМЕНЕНИИ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Целью работы является исследование методов проведения геоэкологического мониторинга с применением геоинформационных технологий. В статье обсуждаются методы, виды и классификация геоэкологического мониторинга урбанизированной территории. Поднимается тема актуальности использования географических информационных систем при геоэкологическом мониторинге, вопрос о защите геоинформационных систем. Дается краткий обзор баз пространственных данных, а также ключевых вопросов по данной теме, что позволяет определить ряд достоинств и недостатков использования ГИС.

Урбанизированная территория, геоэкологический мониторинг, геоинформационная система, пространственные данные.

Uvarova Anna Andreevna

APPLICATION OF GEOINFORMATION TECHNOLOGIES FOR CONDUCTING GEOECOLOGICAL MONITORING OF URBANIZED TERRITORIES

The aim of the work is to study the methods of geo-environmental monitoring using geo-information technologies. The article discusses the methods, types and classification of geo-ecological monitoring of urbanized territory. The topic of the relevance of the use of geographic information systems in geo-environmental monitoring, the issue of the protection of geographic information systems is raised. A brief overview of spatial databases, as well as key issues on this topic is given, which makes it possible to determine a number of advantages and disadvantages of using GIS. The problems associated with the collection and recording of environmental monitoring data are analyzed.

Urbanized territory, geoecological monitoring, geoinformation system, spatial data.

Введение

Формирование городского пространства на сегодняшний день является одним из глобальных процессов, происходящих в мире. Это та сфера, которая требует к себе особого внимания, так как на протяжении всего развития урбанизации вопросов о ее сущности не убавляется. В процессе развития урбанизации влияние человека на природу усилилось, что повлекло за собой некоторые изменения в геосистеме. Стали различать природную и антропогенную среды. Поэтому существует необходимость в мониторинге этих изменений, для контроля и геоэкологического анализа состояния урбанизированных территорий.

Урбанизированная территория представляет собой территорию, предназначенную для поселения городского типа, на которой расположены производственные, транспортные и инженерные сооружения, необходимые для качественной жизни общества. Для решения проблем, связанных с развитием урбанизации необходимо наличие комплексной и актуальной информации об урбанизированных территориях в различных ее областях.

Данные, полученные при мониторинге, помогут решить проблемы, связанные с экологическим планированием и оптимизацией качества городской среды. В связи с тем, что со временем объем информации увеличивается, возникла необходимость в метаданных. Для разработки и создания баз пространственных метаданных следует стандартизировать и обеспечить поддержку данных в виде географических информационных систем.

В работе анализируется ряд научных источников, в которых поднимаются такие вопросы как: защита геоинформационных систем (ГИС) [1], подходы и проблемы, связанные с разработкой средств информационной поддержки наблюдения за состоянием окружающей среды [2], а также применение ГИС-технологий при геоэкомониторинге [3].

Рассмотрим назначение и классификацию методов геоэкологического мониторинга урбанизированных территорий, основные области в геоэкологическом мониторинге, проведем обзор баз геоданных, выделим достоинства и недостатки применения геоинформационных систем при мониторинге урбанизированных территорий.

Классификация геоэкологического мониторинга

Геоэкологический мониторинг представляет собой целый комплекс методов исследования состояния геосистем урбанизированных территорий, которые испытывают влияние всех сфер хозяйственной деятельности человека. С его помощью проводится оценка воздействия на окружающую при-

родную среду, экологическая экспертиза, а также экологический аудит. Мониторинг необходим для получения актуальных данных состояния окружающих условий, чтобы своевременно проводить природоохранную деятельность.

На основе источников [3,4] была составлена табл. 1, в которой отображены объекты и исследуемые параметры геэкологического мониторинга для его различных стадий.

Таблица 1

Классификация геэкологического мониторинга

Ступени геэкомониторинга	Объекты мониторинговых исследований	Исследуемые параметры
Биоэкологический (санитарно-гигиенический)	Приземная атмосфера, поверхностные и грунтовые воды, промышленные и бытовые стоки, различные выбросы	Физические и биологические раздражители (шумы, аллергены и т.д), предельная степень радиоизлучения ПДК токсинов
Геосистемный (природохозяйственный)	Исчезающие виды растений, естественные экосистемы, аэроэкосистемы	Популяционное состояние видов их структура и нарушение урожайности сельхозкультур
Биосферный (глобальный)	Растительный и почвенный покровы, животное население, атмосфера, гидросфера	Радиационный баланс, тепловой перегрев, состав и запыление атмосферы, глобальные характеристики растительного покрова

Также выделяют несколько природных сред, по отношению к которым проводится геэкологический мониторинг: атмосфера; океан; поверхность суши с реками и водоемами; бота. В свою очередь факторы воздействия на природную среду разделяют на физические, биологические и химические

По территориальному признаку разделяют глобальный, региональный и локальный уровень экологического мониторинга. В данной работе большее внимание уделено именно глобальному (биосферному) мониторингу. Целью такого мониторинга является наблюдение за изменениями в глобальной экосистеме – биосфере [4].

Биосфера – это часть Земли от поверхности ее коры до окружающей ее атмосферы, содержащая в себе все живые организмы, растительные и жи-

вотные [Научно-технический энциклопедический словарь], поэтому мониторинг, в зависимости от выбранной области исследования, разделяют на: атмосферный – представляет собой наблюдение за уровнем загрязнения атмосферы в городах и населенных пунктах; гидрологический – наблюдение за состоянием и качеством поверхностных вод; биотический – контролирует показатель для оценки состояния биологического вида в определенных природных условиях; мониторинг за педосферой – сбор данных о почвенном покрове оболочки Земли. Сбор и обработка полученных данных осуществляется в соответствии с рядом действующих ГОСТов.

По методам проведения геоэкомониторинга урбанизированных территорий выделяют следующие виды: биологический, дистанционный и эколого-аналитический мониторинг.

Объектами экологического мониторинга является: выбросы загрязняющих веществ в атмосферу; процессы атмосферного переноса и миграции в водной среде; миграции загрязняющих веществ по почвенному профилю до уровня грунтовых вод; данные источников эмиссии загрязнителя.

Использование информационных технологий при геомониторинге

В наше время огромную роль играет внедрение информационных и телекоммуникационных технологий и их интенсивное использование во всех сферах человеческой деятельности. В области географических наук это привело к созданию и развитию географических информационных систем (ГИС). Геоинформационные системы – это большой класс информационных систем, позволяющий работать с пространственными данными [1].

Задачи мониторинга урбанизированных территорий представляют собой: инвентаризацию ресурсов (в том числе кадастр), анализ, оценку, геоэкомониторинг, управление и планирование, поддержку принятия решений. Актуальным направлением является и разработка веб-ГИС, которые являются разновидностью распределенной информационной системы [9].

Существует необходимость в создании территориальных банков и баз данных, которые удовлетворят потребности всех слоев населения.

Базы пространственных данных

Пространственные данные представляют собой информацию в виде цифровых представлений реально существующих дискретных пространственных объектов. Эта информация формирует ГИС.

Хранение данных в базе данных (БД) обеспечивает централизованное управление, соблюдение стандартов, безопасность и целостность данных,

сокращает избыточность и устраняет противоречивость данных. По способу представления информации БД можно разделить на проблемно ориентированную, БД с наличием источников пространственной информации и на ту, которая используется техническими и программными средствами.

База геоданных содержит три основных типа наборов данных: классы пространственных объектов; растровые наборы данных; таблицы.

Создание совокупности вышеперечисленных типов наборов данных является первым шагом проектирования и создания базы геоданных. [11].

Методы защиты информации в геоинформационных системах

Основной задачей ГИС является обеспечение доступности и целостности данных, поэтому вопрос о ее защите не должен уходить на второй план.

Уровень защиты информации в геоинформационных системах определяется масштабом, назначением и размещением сегментов. Меры защиты информации выбираются и реализуются в ГИС в рамках ее системы защиты информации с учетом угроз безопасности информации применительно ко всем объектам и субъектам доступа на аппаратном, системном, прикладном и сетевом уровнях, в том числе в среде виртуализации и облачных вычислений [10]. Для обеспечения защиты информации, находящиеся в ГИС, необходимо сформировать требования к защите, разработать систему защиты, внедрить и аттестовать ГИС по требованиям защиты. Система защиты должна решать такие задачи, как: анализ угроз безопасности и разработку на базе актуальных данных системы безопасности; отслеживать несанкционированный доступ, копирование, распространение информации, удаление и изменение информации.

Использование ГИС для геоэкологического мониторинга

Геоинформационная или географическая информационная система – это система, в которой хранятся пространственные данные и связанная с ними информация о ГИС объектах. Помимо хранения в системе производится анализ и графическая визуализация геоданных. ГИС включают в себя возможности систем управления базами данных (СУБД), редакторов растровой и векторной графики и аналитических средств и применяются в картографии, геологии, метеорологии, землеустройстве, экологии, муниципальном управлении, транспорте, экономике, обороне и многих других областях [7].

Система комплексного геоэкологического мониторинга включает в себя: информационно-измерительную сеть; информационно-управленческую

систему (разделяют на картографическую геоинформационную систему и на систему управления базой данных); подсистему передачи данных.

Измерительная сеть состоит из постов, пунктов контроля, которые позволяют получить актуальную информацию об изменениях природной среды. Управленческая система представляет собой компьютер, который анализирует и управляет элементами информационно-измерительной сети. В свою очередь подсистема передачи данных обеспечивает взаимообмен данными между информационно-измерительной сетью, информационно-управляющей подсистемой, а также между системой мониторинга и внешними потребителями и источниками информации [5].

Выводы

В результате исследования был выявлен ряд достоинств и недостатков, относящийся к БД геоэкологического мониторинга урбанизированных территорий. Явным преимуществом внедрения ГИС-технологий является то, что они позволяют не терять связь между соподчиненными объектами, что может облегчить работу с данными. Но представленная в статье разработка имеет минус – она исключает ошибку неправильной идентификации измерений. Решение данной проблемы остается актуальным.

Если рассматривать геоэкологический мониторинг в нашей стране, то эта сфера находится на стадии развития и внедрения разработок связанных с WEB-ГИС технологиями имеет место быть. Территория России не охвачена сетью наблюдений и даже не имеет предпосылок на это. Думаю, решением данной проблемы станет использование свободных в распространении ГИС, в которых можно реализовать некую систему мониторинга, а также использовать WEB-ГИС технологии для реализации ГИС экологического мониторинга, которая бы позволила отслеживать изменение большого количества параметров, делать прогноз, проводить анализ, а также мгновенно принимать управленческие решения, направленные на оптимизацию использования ресурсного потенциала всего муниципального района.

Также следует выделить проблему защиты геоинформационных систем. Существует алгоритмы, позволяющие определить степень надежности защиты. Динамический анализ значения показателя эффективности дает возможность контролировать события безопасности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Селифанов В.В, Звягинцева П.А, Голдобина А.С., Исаева Ю.А, Сычугов А.А. Показатель эффективности управления защитой информации в геоинфор-

- мационных системах // Известия ТулГУ. Технические науки – 2018, №10– С. 176-181.
2. *Девятова А.Ю.* Представление геологических данных с помощью информационных технологий. – Новосибирск. Изд-во ОИГМ СО РАН, 2015. –103 с.
 3. *Снытко В.А., Собисевич А.В.* Система экологического мониторинга в научном наследии академиков И. П. Герасимова и Ю. А. Израэля // Труды пятой международной научно-практической конференции "Индикация состояния окружающей среды: теория, практика, образование", 30 ноября - 3 декабря 2017 года: сборник статей, 2017. - С. 393–398
 4. *Ларионов М.В.* Экологический мониторинг городской среды: Общая характеристика городской среды. – Саратов: Изд-во Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, 2015 – 104 с.
 5. *Орлов Т.В., Березин П.В., Фесель К.И., Викторов А.А.* Применение ГИС-технологий при геоэкологическом мониторинге - Изд-во Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН. - 132 с.
 6. ГИС-технологии в решении задач охраны окружающей среды [Электронный ресурс] // ГИС ассоциация: <http://www.gisa.ru/2387.html> (дата обращения: 29.03.2019).
 7. *Рудько Г.И., Назаренко М.В, Хоменко С.А, Нецкий А.В, Федорова И.А.* Геоинформационные технологии в недропользовании (на примере ГИС K-MINE) // Академпрес, 2011. – С. 235-241.
 8. *Краев Д.А.* Экологический мониторинг и использование WEB-ГИС технологий // Омский научный Вестник, 2012, № 2 (114), - С. 196-198.
 9. *Бугакова Т.Ю., Кноль И.А.* Интерактивный контроль пространственновременного состояния техногенных объектов с применением технологии WebGL // Вестник СГУГиТ, 2016. Вып. 4 (36). С. 114-122.
 10. Безопасность и надежность [Электронный ресурс] // Системы защиты информации в ГИС: <http://ace-net.ru/judgment/73-article-4.html> / (дата обращения 21.03.2019).
 11. Геоинформационных программный продукт ArcGIS [Электронный ресурс] // Краткий обзор баз геоданных: <http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/manage-data/geodatabases/a-quick-tour-of-the-geodatabase.htm> / (дата обращения 21.03.2019).

Уварова Анна Андреевна – студентка кафедры информационных измерительных технологий и систем Южного федерального университета, Россия, город Та-

ганрог, ул. Шевченко, 2/ ул. Чехова, 2, корпус «Е». 347922, телефон: +7(8634)37-16-38, E-mail: inep@sfedu.ru.

Uvarova Anna Andreevna – a student of the Department of Information Measuring Technologies and Systems of the Southern Federal University, Russia, the city of Taganrog, st. Shevchenko, 2 / st. Chekhov, 2, building "E". 347922, phone: +7 (8634) 37-16-38, E-mail: inep@sfedu.ru .

УДК 681.325

Левонюк Сергей Владимирович, Конева Анна Вячеславовна

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ОБРАТИМОГО СЖАТИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ MULTISIM

Рассматривается использование системы Multisim для разработки и исследования устройства, предназначенного для сбора и обратимого сжатия измерительной информации. Проведенное моделирование позволило реализовать комплексную отладку программных и аппаратных средств устройства.

Моделирование, Multisim, обратимое сжатие.

Levoniuk Sergey Vladimirovich, Koneva Anna Viacheslavovna

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF THE DEVICE REVERSIBLE COMPRESSION OF THE MEASURING INFORMATION USING MULTISIM

The use of Multisim system for development and research of the device intended for collecting and reversible compression of measuring information is considered. The simulation has allowed us to implement integrated debugging of hardware and software of the device.

Simulation, Multisim, reversible compression.

Введение

В связи со сложностью современных объектов управления необходимо контролировать большое количество параметров данных объектов. При этом объем поступающей информации оказывается значительным. В то же

время, основная доля данной информации является избыточной, поэтому актуальной становится задача сжатия данных [1]. Основным интерес представляет обратимое сжатие на основе апертурных интерполяционных и экстраполяционных алгоритмов нулевого и первого порядков, в результате которого исходные сигналы могут быть в дальнейшем восстановлены как функции времени с заданной погрешностью [2,3].

В данном докладе рассматривается использование системы Multisim для моделирования устройства, предназначенного для многоканального сбора и обратимого сжатия измерительной информации.

Основная часть

Разработка и исследование устройства, предназначенного для сбора и обратимого сжатия измерительной информации, проводилось с использованием программы Multisim (версия 14.1) корпорации National Instruments [4-6]. MCU-модуль Multisim предназначен для моделирования устройств на основе микроконтроллеров [7,8]. Модуль позволяет разработчику отладить как аппаратную часть устройства, так и программное обеспечение микроконтроллера.

На рис.1 приведена структура восьмиканального устройства обратимого сжатия данных, которая использовалась при моделировании.

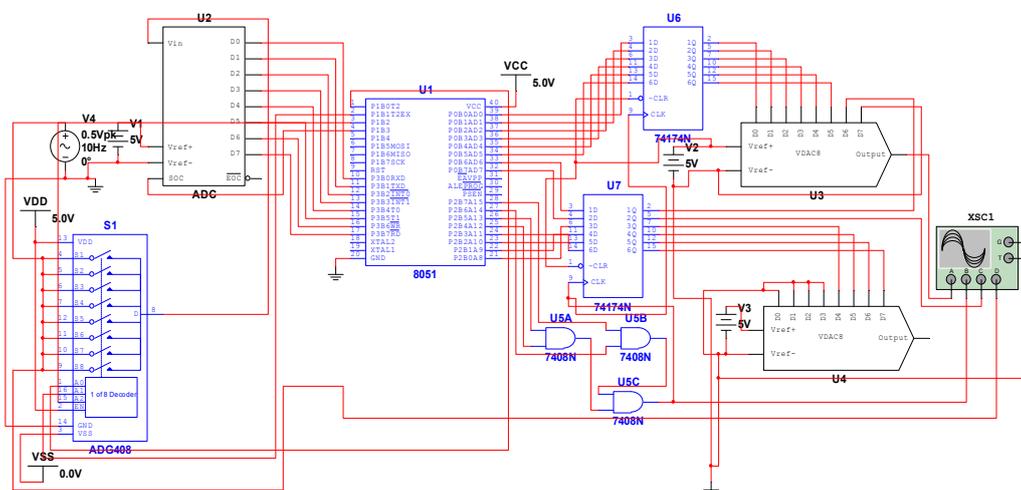


Рис. 1. Структура устройства сбора и сжатия данных

При этом в качестве имитатора входных сигналов применялся генератор синусоидального сигнала (V4), входные сигналы коммутировались мультиплексором (S1) и оцифровывались с помощью аналого-цифрового преобразователя (U2). Для сжатия данных использовался микроконтроллер

8051 фирмы INTEL (U1) [9], а для преобразования сжатых данных в аналоговую форму – цифроаналоговый преобразователь (U3). Контроль результатов сжатия выполнялся с помощью многоканального осциллографа (XSC1), при этом восстановленные после сжатия данные сравнивались со входным сигналом. Для обработки информации применялись апертурные интерполяционные и экстраполяционные алгоритмы обратимого сжатия нулевого и первого порядков.

Для разработки программного обеспечения микроконтроллера [10] использовался язык ассемблера [9].

На рис.2, в качестве примера, представлены осциллограммы входного синусоидального сигнала, восстановленного после сжатия сигнала (ступенчатая кривая), сигнала выдачи сжатых данных из микроконтроллера (короткие импульсы) и сигнала-идентификатора порядка, используемого для восстановления сигнала при реализации микроконтроллером алгоритма сжатия на основе комбинированного метода экстраполяции нулевого и первого порядков [2].

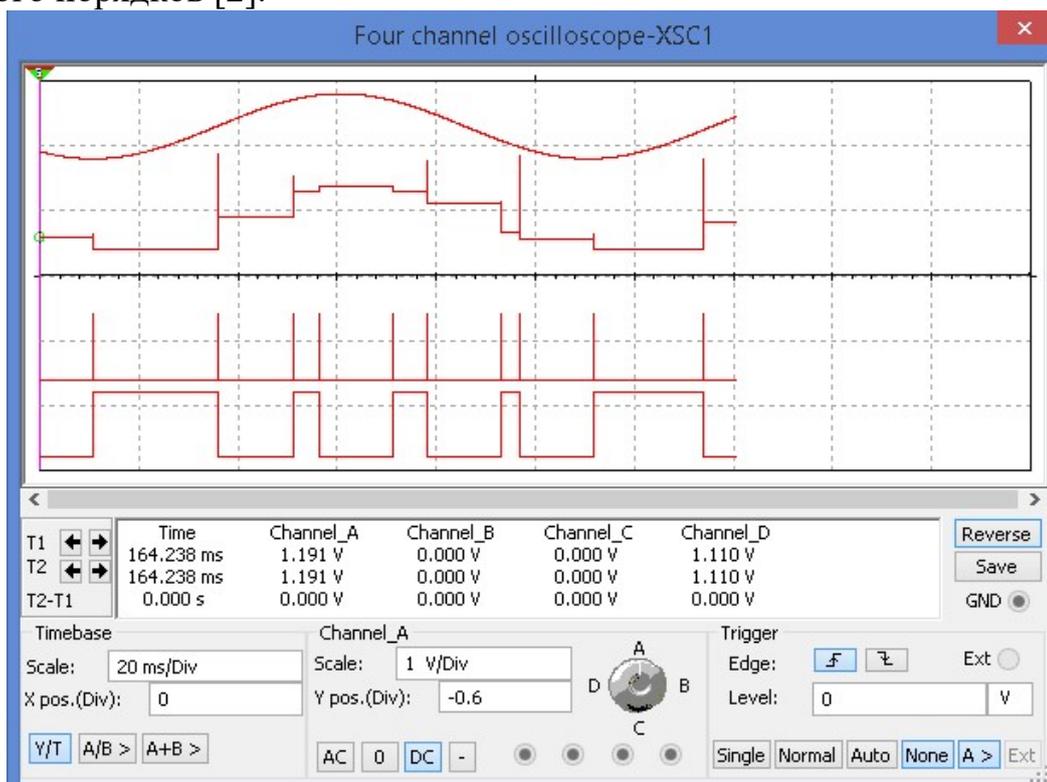


Рис.2. Осциллограммы при исследовании устройства сжатия

Выводы

Проведенное моделирование позволило реализовать комплексную отладку программных и аппаратных средств устройства, оценить эффектив-

ность используемого алгоритма сжатия данных, а также контролировать погрешность сжатия измерительной информации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ольховский Ю.Б., Новоселов О.Н., Мановцев А.П.* Сжатие данных при телеизмерениях/ М.: Сов. Радио, 1990.
2. *Самойлов Л.К., Палазиенко А.А., Сарычев В.В., Ткаченко Г.И.* Дискретизация сигналов по времени: практика, алгоритмы/ Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000.
3. *Левониук С.В.* Устройство сбора и обратимого сжатия измерительной информации на основе модуля R-серии// NI days-2016/ Тезисы докладов. – М.: ДМК-пресс, 2016.
4. *Загидуллин Р.Ш.* Multisim, LabVIEW и Signal Express. Практика автоматизированного проектирования электронных устройств/ М.: Горячая линия – Телеком, 2009.
5. *Левониук С.В.* Использование системы проектирования LabVIEW-Multisim для моделирования цифровых устройств/ Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2008.
6. *Левониук С.В.* Использование Multisim и LabVIEW в учебном процессе подготовки бакалавров приборостроительных направлений// Инженерный вестник Дона, 2018, №4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2018/5252/.
7. *Левониук С.В.* Использование MCU-модуля LabVIEW-Multisim для моделирования микропроцессорных устройств/ Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009.
8. *Левониук С.В.* Лабораторный практикум по микроконтроллерам на основе MCU-модуля MULTISIM/ LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015.
9. *Сташин В.В., Урусов А.В., Мологонцева О.Ф.* Проектирование цифровых устройств на однокристальных микроконтроллерах/ М.: Энергоатомиздат, 1990.
10. *Левониук С.В.* Обратимое сжатие данных на основе микроконтроллера/ Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018660944 от 30.08.2018г.

Левониук Сергей Владимирович – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник института нанотехнологий, электроники и приборостроения Южного федерального университета, Россия, г.Таганрог, ул. Шевченко 2, 347922, телефон: +7 (8634) 37-16-38, email: svlevoniuk@sfedu.ru.

Конева Анна Вячеславовна – студентка группы ЭПбо4-6 института нанотехнологий, электроники и приборостроения Южного федерального университета, Россия, г. Таганрог, ул. Шевченко 2, 347922, телефон: +7 (8634) 37-16-38, email: svlevoniuk@sfedu.ru.

Levoniuk Sergey Vladimirovich Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), docent, senior researcher at the Institute of nanotechnology, electronics and instrumentation Southern Federal University, 347922, Russia, Taganrog, 2 Shevchenko street, phone: +7 (8634) 37-16-38, email: email: svlevoniuk@sfnu.ru.

Koneva Anna Viacheslavovna – student at the Institute of nanotechnology, electronics and instrumentation Southern Federal University, 347922, Russia, Taganrog, 2 Shevchenko street, phone: +7 (8634) 37-16-38, email: email: svlevoniuk@sfnu.ru.

УДК 519.7, 004.9

Макаров Анатолий Михайлович, Постовалов Степан Сергеевич

ВВЕДЕНИЕ В ТЕОРИЮ ОПЕРАТОРОВ, ПОРОЖДАЕМЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫМ ПРЕБРАЗОВАНИЕМ МЕЛЛИНА

В работе обобщены результаты ряда работ ученых, которые приведены в разбросанных во времени и месте их издания в различных источниках, а также учтены полученные в работах авторов статьи результаты их исследований. На этой основе удалось развить теорию операторов, порождаемого интегральным преобразованием Меллина и получить ряд важных равенств, которые приводят к расширению области ее применения. Приводятся алгоритмы решения интегральных уравнений и примеры, иллюстрирующие применение алгоритмов. Это касается двух типов интегральных уравнений с мультипликативными ядрами. Для обращения результатов решения предлагается использование теоремы Слейтер, результаты которой позволяют обращать широкий класс функций гипергеометрического типа и гамма -функций на основе интегралов Меллина-Барнса.

Преобразование Меллина, базисная функция Меллина, математика, информационные технологии.

Makarov Anatoly Mihaylovich, Postovalov Stepan Sergeevich

INTRODUCTION TO THE THEORY OF OPERATORS ARISING FROM INTEGRAL TRANSFORM OF MELLIN

The paper summarizes the results of a number of works of scientists, which are

given in scattered in time and place of their publication in various sources, and also takes into account the results of their research obtained in the works of the authors. On this basis, it was possible to develop the theory of operators generated by the integral Mellin transform and to obtain a number of important equations that lead to the expansion of its application. Algorithms for solving integral equations and examples illustrating the application of algorithms are given. This applies to two types of integral equations with multiplicative kernels. To reverse the results of the solution, we propose the use of the Slater theorem, the results of which allow us to reverse a wide class of hypergeometric type functions and gamma functions based on Mellin-Barnes integrals.

Mellin transformation, Mellin basis function, mathematics, information technologies.

Введение

Известно, что преобразование Меллина, порожаемое ядром интегрального преобразования

$$x^{s-1} = x^{\sigma+ju-1} = x^{\sigma-1}x^{ju} = x^{\sigma-1}(\cos(\ln x) + j\sin(\ln x)),$$

где σ – реальная часть ядра определяется в виде кольца $\sigma_1 < \sigma < \sigma_2, u \in (-\infty, \infty)$.

Для функции $f(x)$ при условии, что $x > 0$ и $x^{k-1}f(x) \in \alpha_1(0, \infty)$ в кольце σ_1, σ_2 имеет ограниченное изменение, существует пара интегральных преобразований: прямое преобразование Меллина (ПМ)

$$M(s) = \int_0^\infty f(x)x^{s-1}dx, \quad (1)$$

обратное ПМ

$$f(x) = \int_{c-j\infty}^{c+j\infty} M(s)x^{-s}ds. \quad (2)$$

Таким образом, происходит отображение пространства переменной x в пространстве новой переменной s . Такие преобразования, например, преобразование Лапласа, приводит к упрощению решения некоторого класса дифференциальных интегральных уравнений. Для преобразования Лапласа проведены широкие теоретические и практические исследования и приведены для него обширные таблицы. Эффект упрощения решений достигается из-за наличия полезных свойств сверток интегральных преобразований.

Для базисных ядер, зависящих от разности аргументов

$$\int_{-\infty}^\infty u(s)\varphi(t-s)ds \quad (3)$$

преобразование Фурье от левой и правой части (3) дает

$$X(f) = U(f)\phi(f), \quad (4)$$

где $X(f), U(f), \phi(f)$ – функции преобразования (3), преобразования Фурье от $x(t), u(t)$ и $\varphi(f)$ соответственно.

Для преобразования Меллина имеем для свертки функций

$$\int_0^{\infty} R_1(x/t) f_2(x) \frac{dx}{x} = M_1(s) M_2(s), \quad (5)$$

где $M_1(s)$ и $M_2(s)$ – ПМ от функций $f_1(x)$ и $f_2(x)$. Для этого преобразования, авторами, в их монографии [5]; приведены таблицы мультипликативных характеристических функций, элементы их теории, которые в свою очередь облегчают решение ряда задач.

В работе рассматриваются вопросы теоретического обоснования применения свертки ПМ для решения интегральных уравнений, нахождения мультипликативных характеристических функций произведений случайных процессов, уделено внимание обоснованию ПМ и нахождению ядер новых интегральных преобразований.

Основная часть

Важной особенностью ПМ является то, что следуя теореме Слейтер, интегралы, принадлежащие классу гамма-функций и гипергеометрических функций представляются в виде интегралов Меллина-Барнса, подлежат регулярному обратному преобразованию Меллина на основе регулярной теоремы Слейтер [1].

Используя результаты работ [1,2,3,4 ,8, 9, 10, 11] получены основные соотношения для операторов

$$M(x; \nu) = \int_0^{\infty} x(t) t^{\nu-1} dt, \quad (5)$$

$$M(u; \nu) = \int_0^{\infty} u(t) t^{\nu-1} dt, \quad (6)$$

которые порождают ряд важных равенств и широко используются в дальнейших приложениях ПМ.

На основе работ [3,6] рассмотрим операторные методы решения интегральных уравнений. Интегральные уравнения на основе свертки Меллина

$$R(x) = \int_0^{\infty} k(x/t) \varphi(t) \frac{dt}{t} = k(s) \phi(s) \quad (7)$$

имеет вид

$$\varphi(x) = f(x) + \int_0^{\infty} k(x/t) \varphi(t) \frac{dt}{t}. \quad (8)$$

Вычислив от левой и правой части (8) ПМ получим $\phi(s) = F(s) + k(s)\phi(s)$ или $\phi(s)(1 - k(s)) = F(s)$, тогда решение уравнения (8) имеет вид

$$\varphi(x) = \frac{1}{2\pi j} \int_{c-j\infty}^{c+j\infty} F \frac{(s)}{1-k(s)} x^{-s} ds. \quad (9)$$

Условия $F(s)$ и $R(s)$ должны иметь общее кольцо сходимости интеграла (9)

Пример 1. Пусть $f(x) = 1, 0 < x < 1, K(x) = x^\alpha, 0 < x < 1$, тогда на основе [7] получим

$$k(s) = (s + \alpha)^{-1}; F(s) = s^{-1}; Rs > -\text{Jm}|\alpha|.$$

Запишем (28)

$$\varphi(x) = \frac{1}{2\pi j} \int_{c-j\infty}^{c+j\infty} \frac{s+\alpha}{s(s+\alpha-1)} x^{-s} ds. \quad (10)$$

Обозначив $\alpha - 1 = p$ и воспользовавшись методом неопределенных коэффициентов и результатами [7,8] получим $\varphi(x) = \frac{\alpha}{p} + x^p \left(1 - \frac{\alpha}{p}\right)$, подставив вместо $p = \alpha - 1$ и, проведя несложные упрощения, имеем, если α комплексное число равное $\alpha = c + ju$, то

$$\begin{aligned} \varphi(x) &= \frac{1}{c + ju} (c + ju - e^{(c-1+ju)\ln x}) = \\ &= 1 - \frac{e^{c-1}}{c+ju} (\cos(c-1)\ln u - j\sin(c-1)\ln u). \end{aligned} \quad (11)$$

Второй тип интегрального уравнения имеет вид

$$\varphi(y) = f(y) + \int_0^\infty k(xy)\varphi(x)dx, \quad (12)$$

в операторной форме запишется как

$$\phi(s) = F(s) + \phi(1-s)k(s), \quad (13)$$

воспользовавшись равенством (5) и (6) запишем (13) в виде,

$$\phi(s) = F(s) + \phi(s)k(1-s)$$

и получим $\phi(s) = \frac{F(s)+F(1-s)k(s)}{1-k(s)k(1-s)}$.

Выводы

В результате проведенных исследований получено основные равенства и элементы теории операторного метода исчисления, основанного на интегральном преобразовании Меллина. Получен ряд важных применений операторов интегрального ПМ, которые проиллюстрированы на конкретных примерах. Во второй части статьи будет рассмотрено применение предлагаемой теории к решению задач обработки сигналов в радиотехнических системах и устройствах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Маричев О.И. Метод вычисления интегралов от специальных функций (теория и таблицы формул). Минск. Наука и техника., 1978.

2. *Фрэнкс Л.* Теория сигналов. Нью-Джерси, 1969 г. Пер. с английского под ред. Д.Е. Вакмана, М., « Сов. Радио », 1974, 344 с.
3. Fritz Jberhettinger / *Tables of Mellin Transforms* . Springer-verlag . Berlin , Heidelberg, New York . 1974.
4. *Джрбашиян М.М.* Интегральные преобразования и представление функций в комплексной области. Изд. « Наука ». Главная редакция физико-математической литературы. М.: 1965.
5. *Макаров А.М.* Введение в теорию мультипликативных характеристических функций : Монография-Пятигорск : ПГУ , 2018.-62с.
6. *Краснов М.Л., Киселев А.И., Макаренко Г.И.* Интегральные уравнения: Задачи и примеры с подробными решениями: Учебное пособие. Изд. 3-е, испр. - М.: УРСС, 2003. - 192 с.
7. *Фихтенгольц Г.М.* Курс дифференциального и интегрального исчисления. Том 2 . Издательство главная редакция физико-математической литературы.- М. : 1969г.
8. *Бейтмен Г., Эрдейи А.* Таблицы интегральных преобразований .Т 1, преобразование ФУРЬЕ , Лапласа , Меллина . Изд. «Наука », -М.: -1965г.
9. *Макаров А.М.* Характеристическая функция в пространстве мультипликативной свертки.-Теория и техника многофункциональных устройств обработки сигналов в условиях априорной неопределенности. Материалы научно-технического семинара.-Таганрог , ТРТУ .-1994г.С.3-4.
10. *Дейнеко М.С., Макаров А.М.* Введение в теорию и приложения мультипликативных характеристических функций.-Деп. ВИНТИ №393,-М. :2002.
11. *Bertrand J., Bertrand P., Ovarlez J.* The Mellin Transform. The Transforms and Applications Handbook: Second Edition. Ed. Alexander D. Poularikas. Boca Raton: CRC Press LLC, 2000.

Макаров Анатолий Михайлович – профессор, профессор кафедры информационно-коммуникационных технологий, математики и информационной безопасности, Россия, г.Пятигорск, ул.Адмиральского, д.2, к.2, кв.813, 357500, телефон: 89283746783, email: mellin_22@mail.ru.

Постовалов Степан Сергеевич – магистр, старший преподаватель кафедры информационно-коммуникационных технологий, математики и информационной безопасности, Россия, г.Пятигорск, ул.Адмиральского, д.2, к.2, кв.813, 357500, телефон: 89064996162, email: poroh20100@yandex.ru.

Makarov Anatoly Mihaylovich – Professor, Professor, Department of information and communication technologies, mathematics and information security, Russia, Pyatigorsk, ul. Admiralskogo, d. 2, K. 2, sq. 813, 357500, phone: 89283746783, email: melin_22@mail.ru.

Postovalov Stepan Sergeevich – master, senior lecturer of the Department of information and communication technologies, mathematics and information security, Russia, Pyatigorsk, ul. Admiralsky, 2, K. 2, sq. 813, 357500, phone: 89064996162, email: poroh20100@yandex.ru.

УДК 621-752

Тимофеев Алексей Евгеньевич

РАЗРАБОТКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ВИБРОДИАГНОСТИКИ

В статье приведено описание метода осуществления метрологического самоконтроля в измерительной системе вибродиагностики, показана структурная схема измерительной системы, приведены особенности её функционирования в режиме самоконтроля.

Метрологический самоконтроль, пьезоэлектрический датчик, система мониторинга, система вибродиагностики.

Alexey Evgenievich Timofeev

DEVELOPMENT SYSTEM OF VIBRATION DIAGNOSTIC

The article describes a method of self-control in the measuring system of vibration diagnostics, shows the block diagram of the measuring system, present the features of its functioning in the mode of self-monitoring.

Metrological self-control, piezoelectric sensor, monitoring system, vibrodiagnostics system.

Введение

Для осуществления периодического профилактического обслуживания традиционными методами, любой станок или транспортное средство приходится останавливать. Замена некоторых деталей или модулей в этом случае осуществляется до того, как они выработали свой ресурс, что ведет к

увеличению стоимости эксплуатации и не гарантирует отсутствие аварий в дальнейшем.

Современные технические системы и оборудование оснащаются множеством датчиков, которые встроены в систему мониторинга. Более перспективный подход состоит в прогностическом обслуживании оборудования и транспортных систем, который состоит в сборе первичной информации о состоянии ключевых узлов с помощью датчиков и передаче данных в удаленный блок обработки и анализа. Данный блок на основе полученных данных информирует о техническом состоянии всей системы в целом.

Одним из ярких примеров реализации перспективного подхода является продукция компании NTN-SNR для различных отраслей: автомобилестроение, промышленность, аэрокосмос. Разработав мировой стандарт Active Sensor Bearing (ASB), компания освоила в производстве целый ряд подшипников, позволяющих контролировать различные параметры: скорость, угловое положение, момент, вибрация [1]. Принцип работы таких «интеллектуальных» подшипников стандарта ASB состоит в соединении механического ступичного подшипника с многополюсным магнитным диском, над которым расположен активный сенсор. Сигнал сенсора, создаваемый магнитным полем вращающегося диска, поступает в микропроцессорный блок бортового компьютера, где используется системами ABS, ESP, навигации и противостоит. Подшипник ASB обеспечивает мгновенную передачу информации от каждого из четырех колес автомобиля в бортовой компьютер.

Достоверность данных получаемых от датчиков необходимо контролировать.

Получая информацию от множества датчиков, необходимо быть уверенным в их правильном функционировании. Традиционные методы контроля метрологической исправности самих датчиков, а именно проверка или калибровка с периодичностью 1-2 года в настоящее время не эффективны по экономическим причинам. На смену традиционным методам контроля приходят альтернативные методы самоконтроля, которые обеспечивают [2]:

- снижение риска возникновения необнаруженного метрологического отказа;
- обоснование назначения межкалибровочного интервала в зависимости от остаточного метрологического ресурса;

- снижение эксплуатационных затрат за счет уменьшения количества проверок и калибровок;

- уменьшение финансовых потерь, обусловленных последствиями метрологических отказов.

Начиная с 2000-х годов в мире растет интенсивность работ по внедрению автоматического контроля метрологической исправности датчиков в процессе эксплуатации. Данный факт подтверждает создание специализированных секций на конференциях и симпозиумах «Sensor-2005» в Нюрнберге (Германия), ISMTII – 2007 Сендай (Япония) по этой проблеме [3].

Разработка системы вибродиагностики

Исходя из актуальности задачи диагностики промышленного оборудования и транспорта в реальном времени, необходимо создать систему мониторинга ключевых элементов вращающихся агрегатов – подшипников качения, от состояния которых зависит работоспособность единичного узла и подвижного объекта в целом.

Главным и наиболее распространенным фактором, влияющим на состояние подшипника качения, является ухудшение качества смазки. Признаками необходимости замены смазки является возбуждение ударной ультразвуковой вибрации за счет разрыва смазочного слоя и ударов тел качения о неподвижное кольцо [4,5]. Неправильный подбор смазочного материала, разрывы смазочной пленки при недостаточной вязкости вызывают усталостные разрушения поверхностей подшипника качения. В начале, возникают подповерхностные микротрещины, затем поверхность в некоторых местах приобретает матовый серый цвет [6]. Дальнейшее развитие дефекта ведет к отслаиванию элементов поверхности и ее растрескиванию. Также могут проявляться и другие дефекты [7,8].

Для решения задачи диагностики подшипников качения наиболее широкое применение получили методы, основанные на анализе виброакустических сигналов [9,10]. Эти методы можно разделить на три основные категории: временные, частотные и частотно-временные.

Данные методы обычно не являются полностью независимыми и показывают большую эффективность при совместном использовании. Существует следующая проблема: на ранних стадиях зарождения дефекта информативные составляющие вибросигнала имеют крайне малую энергию и оказываются спрятанными под фоновым шумом. Следовательно, эффективный метод обработки сигнала должен предполагать извлечение информативных признаков повреждения при отношении сигнал/шум меньше 1.

Наибольший интерес на данный момент представляет группа частотно-временных методов, поскольку они позволяют локализовать во времени особенности вибросигнала, следовательно, потенциально более чувствительны к зарождающимся дефектам, чем временные и спектральные методы. К их недостаткам следует отнести математическую сложность, а также сложность реализации и интерпретации результатов.

В целях модернизации существующих систем периодического вибрационного мониторинга разрабатывается малогабаритная, малопотребляющая СБИС (рис.1), которая будет иметь возможность подключения акселерометра, датчика оборотов, температуры; а также содержать интерфейсы для обмена информацией с внешними устройствами сбора, хранения и анализа данных. Микросхема будет составной частью системы вибродиагностики подшипника, которая позволит автоматически принимать решение о его техническом состоянии в реальном времени.

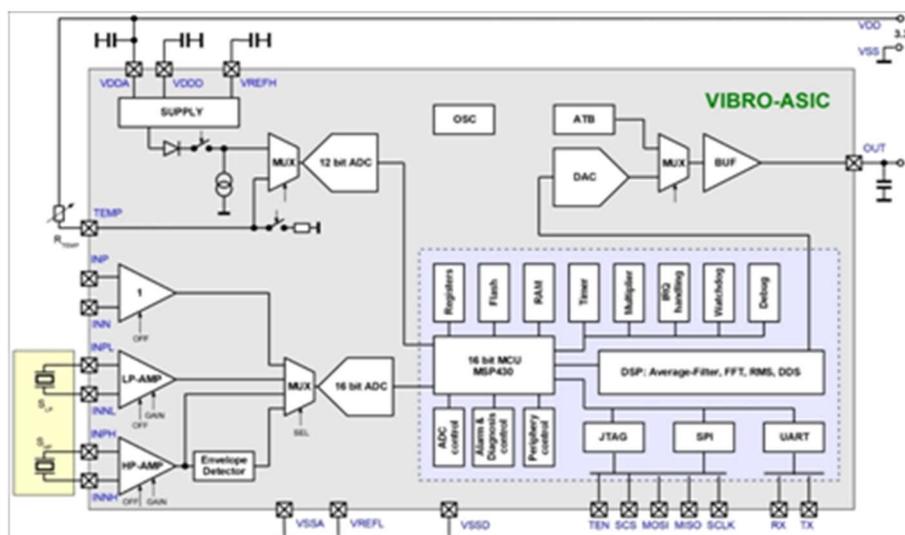


Рис. 1. Структура микросхемы

Аналоговая часть микросхемы «VIBRO-ASIC» состоит из входных каналов: измерения вибрации (низкочастотной и высокочастотной) и температуры. Цифровая часть включает: 16-ти разрядный микроконтроллер, сигнальный процессор и блок интерфейсов (SPI, UART, JTAG).

В состав микросхемы входит 16-ти разрядный аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) последовательного приближения со временем преобразования 2 мкс, что соответствует частоте выборок 500 кГц. Входы АЦП подключены через мультиплексор к выходам инструментальных усилителей низкочастотного и высокочастотного каналов. АЦП построен на

основе 16-ти разрядной дифференциальной емкостной матрицы с разделительным конденсатором, он работает по принципу последовательного приближения, калибруется через тестовый интерфейс JTAG.

Низкочастотный канал содержит инструментальный усилитель напряжения с высоким входным сопротивлением и программируемым коэффициентом усиления от 2 до 104, с фиксированной верхней полосой пропускания 10 кГц.

Высокочастотный канал включает аналогичный усилитель напряжения, но с полосой пропускания от 28 до 32 кГц.

Тактовый генератор микросхемы работает на калиброванной частоте 16 МГц с точностью $\pm 2\%$ и возможностью ее триммирования в широких пределах с шагом не более 1,5 %, что обусловлено требованиями точности асинхронного интерфейса UART.

Интерфейс JTAG предназначен для проведения лабораторных измерений и тестирования микросхемы с возможностью доступа ко всем ее функциональным блокам.

Цифровая часть микросхемы выполняет функции конфигурации управляющих регистров и регистров хранения результатов измерений, синхронного управления периферийными устройствами (мультиплексорами, АЦП).

Реализация метода метрологического самоконтроля

С целью реализации метода самоконтроля, в структурную схему на рис. 1 добавлен блок функциональной самодиагностики (рис. 2).

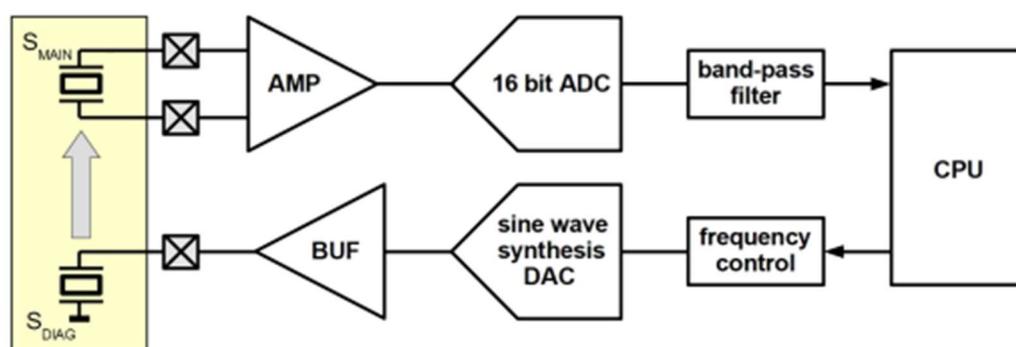


Рис. 2. Структурная схема блока функциональной самодиагностики

Для проверки метрологической исправности датчика (датчиков), входящего в состав измерительной системы используются дополнительные данные, полученные за счет структурной избыточности системы. Струк-

турная избыточность обеспечивается использованием в системе дополнительного чувствительного пьезоэлектрического элемента, монтируемого непосредственно рядом с основным датчиком. Дополнительный чувствительный пьезоэлемент, используемый в качестве источника вибросигнала, представляет собой обычный пьезодатчик с характеристиками, близкими к характеристикам основного пьезодатчика.

На рис. 2 приведена блок-схема основного и дополнительного измерительных каналов. Дополнительный канал содержит синтезатор гармонического сигнала, управляемый процессором. В тестовом режиме микропроцессор активирует синтезатор гармонического сигнала, сигнал которого через цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) и выходной буфер передается на дополнительный пьезоэлемент, который в свою очередь генерирует диагностический вибросигнал для основного пьезодатчика. После обработки диагностического сигнала, система принимает решение о работоспособности измерительной системы.

ЦАП системы метрологической самодиагностики реализован на нелинейном резистивном принципе и формирует синусоидальный сигнал по 12 точкам (рис.3).

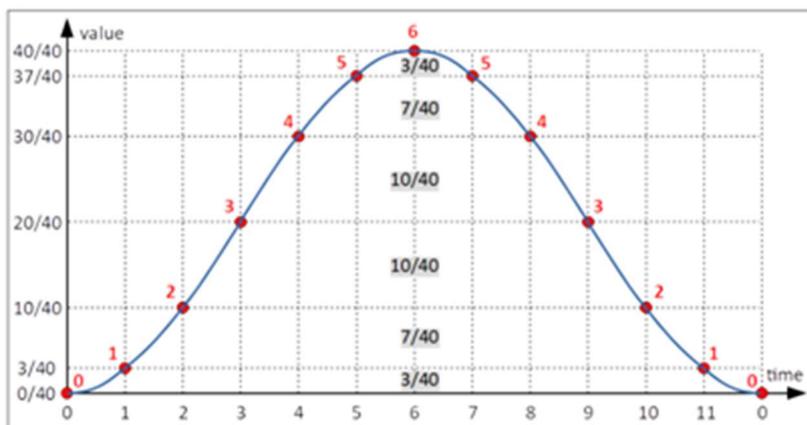


Рис. 3. График формирования гармонического сигнала системы метрологического самоконтроля

Измерения проводятся в реальном времени, когда все пьезоэлектрические элементы установлены на вибрирующий объект. Задача системы вибродиагностики состоит в том, чтобы выделить заранее известный синтезированный сигнал заданной частоты на фоне шума и заранее неизвестного

полезного сигнала основного датчика. В качестве опорного значения использовано измерение вибросигнала контролируемого преобразователя при воздействии дополнительного пьезоэлектрического элемента и последующего сравнения отношения их значений с опорным значением, определенным при предшествующей калибровке.

По отклонению отношения значений выходных сигналов, измеренных в процессе эксплуатации, от опорного значения может быть оценена метрологическая исправность датчика [11].

Выводы

В статье приведено описание перспективной малогабаритной измерительной системы вибродиагностики с функцией метрологического самоконтроля. Показаны преимущества данной системы по сравнению с традиционными способами диагностики. Имеется возможность интеграции системы с механическим подшипником типа ASB, и создания тем самым компактной системы мониторинга вибрации и положения для транспортных и промышленных применений.

Данная работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по Соглашению о предоставлении субсидии №14.581.21.0030 от 27 октября 2017 года, уникальный идентификатор работ (проекта) RFMEFI58117X0030.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Датчики и магнитные кольца NTN-SNR: различные решения для интеграции // URL: <https://www.ntn-snr.com/ru/datchiki-i-magnitnye-kolca-ntn-snr> (дата обращения: 25.04.2019)
2. Тайманов Р.Е., Сапожникова К.В. Метрологический самоконтроль датчиков // Sensors and Systems. – 2011. – №2. – с. 59-66
3. Пронин А.Н., Сапожникова К.В., Тайманов Р.Е. Контроль достоверности информации, поступающей от датчиков // Sensors and Systems. – 2008. – №8. – с. 58-63
4. Типичные повреждения подшипников и их причины // Подшипник.РУ URL: http://www.podshipnik.ru/analyst/80/element_73.html (дата обращения: 25.04.2019)
5. Влияние дефектов износа поверхностей качения на вибрацию // Tehnoinfo.ru URL: <http://www.tehnoinfo.ru/vibrodiagnostika/50.html> (дата обращения: 25.04.2019)

6. Технология вибрационного диагностирования подшипников качения колёсно-моторных блоков локомотивов // Северо-Западный учебный центр. URL: <http://vibro-expert.ru/tehnologiya-vibracionnogo-diagnostirovaniya-podshipnikov-kacheniya-kolesno-motornix-blokov-lokomotivov.html> (дата обращения: 25.04.2019)
7. Эксплуатационные дефекты подшипников качения и их проявление в вибросигнале. // Научный альманах URL: <http://ucom.ru/doc/na.2016.04.03.197.pdf> (дата обращения: 25.04.2019)
8. Повреждения подшипников качения и их причины // SKF. URL: http://prme.ru/pub/catalogues/skf/data/installation_and_maintenance_service/reasons_damage_bearings.pdf (дата обращения: 25.04.2019)
9. *Гаврилин А.Н.* Диагностика технологических систем: учебное пособие. Часть 2 / А.Н. Гаврилин, Б.Б. Мойзес; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 128 с.
10. *Devendiran S., Manivannan Dr. K.* Vibration Based Condition Monitoring and Fault Diagnosis Technologies For Bearing and Gear Components-A Review // International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 11, Number 6 (2016) pp. 3966-3975.
11. ГОСТ Р 8.734-2011 Государственная система обеспечения единства измерений. Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Методы метрологического самоконтроля.

Тимофеев Алексей Евгеньевич – инженер НИУ «МИЭТ», Россия, город Зеленоград, пл. Шокина д.1, 124498, телефон: +7 (906) 036-46-52, email: alex_93_ti@mail.ru.

Timofeev Alexey Evgenievich – Engineer of the National Research Institute «MIET», Russia, Zelenograd City, pl. Shokina 1, 124498, tel. +7 (906) 036-46-52, email: alex_93_ti@mail.ru.

УДК 51-7, 004.421.2

Малыхина Анастасия Александровна, Нагаенко Александр Владимирович,
Скрылёв Александр Владимирович, Панич Евгений Анатольевич

АЛГОРИТМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ОПТИМАЛЬНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

В настоящей работе представлен алгоритм для выбора пьезокерамических элементов с заданными характеристиками и проектирования на их основе электромеханических преобразователей. В качестве входных параметров принимаются электрическая ёмкость, резонансная частота и механическая добротность. Разработанный алгоритм позволяет упростить процесс проектирования резонаторов с заданными параметрами.

Пьезокерамика, резонансная частота, электромеханический преобразователь, резонатор, оптимизация.

Malykhina Anastasia Aleksandrovna, Nagaenko Aleksander Vladimirovich,
Skrylev Aleksander Vladimirovich, Panich Evgeniy Anatolievich

THE ALGORITHM FOR THE DESIGN OF PIEZOCERAMIC CONVERTERS WITH OPTIMAL CHARACTERISTICS

In this paper, we develop an algorithm for selecting piezoceramic elements with given characteristics and designing electromechanical transducers on their basis. The input parameters are capacity, resonant frequency and mechanical Q . The developed algorithm allows us to simplify the process of selecting resonators with given parameters.

Piezoceramics, resonant frequency, electromechanical converter, resonator, optimization.

Введение

Пьезокерамические преобразователи широко применяются в различных областях техники и при научных исследованиях. Это обусловлено особыми свойствами пьезокерамики как материала, позволяющего использовать для электромеханического преобразования энергии разнообразные формы колебаний упругих тел различной конфигурации[1]. В настоящее

время определён широкий спектр пьезокерамических материалов, способных служить в качестве колебательной системы в разнообразных электро-механических преобразователях. Развитие микропроцессорной техники приводит к постоянной миниатюризации приборов и устройств. На основе пьезокерамики разрабатываются как миниатюрные высокочувствительные приемники, датчики различного назначения, так и мощные двигатели и излучатели, применяемые в технике ультразвука и в гидроакустике. В связи с широким распространением ЭМП из пьезокерамики возрос интерес к теории их расчета и проектирования [1].

Согласно [1,2], при проектировании пьезокерамических электромеханических преобразователей, различают две задачи:

1. Задачу расчета выходных характеристик преобразователей при заданных воздействиях на входе.
2. Задачу оптимизации показателей эффективности преобразователей с учетом условий их согласования с механическими (акустическими) нагрузками и с радиотехническими устройствами.

В данной работе проводится один из методов решения первой задачи.

Основная часть

Согласно отраслевому стандарту [4], для определения частотных постоянных планарной (N_p^E) и сдвиговой (N_4^{-E}) мод колебаний, воспользуемся формулами:

$$N_p^E = f_r \cdot D, \quad (1)$$

$$N_4^{-E} = f_r \cdot h, \quad (2)$$

где f_r – частота первого (основного) обертона пьезокерамического элемента в форме круглого диска, Гц, D – его диаметр, м, h – его высота, м.

В ходе работы были рассчитаны частотные постоянные для целого ряда пьезокерамических материалов марки ПКП, выпускаемых в НКТБ «Пьезоприбор». Для измерения резонансной частоты, а также диэлектрической проницаемости, механической добротности и прочих электрофизических параметров использовались установки «Цензурка-2М» и «НЮКИ 3532-50 LCR HiTESTER». Полученные данные были занесены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики различных пьезокерамических материалов

Материал	$\text{tg}\delta$, %	E_{33}^T/E_0	Q_m	K_p	N_p^E , Гц \cdot мм	$|d_{31}|$, пКл/Н
ТБ	1,9	1700	2300	0,36	3200	77
ЦТБС-3	1,2	2300	200	0,52	2400	158
ЦТС-19	3	1100	70	0,45	1980	123
ЦТС-60В	2,5	1600	70	0,40	1800	116
ПКР-8	0,35	1400	2000	0,58	2180	130
КНБС-43/57	1	2000	250	0,35	2700	67
PZT-4A	0.4	1300	500	0,58	1600	123
PZT-5A	2	1700	75	0,60	1400	171
PZT-5H	2.5	3400	65	0,65	1420	274
ПКВ -460	0,33	1450	1200	0,58	2240	145
ПКП-11	2	3500	90	0,58	1985	230
ПКП-12	2,5	4500	60	0,66	2000	320
ПКП-33	0,35	1100	1100	0,52	2250	120
ПКП-35	0,55	1200	750	0,58	2240	143

Помимо пьезокерамических материалов, чьи свойства зафиксированы отраслевым стандартом [4] и собственных разработок НКТБ «Пьезоприбор» с аббревиатурой «ПКП», в табл. 1 внесены зарубежные материалы марки «PZT».

Взяв за основу данные табл. 1, был создан алгоритм, позволяющий упростить проектирование пьезокерамического преобразователя и упростить выбор подходящего материала и геометрических размеров пьезоэлемента. Краткий принцип работы алгоритма описан следующими пунктами:

1. В качестве входных параметров используются: ёмкость элемента, минимальные значения добротности, коэффициента связи, пьезомодуля, рабочей частоты.

2. На основе введённых данных вычисляется площадь поверхности, диаметр и высота пьезокерамического элемента формы «цилиндр/диск». Цикл производится для каждого возможного материала. Высота и диаметр варьируются в определённом соотношении с целью исключить критические варианты.

3. Производится сравнение введённых параметров с имеющимися. Отсекаются лишние материалы.

4. На экран выводятся один или несколько подходящих по всем параметрам вариантов исполнения пьезоэлементов.

5. В случае неправильно введенных параметров или ошибки в значениях, пользователю предлагается исправить существующие значения.

Выводы

В ходе работы были получены значения электрофизических и частотных характеристик различных пьезокерамических материалов. На основе полученных данных создан алгоритм, позволяющий определять оптимальные характеристики пьезокерамических преобразователей на основе вводимых пользователем параметров. Данный алгоритм реализован в среде разработки PHP-7 и MySQL-5. Имеется потребность в расширении функциональных возможностей, а именно: введение в работу дополнительных типоразмеров, таких как шайба, кольцо, призма.

Результаты измерений, представленные в данной работе, получены на оборудовании ЦКП «Высокие технологии».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Доля В.К.* Изучение цилиндрических преобразователей. // Учебное пособие. Ростов-на-Дону, 2008 г.
2. *Мэзон У.* Физическая акустика // Москва, «Мир», 1966 г.
3. *Грибовский П.О.* Керамические твердые схемы // Москва, «Энергия», 1971 г.
4. Отраслевой стандарт 110444-87: «Материалы пьезокерамические»
5. *Свирская С.Н.* Пьезокерамическое материаловедение. // Учебное пособие. Ростов-на-Дону, 2009 г.
6. *Малыхин А.Ю., Панич А.Е., Скрылёв А.В., Нагаенко А.В., Немыкин В.В.* Деформационные свойства пьезокерамического материала ЦТБС-3 // Сборник трудов: "II Международная молодёжная научная конференция Актуальные проблемы пьезоэлектрического приборостроения", 6-10 сентября 2015 г., г. Ростов-на-Дону.
7. *Скрылёв А.В., Панич А.Е., Малыхин А.Ю., Наганко А.В.* Свойства пьезокерамического материала пкп-12 в интервале температур от -140° до 150°С // Пятый Международный молодежный симпозиум "Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. (Анализ современного состояния и перспективы развития) LFPM-2016". 12-15 сентября 2016.

Малыхина Анастасия Александровна – Магистр Института высоких технологий и пьезотехники Южного федерального университета; Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Мильчакова, 10, 344090, malyhin@sfedu.ru, тел. +79185987349.

Нагаенко Александр Владимирович – кандидат технических наук, начальник сектора, Научное конструкторско-технологическое бюро «Пьезоприбор» Южного федерального университета; Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Мильчакова, 10, 344090.

Скрылёв Александр Владимирович – младший научный сотрудник Института высоких технологий и пьезотехники Южного федерального университета; Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Мильчакова, 10, 344090.

Панич Евгений Анатольевич – начальник лаборатории, Научное конструкторско-технологическое бюро «Пьезоприбор» Южного федерального университета; Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Мильчакова, 10, 344090

Malykhina Anastasia Alexandrovna – Master of the Institute of High Technologies and Piezotechnics, Southern Federal University; 344090, Rostov-on-Don, st. Milchakova 10.

Nagaenko Alexander Vladimirovich – Candidate of Technical Sciences, Head of the section, Scientific Design and Technological Bureau "Piezopribor" Southern Federal University; 344090, Rostov-on-Don, st. Milchakova 10.

Skrylev Alexander Vladimirovich – Junior Researcher, Southern Federal University; 344090, Rostov-on-Don, st. Milchakova 10.

Panich Yevgeny Anatolyevich – Head of the laboratory, Scientific Design and Technological Bureau "Piezopribor" Southern Federal University; 344090, Rostov-on-Don, st. Milchakova 10.

УДК 681.142

Балыбердин Валерий Алексеевич, Белевцев Андрей Михайлович,
Белевцев Андрей Андреевич, Бендерский Геннадий Петрович

ОБ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ДАННЫХ В ИНФОРМАЦИОННОМ ПОЛЕ АСУ НА БАЗЕ ПРЕДЛОЖЕНИЙ МЕЖДУНАРОДНЫХ СТАНДАРТОВ

Рассмотрены предложенные в международных стандартах характеристики качества данных. Установлено, что приведенная в стандартах совокупность характеристик качества данных рассчитана на их использование для самого широкого круга прикладных систем и является в достаточной мере избыточной при рассмотрении конкретной АСУ. Предложено разделение рассматриваемого множества характеристик качества данных на: основное подмножество, в которое должны входить характеристики, определяющие реализацию основного назначения рассматриваемой системы; вспомогательное подмножество, включающее характеристики, обеспечивающие реализацию характеристик основного подмножества; дополнительное подмножество, включающее характеристики, которые в определенных ситуациях могут оказаться полезными при расширенном рассмотрении свойств системы.

Изложение материала проводится применительно к функциональной специфике АСУ специального назначения (СН) для управления коллективной деятельностью.

Автоматическая система управления, основное подмножество, вспомогательное подмножество, дополнительное подмножество.

Baliberdin Valery Alekseevitch, Belevtsev Andrey Michailovitch,
Belevtsev Andrey Andreevich, Bendersky Gennady Petrovich

ASSESSMENT OF QUALITY OF DATA IN THE INFORMATION FIELD OF THE ACS ON THE BASIS OF PROPOSALS BY THE INTERNATIONAL STANDARDS

The characteristics of data quality proposed in international standards are considered. It is established that the set of data quality characteristics given in the stand-

ards is designed for their use for a wide range of application systems and is sufficiently redundant when considering a specific ACS. It is proposed to divide the considered set of data quality characteristics into: the main subset, which should include the characteristics that determine the implementation of the main purpose of the system; an auxiliary subset that includes characteristics that provide the implementation of the characteristics of the main subset; an additional subset that includes characteristics that in certain situations can be useful in an extended consideration of the properties of the system.

The presentation of the material is carried out in relation to the functional specifics of the special purpose ACS (SP) for the management of collective activities.

Automatic control system, main subset, auxiliary subset, additional subset.

1. Общая характеристика современного подхода к оценке качества данных

Вопросы оценки качества данных достаточно длительное время привлекают внимание исследователей и разработчиков АСУ. Здесь можно сослаться на основополагающие по рассматриваемой тематике работы отечественных и зарубежных ученых А.И.Костогрызова, В.Н.Любицына, В.О. Куваева, Madnick S., Todoran I.G и других, опубликованные в ряде монографий и статей [1-6].

При этом следует заметить, что в большинстве случаев понятие качества данных трактуется в смысле семантической их сущности, имеющей смысловой (содержательный) характер, ориентированный на специфику конкретной прикладной области. Поэтому проблема оценки качества данных в информационном поле АСУ в этом плане представляется достаточно сложной и многоаспектной. Рассмотрим возможный подход к ее решению.

В последние годы данная тематика получила свое отражение на международном уровне в плане отработки соответствующих нормативных документов по стандартизации. В первую очередь здесь необходимо отметить международные стандарты ИСО/МЕК 25012 (Модель качества данных) и ИСО/МЕК 25024 (Измерение качества данных), представляющие собой основу для решения широкого круга вопросов, связанных с оценкой и обеспечением требуемого качества данных в создаваемых системах и комплексах автоматизированного управления.

Упомянутые стандарты предлагают достаточно широкую трактовку проблемы оценки качества данных, включающую пятнадцать характеристик качества, каждая из которых может раскрываться посредством ряда

подхарактеристик (показателей качества). При этом полагается, что набор предлагаемых характеристик определяет наиболее общие потребности измерения качества данных. Полагается также, что вопрос релевантности данных, связанный с отбором и формированием данных таким образом, чтобы последние адекватно представляли исследуемый объект, должен решаться заранее в соответствии со спецификой объекта. Иными словами – указанные характеристики качества данных определяются на наборе релевантных для рассматриваемой прикладной области данных.

Далее заметим, что в ситуациях конкретной прикладной специфики прикладной области предлагаемый упомянутыми стандартами набор характеристик (а особенно – подхарактеристик) может изменяться и дополняться в соответствии с данной спецификой. С учетом этого положения проанализируем предлагаемую совокупность характеристик качества данных с учетом специфики конкретной системы автоматизированного управления и сформулируем предложения по набору характеристик качества данных в рассматриваемой АСУ, в наибольшей степени соответствующих реальным потребностям данной АСУ.

Прежде всего, рассмотрим предложенные в упомянутых стандартах характеристики качества данных в том порядке, в каком они представлены. При этом отметим, что указанные характеристики следует интерпретировать в конкретном контексте их использования.

В соответствии со стандартами характеристика **правильности** данных (ассигу) определяет, насколько верно используемые данные соответствуют истинным значениям отображаемых ими свойств и событий с учетом различных точек зрения, а именно – в синтаксическом и семантическом плане, а также в плане проведенной статистики измерений.

Характеристика **полноты** данных (completeness) определяет, насколько полно используемые данные отображают области значений для всех возможных атрибутов и входных параметров решаемых прикладных задач. *Например*, для координатной информации зачастую недостаточно дать координаты X и Y . Нужна еще высота H .

Согласованность данных (consistency) характеризует непротиворечивость атрибутов данных и их согласованность с другими данными. При этом согласованность трактуется как в отношении собственно значений данных, так и в отношении их форматов и результатов обработки ссылочных и корректирующих процедур.

Пример: Данные будут противоречивы, если часть их представлена в метрической системе, а часть – в английской системе мер.

Характеристика **достоверности** данных (credibility) определяет степень уверенности, что данные правдоподобны, т.е. определяет уровень доверия к представленным значениям данных с учетом таких факторов, как надежность источника данных, возможности и конкретные результаты аудита и проверки данных.

Актуальность данных (currentness) характеризует соответствие содержания данных текущему моменту (т.е. что данные не устарели). При этом учитываются такие моменты, как частота обновления данных, временная задержка между моментами изменения и использования данных и т.д.

Доступность данных (accessibility) определяется возможностью получения данных в специфических условиях функционирования системы, в том числе людьми с ограниченными физическими возможностями.

Характеристика **соответствия** данных существующим соглашениям (compliance) определяет их взаимосвязь с существующими стандартами, соглашениями и правилами.

Конфиденциальность данных (confidentiality) характеризует наличие атрибутов, которые доступны и могут интерпретироваться только допущенными лицами в специфических условиях использования.

Эффективность данных (efficiency) характеризует затраты на обработку данных с учетом использования определенного формата и принятой организации хранения данных.

Точность данных (precision) определяет точностные характеристики и форматирование данных с точки зрения удовлетворения функциональным потребностям применения данных. Характеристика сочетает внутреннее (собственно точность данных) и системные (точность формата) свойства данных.

Отслеживаемость данных (traseability) характеризует имеющиеся возможности по выявлению обращений (доступа) к данным для их считывания или корректировки.

Понимаемость данных (undestandability) определяет степень наличия атрибутов, обеспечивающих чтение и интерпретацию данных пользователями и их отображение соответствующими языковыми средствами.

Временная пригодность данных (availability) определяет степень наличия атрибутов, доступных в определенный временной период и обес-

печивающих соблюдение сроков использования данных авторизованными пользователями или приложениями.

Переносимость данных (portability) характеризует возможность поддерживать и сохранять заданный уровень операций и качества данных даже в условиях сбоев и отказов.

Восстанавливаемость данных (recoverability) определяет возможности восстановления утраченных данных.

Первые пять характеристик списка относятся только к внутренним (inherent) характеристикам данных. Последние три – только к системным (system dependent). Остальные – сочетание тех и других.

Таким образом, проблема оценки качества данных имеет многоаспектный характер и основывается на содержательном анализе определенного числа характеристик данных, отображающих различные их свойства.

2. Детализация характеристик качества данных применительно к специфике АСУ СН

Проведенный анализ рассмотренных характеристик качества данных в плане их содержательной сущности применительно к специфике АСУ СН позволяет сделать некоторые предварительные предложения.

Прежде всего, отметим, что приведенная в стандартах совокупность характеристик качества данных рассчитана на их использование для самого широкого круга прикладных систем. Вследствие этого, при проведении конкретного рассмотрения конкретной прикладной системы она является в достаточной мере избыточной. Проведенный анализ показал, что целесообразно осуществить разделение рассматриваемого множества характеристик на:

- основное подмножество, в которое должны входить характеристики, определяющие реализацию основного назначения рассматриваемой системы;
- вспомогательное подмножество, включающее характеристики, обеспечивающие уточнение и расширение свойств характеристик основного подмножества;
- дополнительное подмножество, включающее характеристики, которые в определенных ситуациях могут оказаться полезными при расширенном рассмотрении свойств прикладной системы.

Далее встает задача проведения в рамках каждого из выделенных подмножеств ранжировки характеристик по их значимости с точки зрения реализации функционального назначения рассматриваемой системы. Это поз-

волит акцентировать внимание на наиболее важных аспектах данных при рассмотрении конкретных прикладных систем в конкретных условиях их функционирования. Для решения этой задачи наиболее подходящим инструментом можно считать метод анализа иерархий (МАИ) [8,9].

Такой подход должен позволить наиболее предметно и глубоко рассмотреть проблемные вопросы оценки и обеспечения качества данных с учетом основных особенностей построения и использования рассматриваемой АСУ.

Рассмотрим описанный подход в отношении специфики прикладной области, связанной с функционированием АСУ СН в процессе выполнения возложенных задач.

Проведенный нами анализ показал, что исходя из требований к процессу управления в рассматриваемой АСУ в состав основного подмножества характеристик качества данных следует отнести характеристики: *правильности, полноты, согласованности, достоверности, актуальности, точности*. Это означает, что используемые данные должны верно отображать реальные потребности их прикладного назначения (*правильность и достоверность*), а их содержание должно соответствовать текущему моменту (*актуальность*). При этом должен использоваться необходимый набор атрибутов, обеспечивающих полноту отображения требуемой области значений атрибутов (*полнота*), а также заданные точностные характеристики (*точность*), и непротиворечивость данных различных пользователей (*согласованность*). Такая трактовка совокупности характеристик качества данных в АСУ СН обеспечивает, на наш взгляд, отображение основных свойств АСУ, необходимых для ее эффективного функционирования в процессе боевого использования.

В свою очередь отдельные характеристики основного подмножества имеют различную относительную значимость (разный «вес») с точки зрения целевого назначения системы. В табл. 1 представлен вариант оценки этих «весов» для рассматриваемой АСУ, полученный на базе применения МАИ.

Таблица 1

Относительная значимость основных характеристик

Правильность	Достоверность	Актуальность	Согласованность	Точность	Полнота
0.257	0.257	0.128	0.128	0.128	0.104

В логическом плане такие значения относительной значимости основных характеристик вполне объяснимы. В самом деле, вполне очевидно, что используемые данные в первую очередь должны быть достоверными и правильно отображать текущую ситуацию. Конечно, актуальность и согласованность, а также точность и полнота тоже важны. Однако, опытный оператор имеет возможность, при необходимости, внести необходимые коррективы в отношении этих показателей, основываясь на личном опыте и знании общей обстановки. Особенно это относится к показателю полнота. Поэтому в соответствии с методологией МАИ указанные показатели получили несколько меньшую оценку относительной значимости.

В состав вспомогательного подмножества отнесем характеристики *конфиденциальности, эффективности, временной пригодности, переносимости и восстанавливаемости*. В определенных условиях роль отдельных из этих характеристик может заметно возрастать. Например, при большой нагрузке системы увеличивается значимость мероприятий по оптимизации информационно-вычислительного процесса (*эффективность*); при наличии деструктивных внешних воздействий и невысокой надежности системы необходимы специальные действия по обеспечению *переносимости* и *восстанавливаемости* системы; в условиях большой динамики обстановки при наличии деструктивных внешних воздействий возникает необходимость учета фактора *временной пригодности данных*; степень *конфиденциальности* информации в зависимости от уровня управления может заметно меняться, что необходимо учитывать. Поэтому данное множество может рассматриваться как резерв для пополнения основного множества по мере возникновения потребности.

Соответственно, к дополнительному подмножеству отнесем характеристики: *доступности, соответствия, отслеживаемости, понятности*. Представляется, что с учетом специфики АСУ СН как системы управления коллективной деятельностью эти характеристики не имеют большого значения и могут не рассматриваться, кроме, может быть, некоторых специальных ситуаций.

После того, как определились с выбором характеристик оценки качества данных, в соответствии с общей идеологией стандартов серии ИСО/ИЕК 25000 встает задача определения для каждой из выбранных характеристик совокупности подхарактеристик (показателей качества). В упомянутых стандартах решение этой задачи представлено в самом общем виде в предположении, что каждый показатель может быть представ-

лен в виде отношения двух элементов, определяющих достигнутое и полное значение показателя. При этом количественные значения элементов определяются экспертно-экспериментальным путем.

Проведенный анализ показывает, что приведенные перечни элементов подмножеств характеристик качества данных с точки зрения специфики рассматриваемой АСУ в некоторых ситуациях могут быть избыточными, содержащими ряд недостаточно информативных положений. В других ситуациях оказывается, что в этих перечнях недостаточно выразительных средств, обеспечивающих адекватное отображение потребностей АСУ СН как системы управления коллективной деятельностью в качестве потребляемой информации. Поэтому указанные перечни при решении конкретных прикладных задач могут потребовать определенной корректировки.

Таким образом, проблема оценки качества данных, определяющих информационное поле АСУ на различных этапах функционирования АСУ, представляется достаточно сложной и многоаспектной. Ее решение во многом определяется семантической сущностью данных и поэтому зависит от конкретного содержания решаемых задач. В качестве исходного материала при решении прикладных задач целесообразно использовать имеющиеся наработки по оценке качества данных в последних международных стандартах (ИСО/ИЕК 25012, ИСО/ИЕК 25024), а также высказанные в настоящей работе предложения. При этом может возникнуть потребность корректировки предлагаемой системы характеристик качества данных и их разбиения по группам (подмножествам) с учетом реальных потребностей решаемых прикладных задач. В этом плане представленные выше предложения могут оказаться полезными.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Костогрызов А.И., Петухов А.В., Щербина А.М.* Основы оценки, обеспечения и повышения качества выходной информации в АСУ организационного типа. М.: «Вооружение.Политика.Конверсия», 1994.-278с.
2. *Любицын В.Н.* Повышение качества данных в контексте современных аналитических технологий. – Вестник ЮУГУ, серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. №23, 2012. –с.83-86.
3. *Куваев В.О., Ефимов В.В., Чечулин А.А., Лыжинкин К.В.* Варианты построения единого информационного пространства для интеграции разнородных автоматизированных систем. – Информация и космос, №4, 2015. – с.83-87.

4. *English L.*, Information Quality Applied, Wiley Publishing, Indianapolis, Indiana, 2009. – 238 p.
5. *Madnick S., R. Wang, Y. Lee and Zhu H.* Overview and Framework for Data and Information Quality Research, Journal of Data and Information Quality, 1(1), 2009. – P. 1–13.
6. *Todoran I.G., Lecornu L., Khenchaf A., Le Caillec J.-M.* Information quality evaluation in fusion systems”, in Information Fusion, 2013 / 16th International Conference on 9–12 July 2013 – P. 906–913.
7. *Новожилова Ю.А., Обухов О.В.* Модель бальной оценки качества информации.- <https://nauchforum.ru/studconf/social/XXIX/8966>.
8. *Саати Т.Л.* Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993. – 316 с.
9. *Саати Т.Л.* Принятие решений при зависимостях и обратных связях. – М.: Либроком, 2009. – 358 с.

Балыбердин Валерий Алексеевич – доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, 3 Центральный НИИ Министерства обороны РФ, Москва, Погонный-10.

Белевцев Андрей Михайлович – доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «МАИ - Российский государственный университет», профессор, Москва, Оршанская-3, e-mail:ambelevtsev@yandex.ru

Белевцев Андрей Андреевич – генеральный директор ООО «Рукс Солюшенс».

Бендерский Геннадий Петрович – доктор технических наук, профессор, генеральный директор НПО «Алмаз» им. Расплетина; e-mail:lemz67@mail.ru; г. Москва, e-mail:lemz67@mail.ru.

Baliberdin Valery Alekseevitch – doctor of science, professor, science worker, 3 Central Defence Institute, Moscow, Pogonny-10. e-mail:baliberdinv@yandex.ru.

Belevtsev Andrey Michailovitch – doctor of science, professor, MAI-university, Moscow, Orshanskaiy-3, e-mail:ambelevtsev@yandex.ru.

Belevtsev Andrey Andreevich – Director-general CEO RooX Solutions LLC, Phone:+79218550885, e-mail:ambelevtsev@yandex.ru.

Bendersky Gennady Petrovich – Director-general SPO «Almaz», Moscow, e-mail:lemz67@mail.ru.

Филимонова Ольга Алексеева

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ ГИС
ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ КАДАСТРОВОЙ ОЦЕНКИ ЗЕМЕЛЬ НА
ПРИМЕРЕ Г.ТАГАНРОГА**

Данная научно-исследовательской работа посвящена исследованию принципов построения ГИС визуализации данных кадастровой оценки на примере г.Таганрога. В ходе исследования рассмотрены принципы и приемы построения ГИС визуализации данных, кадастровая оценка и ее роль в ГИС, процесс обработки информации (кадастровой стоимости) для визуализации на карту. Представлена практическая реализация исследуемых принципов на примере г.Таганрога.

Земельный участок, геоинформационная система, кадастровая оценка, визуализация, данные. Может ли быть ключевым словом город или название программы.

Filimonova Olga Alekseeva

**RESEARCH OF PRINCIPLES OF CONSTRUCTION OF
GEOINFORMATION SYSTEM OF VISUALIZATION OF DATA OF
CADASTRAL ASSESSMENT OF LANDS ON THE EXAMPLE OF
TAGANROG**

This research work is devoted to the study of principles for constructing GIS data visualization of cadastral valuation on the example of Taganrog. In the course of the study, principles and techniques for constructing GIS data visualization, cadastral valuation and its role in GIS, information processing (cadastral value) for visualization on a map were considered. The practical implementation of the principles under study is presented on the example of Taganrog.

Land parcel, geographic information system, cadastral valuation, visualization, data.

Введение

Любая система землепользования имеет большие объемы информации об объектах¹ и субъектах земельных отношений. В течении времени значительная доля этой информации меняется, в следствии развития страны , расширения ее границ, роста городов и добавления новых объектов землепользования.

Каждый участок земли является объектом недвижимости, то есть товаром, который можно продать или купить, а также объектом налогообложения, нуждающемся в четком определении своей стоимости. Таким образом, актуальность темы заключается как в необходимости кадастровой оценки земельного фонда , так и постоянном мониторинге данных, исследовании новых и старых принципов построения ГИС визуализации данных для большей эффективности хранения, обработки и быстрой визуализация исходной информации больших объемов.

Цель работы: Исследование принципов построения ГИС визуализации данных кадастровой оценки земель и презентация их на примере г.Таганрога.

Задачи исследования:

- обзор основных понятий, необходимых для дальнейшей работы.

Введение в курс работы;

- ознакомление с принципами построения ГИС визуализации данных;
- ознакомление с кадастровой оценкой земель, как с базовым элементом при формировании ГИС;
- обработка и анализ принципов построения ГИС визуализации данных кадастровой оценки;
- практическая реализация исследуемых принципов на примере г.Таганрога;
- выводы.

Основная часть

Для современного земельного кадастра характерны накопления большого количества данных, обусловленные перераспределением земельного фонда по категориям земель, образованием новых и существующих землепользований и землевладений. Для этого нужно постоянное совершенство-

¹ "Земельный кодекс Российской Федерации" от 25.10.2001 N 136-ФЗ (ред. от 25.12.2018) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2019), статья 6

вание методов сбора и обработки информации, что является частью функционала Геоинформационной системы (ГИС).

В статье [1] представлено несколько точек зрения по поводу того, что собой представляет ГИС. С научной стороны ГИС – это средство моделирования и познания природных и социально-экономических систем. В технологическом аспекте ГИС – это средство сбора, хранения, преобразования информации. С производственной же точки зрения ГИС является совокупностью аппаратных устройств и программных продуктов, используемых для решения задач. Другими словами ГИС – это система для управления географической информацией, ее анализа и отображения структур данных, некая многомиллионная индустрия, в которую вовлечены сотни тысяч людей во всем мире [2].

Первым примером ГИС в истории была разработка информационной системы для учета земель, а так же для упорядочивания сбора в Западной Европе, США и Канаде в середине 60-х годов XX в. Наиболее удачной и законченной была канадская версия геоинформационной системы. Уже в 1970-х годах ее стали использовать для вывода координатно-привязанных данных на монитор. Происходило постепенное развитие технологий ГИС [3,4]. В связи с тем, что с 2006 г. налоги исчисляются на основании базовой кадастровой стоимости объекта по заключению проведенной кадастровой оценки земель [5,6], сейчас к ГИС предъявляются более обширные требования, такие как хранение, обработка и представление пространственных данных, более эффективный и быстрый подход к анализу проблем и решению задач. Для выполнения указанных требований ГИС должна строиться на следующих принципах:

1. Принцип интеграции. Все обрабатываемые данные вводятся в систему однократно, после чего многократно используются для решения задач.

2. Принцип системности. Обработка данных проводится в различных разрезах, чтобы получить информацию, необходимую для принятия решений на всех уровнях и во всех функциональных подсистемах; внимание не только к подсистемам, но и к связям между ними.

3. Принцип комплексности. Практически полная автоматизация процессов преобразования данных на всех уровнях и подсистемах.

Так же при создании любой ГИС используют два основных приема: генерализация и абстракция. Генерализация – это в первую очередь набор процедур классификации и обобщения, используемый для отбора и отоб-

ражения картографических объектов, соответственно масштабу, содержанию и тематической направленности с сохранением информативности при сжатии объема данных в ходе создания цифровой карты. Объекты и их свойства в данном приеме имеют разную значимость в зависимости от ландшафтов[7]. Абстракция – это процедура разделения данных на типы. В процесс данные преобразуются из большого количества однотипных, похожих, в новые более емкие и информативные по значению данные.

Комплексное применение всех выше обозначенных принципов и методов можно наблюдать на примере формирования Государственного земельного кадастра, так как именно кадастр является одной из ведущих сфер в ГИС[8]. Его основой является Кадастровая оценка² земель, представляющая собой совокупность установленных настоящим Федеральным законом процедур³, направленных на определение кадастровой стоимости и осуществляемых в порядке, установленном настоящим Федеральным законом. Можно сказать, что кадастровая оценка является главной характеристикой земельного участка. Такого рода мероприятия проводятся не менее 1 раза в 5 лет, захватывая большую область территории. Следовательно появляется огромный массив информации, который необходимо обработать и проанализировать. То есть произвести ранжирование по исходным данным, разделить на группы и подгруппы, определить диапазоны по заданным параметрам. Результаты для большего удобства можно представить в графическом виде.

Практическую реализацию исследуемых принципов рассмотрим на примере г. Таганрога, используя кадастровую карту России. Открыв официальный сайт, мы получаем доступ к данным ГЗК, представленным в виде карты. По средствам масштабирования выделяем интересующую нас территорию, в нашем случае это город Таганрог. Пользуясь функционалом ГИС, мы имеем возможность отобразить данные из ГЗК, наложенные на карту, по различным категориям, в том числе по кадастровой стоимости (рис.1). Для более удобного восприятия диапазоны стоимости дифференцированы по цвету. Таким образом, реализован принцип визуализации.

² Федеральном законе от 03.07.2016 N 237-ФЗ (ред. от 29.07.2017) "О государственной кадастровой оценке", статья 3

³ Федеральном законе от 03.07.2016 N 237-ФЗ (ред. от 29.07.2017) "О государственной кадастровой оценке", статья 6 часть 3

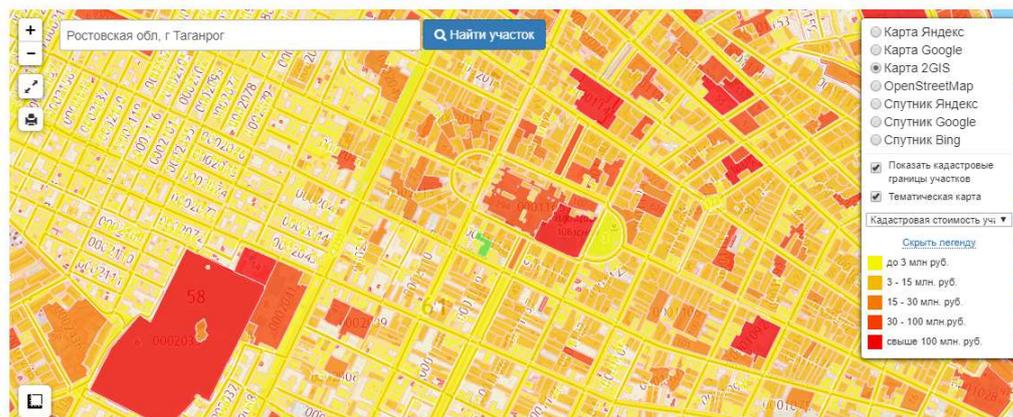


Рис. 1. Представленная кадастровая стоимость земель г.Таганрога

Вывод

В ходе проделанной работы я ознакомилась с такими понятиями, как Геоинформационная система (ГИС), Кадастровая оценка, генерализация, абстракция и визуализация информации, а так же исследовала принципы построения ГИС и способы визуализации исходных данных с помощью нее. Провела анализ и обработку данных кадастровой оценки земель на примере г.Таганрога по средствам публичной кадастровой карты России.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Васильев В.Н.* Обзор существующих ГИС // Молодой ученый. 2016. №14. С.62-66 URL:<https://moluch.ru/archive/118/32677/>(дата обращения: 29.03.2019).
2. *Журкин И.Г., Шайтура С.В.* Геоинформационные системы./ Москва: Кудиц-пресс, 2009.
3. *Дупленко А.Г.* Этапы и тенденции развития геоинформационных систем // Молодой ученый.2015.№9.С.115-117.URL: <https://moluch.ru/archive/89/18321/> (дата обращения: 29.03.2019).
4. *Гусева А.В.* Информационные системы//Горный информационно-аналитически бюллетень (научно-технический журнал),2013.
5. *Купецкая Т.А., Радионов Г.П.* ArcGIS в системе государственного кадастра объектов недвижимости//ArcReview | № 2 (33),2005 URL: https://www.esri-cis.ru/news/arcreview/detail.php?ID=1790&SECTION_ID=48&sphrase_id=13879960&print=Y (дата обращения 27.03.2019).
6. *Пылаева А.В.* Основы кадастровой оценки недвижимости // Статья / Землеустройство, кадастр и мониторинг земель/Нижний Новгород ННГАСУ,2014.

7. "Земельный кодекс Российской Федерации" от 25.10.2001 - N 136-ФЗ //ред. от 25.12.2018 (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2019).
8. Федеральном законе "О государственной кадастровой оценке" от 03.07.2016- N 237-ФЗ //ред. от 29.07.2017.
9. *Хабарова И.А, Хабаров Д.А, Быконя К.М.* Эффективность применения Гис при постановке земельного участка на кадастровый учет//Международный журнал прикладных наук и технологий «integral»,2018.
10. *Беляков.С.Л.* Электронный документооборот и генерализация электронных карт в ГИС // Журнал «Известия Южного федерального университета. Технические науки», 2014.

Филимонова Ольга Алексеевна – студентка Южного Федерального Университета, Россия, город Таганрог, переулок Тургеневский 44,347900, телефон +7 (9508)57-02-50, email: feelcomdog@gmail.com.

Filimonova Olga Alekseevna – Student of The Southern Federal University, Russia, Taganrog, 44 Turgenevsky lane,347900, phone: +7 (9508)57-02-50, email: feelcomdog@gmail.com.

УДК 621.397

Фадеева Анастасия Борисовна, Пилипенко Александр Михайлович

АЛГОРИТМЫ НЕЛИНЕЙНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ЗАДАЧ ОБНАРУЖЕНИЯ И РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ

Реализован автоматизированный метод повышения локального контраста на основе теории ретинекса и комплексирования экстремумов масштабных слоев в пакете прикладных программ MATLAB. Добавлено восстановление цвета после контрастирования яркостной компоненты. Проведено сравнение гистограмм исходного и обработанного изображения.

Локальный контраст, контрастирование, ретинекс, восстановление цвета, распознавание образов.

Fadeeva Anastasia Borisovna, Pilipenko Alexandr Mikhaylovich

ALGORITHMS OF NONLINEAR IMAGE PROCESSING FOR PROBLEMS OF PATTERN DETECTION AND RECOGNITION

The automated method of local contrast enhancement based on retinex theory and aggregation of scale-space layers extrema is implemented in the MATLAB environment. Color saturation adjustment for producing more natural colors is added. The histograms of the original and processed image were compared.

Local contrast, contrast enhancement, retinex, color restoration, image recognition.

Введение. Основные трудности решения задач обнаружения и распознавания образов обусловлены следующими факторами: динамическое изменение погодных условий и интенсивности освещения, наличие помех в виде теней, тумана и яркого солнечного света. Все перечисленные факторы могут значительно влиять на яркость и локальный контраст распознаваемых образов. Для решения задач автоматизированного обнаружения и распознавания используются искусственные нейронные сети, результат работы которых существенно зависит от поданных на вход данных. Обучение нейронных сетей на изображениях с низким уровнем локального контраста может привести к многократным ошибкам. Предобработка нелинейными алгоритмами контрастирования позволяет значительно улучшить восприятие объектов интереса на изображении.

Особый интерес представляет модифицированный алгоритм ретинекс с применением комплексирования экстремумов масштабных слоев [1], который превосходит прочие методы в части повышения локального контраста. Теория ретинекса моделирует визуальное восприятие световой информации человеком [2]. Традиционные методы повышения контраста – линейное преобразование яркости с отсечкой, гамма-коррекция, эквализация гистограммы [3], гомоморфная фильтрация [4] – не обладают универсальностью и требуют участия оператора в выборе метода и задании его настраиваемых параметров.

Алгоритм ретинекс. Согласно теории ретинекса модель процесса визуального восприятия световой информации человеком состоит в вычитании из логарифма входного изображения логарифма сглаженного входного

изображения с последовательно возрастающим СКО ФНЧ-фильтра. Результаты вычитаний, именуемые масштабными слоями [5], суммируются:

$$C_i(x, y) = \sum_{p=1}^P W_p \left\{ \log[I_i(x, y)] - \log[I_i(x, y) * G_p(x, y)] \right\}, \quad (1)$$

где $i \in R, G, B$ – цветовые каналы входного изображения I ; P – количество масштабных слоев; W_p – весовой коэффициент p -го слоя; символ “*” обозначает свертку, $G_p(x, y)$ – импульсная характеристика фильтра Гаусса с соответствующим среднеквадратическим отклонением (СКО).

Применение алгоритма (1) нивелирует пространственно-значимые перепады яркости и подчеркивает локальные, с одновременным растяжением динамического диапазона оттенков в тенях за счет логарифмирования. Классический алгоритм ретинекс описан в [6]. Акцент на возможности построения автоматизированной обработки изображений на его основе делается в [7].

Модифицированный алгоритм ретинекс. В данной работе был реализован модифицированный алгоритм ретинекс с применением комплексирования экстремумов масштабных слоев (рис. 1).

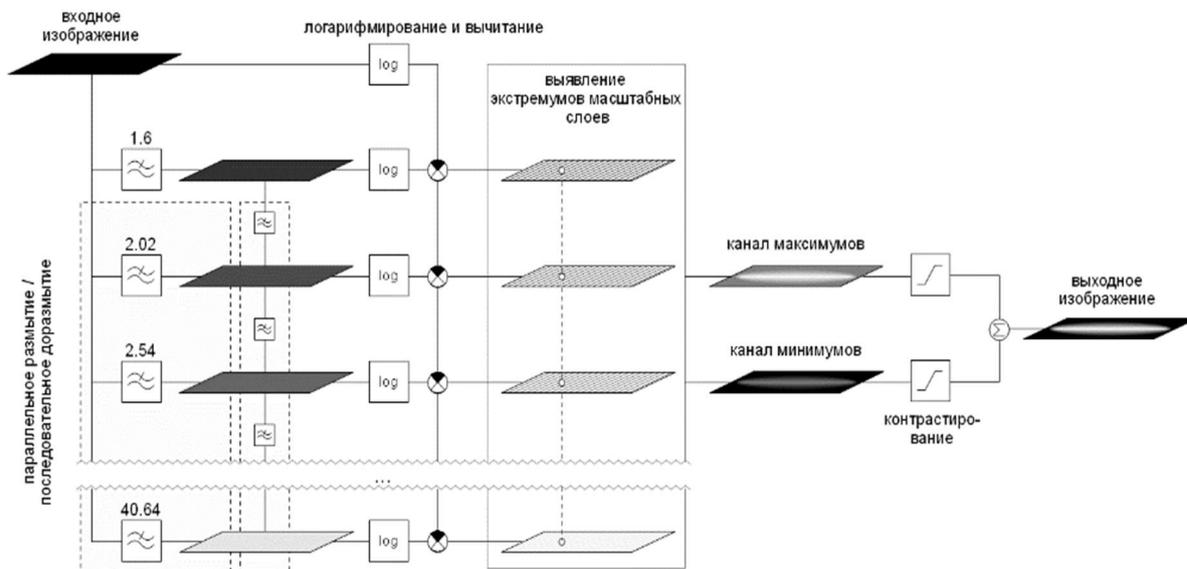


Рис. 1. Реализация модифицированного алгоритма ретинекс

Для реализации алгоритма использовался пакет MATLAB. Суть алгоритма заключается в следующем: с помощью логарифмированной гауссовой пирамиды и последующего вычитания из нее логарифма входного изображения, которое представляется каналом яркости в цветовой модели YUV, получают масштабные слои. Далее для каждого пикселя входного

изображения выбираются экстремумы из всей совокупности масштабных слоев, таким образом, выполняется переход к каналам минимумов и максимумов. После приведения их к нужному динамическому диапазону с помощью линейного контрастирования с отсечкой, выполняется пропорциональное суммирование.

Модифицированный алгоритм имеет ряд преимуществ. Например, выделение яркостного канала в пространстве YUV позволяет избежать появления артефактов в оттенках цвета. Разделение яркостного и цветоразностных каналов при обработке алгоритмом ретинекс рассматривается в работе [8]. Цветовые компоненты U и V обрабатываются с помощью маски коэффициентов усиления цвета, выравнивая тем самым насыщенность выходного изображения (рис.2).



Рис. 2. Исходное изображение а) и результат обработки рассматриваемым методом нелинейного контрастирования б)

С целью уменьшения цветовых сдвигов при обработке цветных изображений в предлагаемый алгоритм добавляются следующие шаги:

- исходное изображение в цветовом пространстве RGB преобразовывается в цветовое пространство YUV с помощью общепринятых формул перехода;
- рассматриваемый алгоритм применяется только к каналу Y , соответствующему интенсивности изображения;
- каналы цветности U , V изменяются с помощью маски коэффициентов усиления цвета;
- полученное изображение YUV преобразовывается в цветовое пространство RGB .

На рис. 3 приведены гистограммы распределения яркости входного и выходного изображений. Использовано построение гистограмм на 256

уровней яркости, столбцы показывают количество пикселей изображения с соответствующей яркостью – функция MATLAB *histogram(rgb2gray(image), 256)*. Так как каждый из каналов *R*, *G*, *B* имеет своё распределение яркостей, то для вывода гистограммы можно рассматривать каждый канал в отдельности – строить 3 гистограммы, либо преобразовать изображение в оттенки серого – функция *rgb2gray(image)*, которая на выходе дает изображение с одним каналом и несет в себе информацию об интенсивности всего изображения.

Анализируя распределение на рисунке рис. 3, *а*, можно сделать вывод, что первое изображение темное, так как вблизи нуля (черный цвет кодируется нулем в распределении $[0\ 1]$) сконцентрированы почти все пиксели изображения. Это подтверждается и самим изображением (рис. 2, *а*) – оно снято в ночное время и дорожная инфраструктура практически не видна. Распределение яркостей в диапазоне $[0.5\ 0.9]$ близко к нулю, то есть средних тонов на изображении нет.

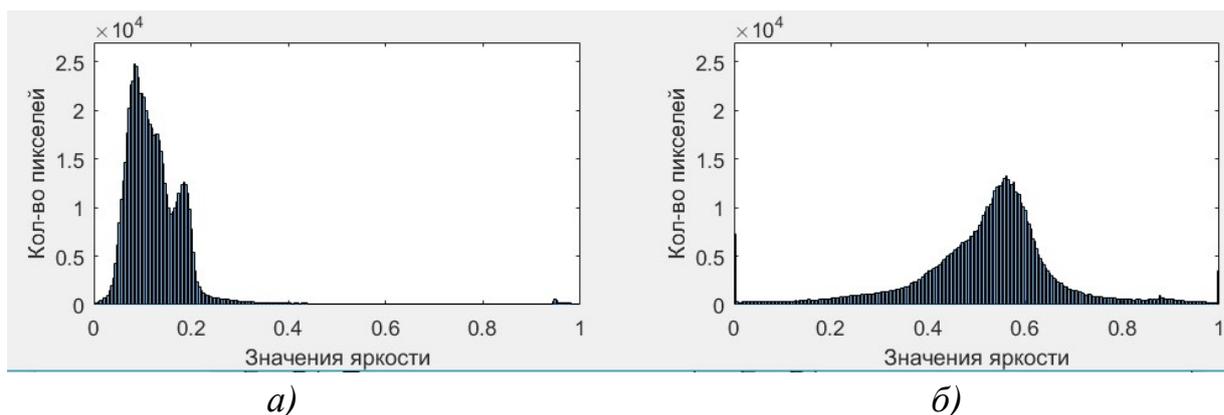


Рис. 3. Гистограммы распределения яркости входного (*а*) и выходного (*б*) изображений

Для того, чтобы изображение было более легким для восприятия, гистограмма должно иметь нормальное распределение, что показано в [9]. На таких изображениях нет засветов и затемнений, на снимке преобладают средние тона. Изображение с полным тональным диапазоном содержит ненулевое число пикселей во всех областях. На рис. 3, *б* представлена гистограмма яркостного канала изображения на выходе алгоритма. Математическое ожидание распределения яркостей переместилось к центру, то есть на изображении преобладают средние тона (полутона), гистограмма стала близка к гауссовому распределению. Из этого следует, что примене-

ние алгоритма улучшило визуальное восприятие сцены, что подтверждается статистическим анализом.

На рис. 4 для сравнения показаны области интереса входного (*а*, *в*) и выходного (*б*, *г*) изображений в укрупненном масштабе. Видно, что текст знака и автомобильный номер стали более читаемыми, тогда как на входном изображении номерной знак практически не различим.



Рис. 4. Детали входного (*а*, *в*) и выходного (*б*, *г*) изображений

Выводы. Использование модифицированного алгоритма повышения локального контраста для обработки цветных изображений в пространстве YUV позволяет снизить временные затраты до одной трети времени моделирования, т.к. обрабатывается только одна компонента, соответствующая интенсивности изображения. Предварительная обработка алгоритмами повышения локального контраста позволит улучшить работу известных искусственных нейронных сетей [10], которые способны различать цифры и буквы на изображениях, а также находить на изображении автомобильные номера.

Изображение, локальный контраст которого повышен рассматриваемым алгоритмом, проще обрабатывать как человеку, так и искусственным нейронным сетям, которые выделяют признаки исходя из поданных на вход изображений. Таким образом, можно повысить точность распознавания, снизить ошибки пропуска искомого объекта. Для систем управления беспилотным транспортным средством так же большое значение имеет компьютерное зрение, так как с помощью алгоритмов обработки изображений детектируются знаки, светофоры, полоса движения и разметка, препятствия, автомобили и пешеходы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Рюмин О.Г., Волков Е.П.* Автоматизированный метод повышения локального контраста на основе теории ретинекса и комплексирования экстремумов масштабных слоев // Труды Международной научно-технической конференции «Кибернетика и высокие технологии» – Т.1., Воронеж, 2014. – с.112 – 123.
2. *Land E. H., McCann J. J.* Lightness and retinex theory. Journal of the Optical Society of America, 61(1):1-11, January 1971.
3. *Pizer S.M., Amburn E.P., Austin J.D., Cromartie R., Geselowitz A., Greer T., ter Haar Romeny B., Zimmerman J.B., Zuiderveld K.* Adaptive Histogram Equalization and Its Variations // Computer Vision, Graphics, & Image Processing 39, 1987. – pp. 355 – 368.
4. *Гонсалес Р., Вудс Р., Эддингс С.* Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. М.:Техносфера, 2006.- 616 с.
5. *Яне Б.* Цифровая обработка изображений. М.:Техносфера, 2007.- 584 с.
6. *Rahman Z., Jobson D., Woodell G.A.* Multiscale Retinex for color image enhancement // Proc. IEEE Intl. Conf. Image Process, September 1996. – pp. 1003 – 1006.
7. *Rahman Z., Jobson D., Woodell G.A.* Multiscale Retinex Processing for Automatic Image Enhancement // Journal of Electronic Imaging Vol. 13, No. 1, 2004. – pp. 100 – 110.
8. *Golub Y., Starovoitov V.* Преобразование цветных изображений на базе технологии Ретинекс. Искусственный интеллект, 2007. 256-261 с.
9. *Андреев Ю.С.* Методы гистограммных преобразований и контроля в процессах полиграфического воспроизведения изображений / Ю. С. Андреев, О. А. Гурьянова, Е. А. Пухова // Информация: передача, обработка, восприятие: материалы международной научно-практической конференции (Екатеринбург, 12–13 января 2016 г.). — Екатеринбург: УрФУ, 2016. — С. 68-80.
10. *Хайкин С.* Нейронные сети. Полный курс, 2-е изд. Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2006. – 1104 с.

Фадеева Анастасия Борисовна – магистрант кафедры теоретических основ радиотехники Южного федерального университета, Россия, г. Таганрог, пер. Некрасовский 44, 347922, телефон: +7(938)117-41-66, e-mail: nastasya-fadeeva@inbox.ru.

Пилипенко Александр Михайлович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой теоретических основ радиотехники Южного федерального университета, телефон: +7(8634)37-16-32, e-mail: ampilipenko@sfedu.ru.

Fadeeva Anastasia Borisovna – master student of the department of fundamentals of radio engineering, Southern Federal University, Russia, Taganrog, 44 Nekrasovskiy lane, 347922, phone: +7(938)117-41-66, e-mail: nastasya-fadeeva@inbox.ru.

Pilipenko Alexandr Mikhaylovich – candidate of engineering sciences, associate professor, Head of the department of fundamentals of radio engineering, Southern Federal University, phone: +7(8634)37-16-32, e-mail: ampilipenko@sfedu.ru.

УДК 681.3.06

Подсвиров Владимир Николаевич

СИНТЕЗ ВСТРОЕННОГО КОНТЕКСТНО-ДООПРЕДЕЛЯЕМОГО ЯЗЫКА ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ОБУЧАЮЩИХСЯ АГЕНТОВ (ПРЕДСКАЗАНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ РЕСУРСОВ В СФЕРЕ ЖКХ)

В данной работе рассматриваются вопросы создания и использования контекстно-доопределяемых машинных языков для разработки новых информационных технологий. Рассмотрены вопросы реализации таких языков для интеллектуальных агентов, ориентированных на решения задач предсказания потребления ресурсов в сфере жилищно-коммунального хозяйства.

Особое внимание уделяется синтезу контекстно-доопределяемого языка, создаваемого для интеллектуального агента, реализующего функции предсказания потребления ресурсов в сфере ЖКХ.

Основная идея синтеза встроенного языка состоит в придании ему средств выделения частей алгоритма компонента и организации изменяемого в процессе вычислений соответствия между такой частью и контекстом. Благодаря этой связи исходный алгоритм может изменяться прямо или косвенно в процессе жизнедеятельности ИОА. В результате получается необходимое адаптационное изменение алгоритмов на основе накопленных знаний.

Машинные языки, контекстно-доопределяемые языки, новые информационные технологии, реализация машинных языков, интеллектуальные обучаемые агенты.

**SYNTHESIS OF THE BUILT-IN CONTEXT-REDEFINED
LANGUAGE FOR INTELLIGENT LEARNING AGENTS
(RESOURCE CONSUMPTION BEHAVIOR PREDICTION TASKS)**

This work deals with design and application questions of context-redefined computer languages for new information technologies. Realization problems of such languages are discussed for intelligent learning agents, which oriented to resource consumption behavior prediction tasks.

We interested in context-redefined language synthesis. This language is used for the conditions and methods context forming for every component of intelligent agent. We pay extra attention to methods of constructive function interpretation, which can be varied or can be also changed. This synthesis is based on the interest to prediction system demands and their variations during functioning.

The main idea of built-in language synthesis is to use main parts of the algorithm for ILA components with proper modification by means another algorithms and context connection. Due to this connection, the original algorithm can be changed directly or indirectly in the process of ILA functioning. As a result, We have to extract changing parts of component algorithms and organize proper interaction between every part and the context which can change it directly or indirectly. Required adaptive algorithm variation takes place on the base of obtained knowledge.

Computer languages, context-redefined languages, new information technologies, computer languages realization, intelligent learning agents.

Введение

Под контекстно-доопределяемым языком (КДЯ) понимаем язык, способный изменяться под воздействием добавляемого контекста [1]. При этом меняется не только трактовка некоторых предложений языка, но и появляются новые синтаксические и семантические конструкции.

Агентом [2] является все, что может рассматриваться как воспринимающее свою среду с помощью датчиков и воздействующее на эту среду с помощью исполнительных механизмов. Рассмотрим структуру обучающегося агента (рис.1).

Одной из проблемных задач ЖКХ (жилищно-коммунального хозяйства) является задача предсказания потребления ресурсов: воды, газа и электроэнергии. Это определяется необходимостью ведения планового хо-

зьяства и правильного расчета пропускной способности трубопроводов и сечения проводов подводящих электросетей, а также правильным заказом объемов потребления у поставщиков.

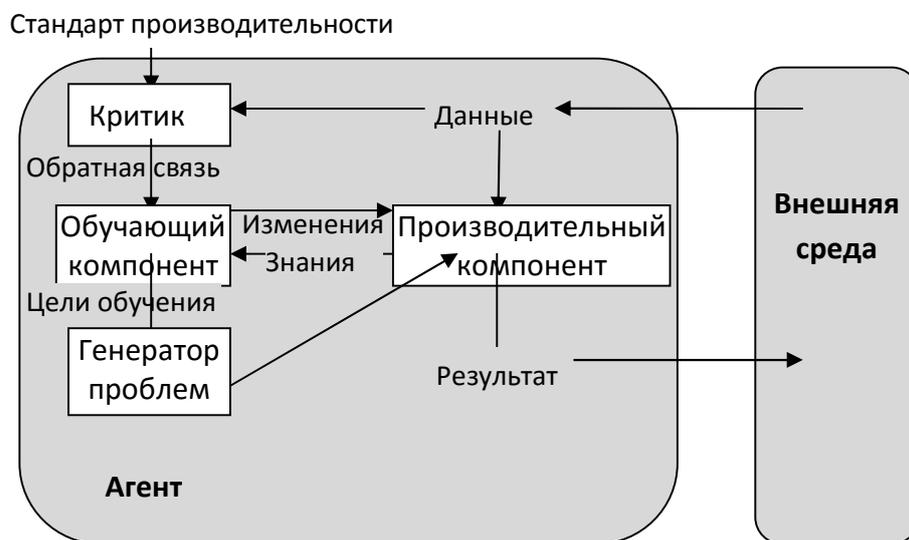


Рис. 1. Структура обучающегося агента

Использование интеллектуального агента (ИА) предполагает корректное формирование реализуемых им функций. Обучаемый интеллектуальный агент (рис.1) требует не только своевременного и эффективного обучения, но и быстрого и качественного изменения реализуемых им функций под воздействие этого обучения.

В процессе жизнедеятельности ИА приходится изменять не только коэффициенты математических функций, но и заменять сами математические функции, так как часто не удается свести реализуемые функции (ИА) к чисто математическим.

В таких условиях для описания функций ИА удобно использовать КДЯ [3-10].

Основная часть

Для реализации встроенного языка предлагается использовать язык, принадлежащий классу контекстно-доопределяемых языков (КДЯ).

Под контекстно-доопределяемым языком понимаем язык, способный изменяться под воздействием добавляемого контекста. При этом меняется не только трактовка некоторых предложений языка, но и появляются новые синтаксические и семантические конструкции.

В общем случае каждая из структурных составляющих ИОА может воздействовать на другие составляющие. То есть с точки зрения структурного воздействия можно говорить о полном графе связей между элементами ИОА. Надо обеспечить такую возможность, которая на практике может быть реализована частично. Это одно из требований к языку и реализующей структуре ИОА.

Предлагается реализовать это требование введением в структуру каждого элемента ИОА механизма, который в чем-то напоминает делегаты языка C#. Отличие состоит в том, что внедренные скрипты будут реализовываться интерпретатором встроенного в ИОА языка (ВЯ). В общем случае таких скриптов в каждом элементе ИОА может быть по числу оставшихся элементов ИОА за вычетом текущего. Порядок их срабатывания определяется жестко заданным алгоритмом, реализованным обычным образом. Конкретный состав и порядок срабатывания определяется на этапе создания ИОА и непосредственно зависит от конкретной задачи, стоящей перед разработчиком программного обеспечения (ПО).

Гибкость поведения ИОА в этом случае будет определяться, прежде всего, алгоритмами, реализующими такие скрипты.

Каждый скрипт должен обеспечивать поддержку условно постоянной части (УПЧ) алгоритма и условно изменяемой части (УИЧ) алгоритма.

Для ускорения процесса интерпретации можно использовать компилирующий интерпретатор. Проблема в его реализации состоит в том, что некоторые части откомпилированного ВЯ могут заменяться на новые в процессе исполнения скрипта, и могут заменяться самим скриптом в процессе жизнедеятельности ИОА.

Если мы работаем с исходным текстом, которые представляет собой совокупность строк, состоящих их символов, то все более или менее понятно. Задача состоит в изменении исходного текста скрипта.

Если мы изменяем код, созданный компилирующей частью, то главным предъявляемым требованием становится наличие механизма оперативной замены одних частей кода на другие.

Предлагается в качестве такого кода использовать граф типа дерево. Исполнение такого графа начинается с корня. Имеется прямой путь графа (ППГ) от одной вершины к другой. Этот путь определяется последовательностью операторов исходного текста. Кроме этого, имеется возможность циклического или условного перехода. То есть фактически существует два графа. Один граф содержит все вершины и связи между ними и является

графом типа дерева. Он является основным структурным элементом исполняемого скрипта. Другой граф содержит те же вершины, что и первый, но определяет условные и циклические переходы. Это соответствует условным и циклическим операторам ВЯ. Описание второго графа содержится в узлах первого, также как и описание связей первого графа.

Принципиальное отличие состоит в том, что наличие или отсутствие связей второго графа определяется во время выполнения скрипта. Кроме прямого пути графа могут иметься ответвления, которые рассматриваются как подграфы. Для каждой вершины имеется информация о прямом пути и об ответвлениях. Порядок обработки ответвлений определяется типом вершины.

Пусть ответвление представляет собой выполнение некоторых арифметических или вычислений любого другого типа. Тогда при достижении данной вершины по ППГ происходит выполнение ответвлений в соответствии с типом оператора, который реализует данная вершина. В случае арифметических вычислений это будет поддерево разбора строки ВЯ, где в качестве вершин будут фигурировать операции и операнды исходного арифметического выражения. После выполнения ответвления процесс продолжится в соответствии с ППГ.

Таким образом, каждая вершина ППГ имеет свой тип и алгоритм обработки подграфа (подграфов), непосредственно связанного с ней.

Условные и циклические вершины имеют возможность изменить последовательность выполнения процесса обработки по ППГ и передать управление на предшествующую и последующую область ППГ в рамках текущего скрипта или другому скрипту, который может быть скомпилирован отдельно от текущего.

Мы рассмотрели реализацию обычных алгоритмов средствами поддержки ВЯ. Если бы наши задачи исчерпывались такими изобразительными средствами, то нам не надо было изобретать что-то новое. Достаточно было бы воспользоваться традиционными языками, а не КДЯ.

КДЯ предоставляют нам возможность заменить или изменить любую часть графа, начиная с вершины, которая прилежит ППГ или в рамках ответвления. Такое действие соответствует изменению части скрипта на ВЯ.

Если мы заменим некоторую вершину, принадлежащую ППГ, на новую вершину, с примыкающими к ней ответвлениями, то получим принципиальные изменения реализуемого алгоритма.

Пусть нам необходимо заменить исполнение арифметического выражения на другое. Арифметическое выражение определяется оператором арифметических вычислений. Для этого достаточно иметь скомпилированное отдельно дерево, соответствующее новому арифметическому выражению. Значение ссылки предыдущей вершины ППГ (указывает на текущую, заменяемую вершину) изменяем на новое, которое теперь указывает на новую вершину. Значение ссылки добавленной вершины заменяем значением, указывающим на следующую вершину ППГ. Граф принимает новый вид.

Декомпиляция такого скрипта покажет, что одно арифметическое выражение было заменено на другое.

Каждая вершина графа представляет собой объект, который связан с объектами такого же типа. Это похоже на однонаправленные списки, реализуемые объектами с соответствующими ссылками. Принципиальное отличие состоит в том, что имеется не только последующий элемент, который соответствует ППГ, но и некоторое количество ответвлений, которые обрабатываются в соответствии с типом вершины, до перехода на следующую вершину ППГ.

В общем случае вместо любой вершины, принадлежащей ППГ, мы можем вставить ссылку на полноценный граф, который содержит свой ППГ. По окончании добавленного подграфа управление должно быть передано следующей вершине ППГ основного графа. Таким образом, можно заменить одну вершину на целый алгоритм, содержащий условные и циклические элементы. Внутри внедренного алгоритма могут быть свои внедрения и так далее. В результате общая сложность простого с виду алгоритма может увеличиваться по мере производства вычислений.

В обычном языке общий процесс вычислений можно описать с помощью двух типов действий: последовательное выполнение команд и изменение последовательности команд. КДЯ предоставляет помимо этого еще и возможность изменять содержание этих действий, то есть можно изменять сами выполняемые команды. Изменения возможны самые разнообразные: от замены одной команды на другую до замены групп команд на другие группы команд.

При замене последовательно выполняемых команд обычно проблем не возникает, так как совместимость последовательно выполняемых команд контролировать довольно просто. Наибольшие проблемы возникают с командами, которые изменяют последовательность выполнения текущего

набора команд. Проблема состоит в том, что могут быть получены ссылки (переходы) на несуществующие места в памяти.

Выводы

Практическая реализация компилирующего интерпретатора, который реализует язык, основанный на вышеприведенных принципах, подтвердила правильность используемого подхода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Подсвилов В.Н.* Контекстно-доопределяемые языки и интеллектуальные агенты. Актуальные проблемы современной науки: Международная научно-практическая конференция. Алушта, 2015.-С.192-194.
2. *Russell St., Norvig P.* Artificial Intelligence: A modern Approach. Third addition. Copyright © Pearson Education Limited, Edinburgh Gate, Harlow, Essex, CM20, 2JE, 2014, 1099 p.
3. *Podsvirov V.N.* Context-Redefined Language Application for the Tasks of Intelligent Learning Agents (Resource Consumption Behavior Prediction Tasks). International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 11, Number 15 (2016) pp 8471-8484.
4. *Подсвилов В.Н.* Использование контекстно-доопределяемых языков для решения задачи обучения интеллектуальных агентов. Актуальные проблемы современной науки: Международная научно-практическая конференция. Алушта, 2016.-С.229-232.
5. *Подсвилов В.Н.* Контекстно-доопределяемые языки и продукции. Инфокоммуникационные технологии в науке, производстве и образовании: Шестая международная научно-техническая конференция. Ставрополь, 2014.- С. 391-393.
6. *Подсвилов В.Н.* Продукции и контекстно-доопределяемые языки. Актуальные проблемы современной науки: Вторая международная научно-практическая конференция. Ставрополь, 2013.- С. 190-192.
7. *Подсвилов В.Н.* Один подход к реализации контекстно-доопределяемых языков. Инфокоммуникационные технологии в науке, производстве и образовании: Пятая международная научно-техническая конференция. Ставрополь, 2012. – С. 54 – 57.
8. *Подсвилов В.Н.* Контекстно-доопределяющая составляющая современных языков логического программирования. Актуальные проблемы и инновации в экономике, управлении, образовании, информационных технологиях. Ма-

териалы международной научной конференции. Ставрополь, 2011. – С. 150 – 152.

9. *Подсвилов В.Н.* Один подход к реализации контекстно-доопределяемых языков. Инфокоммуникационные технологии в науке, производстве и образовании: Пятая международная научно-техническая конференция. Ставрополь, 2012. – С. 54 – 57.
10. *Подсвилов В.Н.* Создание и использование контекстно-доопределяемых языков. / Информационные технологии в науке, производстве и образовании: Третья международная научно-техническая конференция. Ставрополь, 2008. – С. 76 – 78.

Подсвилов Владимир Николаевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Научно-технический центр "Техноцентр" Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Петровская 81, 347900, телефон: +7(8634)31-11-43, email: podsvirvs@inbox.ru.

Podsvirov Vladimir Nikolaevich – Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Senior Research Officer, Scientific and Technical Center "Technocenter" Southern Federal University, 347900, Russia, Taganrog, 81 Petrovskaya street, phone: +7 (8634) 31-11-43, email: podsvirvs@inbox.ru.

УДК.621.317

Нсуе Хасинто Мба Бийе, Федосов Валентин Петрович,
Кучерявенко Светлана Валентиновна

ОБНАРУЖЕНИЕ И ИЗМЕРЕНИЕ КРАТКОВРЕМЕННОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ЧАСТОТЫ ВЫСОКОСТАБИЛЬНЫХ ГАРМОНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Работа посвящена определению нестабильности частоты генераторов, которые обеспечивают синхронизацию цифровых сетей связи. В работе предложен алгоритм обнаружения кратковременной нестабильности частоты сверхстабильных квазигармонических колебаний.

Синхронизация, нестабильность, частота, вариация Алана, умножительно-преобразовательный критерий, гармоники.

Jacinto Nsue Mba Biyé, Fedosov Valentin Petrovich,
Kucheryavenko Svetlana Valentinovna

THE DETECTION AND MEASUREMENT OF SHORT-TERM FREQUENCY INSTABILITY OF HIGHLY STABLE HARMONIC SIGNALS

The work is devoted to the determination of the frequency instability of generators, which provide synchronization of digital communication networks. The paper proposes an algorithm for detecting short-term frequency instability of super table quasi-harmonic oscillators.

Synchronization, instability, frequency, Allan's variation, multiplication-conversion criterion, harmonics

Использование приемников с фазовой синхронизацией в беспилотных исследованиях дальнего космоса требует высокой степени фазовой стабильности в передатчиках и приемниках, используемых в сетях. Настоящие требования основаны на доступной мощности передатчиков, шумовой температуре приемников и диапазоне запланированных целей, а значит и требует также точности измерений. Требования к фазовому шуму систем, измеренному при ширине полосы двухстороннего шума 5 Гц, должны быть менее 0,2 рад в диапазоне частот дециметровых и сантиметровых длин волн. Нередко встречается задача определить фактические характеристики работающей системы международной сети радиотелескопов и средства связи, при которой требования к фазовому шуму: ширина полосы двухстороннего шума 5 Гц, должна быть меньше чем 0,05 рад. Те же требования установлены для характеристик развивающейся системы X-band. Иногда используются для экспериментов экстремальные диапазоны (0,05 рад.), в методы корреляции, использующие цифровую систему онлайн обработки данных. Эта система используется для экспериментов по планетарному и лунному картографированию и применима к экстремальной дальности, низкоскоростной телеметрии и связи. Требования к этой системе те же самые, что и для системы с фазовой синхронизацией, с дополнительным требованием, чтобы частота непрерывно стабильно изменялась и находилась с точностью в пределах 1×10^{-10} и 1×10^{-11} в течение четырех секунд (4 с.), которые считаются периодом усреднения.

Задача измерения частоты сигналов, а также обеспечения ее стабильности является актуальной задачей в областях науки как, например: радиоэлектронике, приборостроении, электронике, электросвязи, медицине и других. Приборами, выполняющими эти измерения, являются частотомеры, с определёнными степенями чувствительности. На данный момент самые чувствительные измерительные приборы способны обнаружить относительную нестабильность, лежащую в пределах от 10^{-9} до 10^{-11} , а сверхстабильные квазигармонические колебания, которые обеспечивают синхронизацию цифровых сетей связи, обладают относительной нестабильностью частоты порядка от 10^{-13} до 10^{-14} и меньше в течение двух секунд.

Цель работы представляет собой разработку алгоритма определения кратковременной нестабильности частоты сверхстабильных квазигармонических колебаний, для последующей возможности ее измерения обычными методами. Тенденция данной работы является выполнением условий, поставленных в ее названии. В настоящее время существует несколько методов измерения кратковременной стабильности частоты, в зависимости от конечных требований, условий, при которых система будет применена. Из всех используемых методов измерения нестабильности частоты генераторов были рассмотрены только современные методы измерения кратковременной нестабильности частоты высокостабильных квазигармонических сигналов, такие как, например: вариация Адамара или модифицированная вариация Алана, сама вариация Алан и в конечном счете, предлагаемый авторами этой статьи метод «умножительно-преобразовательный». Для рассмотрения измерения кратковременной нестабильности частоты квазигармонических колебаний, по умножительно-преобразовательному принципу [1], предлагается вспомнить сущность умножения частоты, заключающаяся в процессе получения колебаний с частотой, кратной частоте первоначального колебания. Суть метода, объясняется, как следует: задаются два сигнала

$$s_1(t) = A_0 \cos[\omega_0 t + \phi_1(t)], \quad s_2(t) = A_0 \cos[\omega_0 t + \phi_2(t)] \quad (1)$$

которые различаются всего лишь по мгновенной фазе, а при этом, все остальные параметры строго считаются одинаковыми. Эти сигналы подчиняются обработке, по ниже представленной схеме (рис.1):

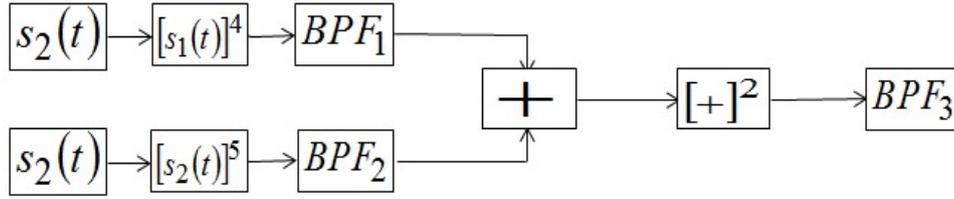


Рис. 1. Структура умножительно-преобразовательных операций

На первом шагу обработки сигналов происходит возведение сигналов $s_1(t)$ и $s_2(t)$ в четвертую и в пятую степень соответственно. Аналитический процесс преобразования или возведения сигнала Γ_1 или $s_1(t)$ в четвертую степень проводится в соответствии с выражением (2):

$$\begin{aligned}
 [s_1(t)]^4 &= A_0^4 \cos^4[\omega_0 t + \phi_1(t)] = \\
 &= A_0^4 \left[\frac{1 + \cos 2[\omega_0 t + \phi_1(t)]}{2} \right] \left[\frac{1 + \cos 2[\omega_0 t + \phi_0(t)]}{2} \right] = \\
 &= \frac{A_0^4}{4} (3 + 4 \cos[2\omega_0 t + 2\phi_1(t)] + \cos[4\omega_0 t + 4\phi_1(t)]) = \\
 &= 3 \frac{A_0^4}{4} + A_0^4 \cos[2\omega_0 t + 2\phi_1(t)] + \frac{A_0^4}{4} \cos[4\omega_0 t + 4\phi_1(t)]
 \end{aligned} \tag{2}$$

Процесс возведения сигнала Γ_2 или $s_2(t)$ в пятую степень проводится в соответствии с выражением (3):

$$\begin{aligned}
 [s_2(t)]^5 &= A_0^5 \cos^5[\omega_0 t + \phi_2(t)] = A_0^5 \cos[\omega_0 t + \phi_2(t)] \cos^4[\omega_0 t + \phi_2(t)] = \\
 &= A_0^5 \cos[\omega_0 t + \phi_2(t)] \cdot \frac{1}{4} (3 + 4 \cos[2\omega_0 t + 2\phi_2(t)] + \cos[4\omega_0 t + 4\phi_2(t)]) = \\
 &= \frac{A_0^5}{4} \left(3 \cos[\omega_0 t + \phi_2(t)] + 4 \left(\frac{1 + \cos[2\omega_0 t + 2\phi_2(t)]}{2} \right) + \right. \\
 &\quad \left. + \cos[\omega_0 t + \phi_2(t)] \cos[4\omega_0 t + 4\phi_2(t)] \right) = \\
 &= \frac{A_0^5}{4} \left[3 \cos[\omega_0 t + \phi_2(t)] + 2 + 2 \cos[2\omega_0 t + 2\phi_2(t)] + \right. \\
 &\quad \left. + \frac{1}{2} (\cos[3\omega_0 t + 3\phi_2(t)] + \cos[5\omega_0 t + 5\phi_2(t)]) \right] = \\
 &= \frac{A_0^5}{2} + \frac{3A_0^5}{4} \cos[\omega_0 t + \phi_2(t)] + \frac{A_0^5}{2} \cos[2\omega_0 t + 2\phi_2(t)] + \\
 &\quad + \frac{A_0^5}{8} \cos[3\omega_0 t + 3\phi_2(t)] + \frac{A_0^5}{8} \cos[5\omega_0 t + 5\phi_2(t)]
 \end{aligned} \tag{3}$$

Не трудно заметить, что преобразования этих двух сигналов имеют последние слагаемые, самые высокие гармоники добываемых квазигармонических сигналов $u_1(t)$ и $u_2(t)$.

Второй этап преобразования заключается в том, что полученные колебания подвергаются фильтрации, совершающейся полосовыми фильтрами, настроенными на четвертую гармонику квазигармонического колебания в полосовом фильтре BPF_1

$$u_1(t) = U_0 \cos[4\omega_0 t + 4\phi_1(t)] \quad (4)$$

и на пятую гармонику в полосовом фильтре BPF_2

$$u_2(t) = U_0 \cos[5\omega_0 t + 5\phi_2(t)], \quad (5)$$

колебания на выходах полосовых фильтров суммируются

$$u_1(t) + u_2(t) = U_0 (\cos[4\omega_0 t + 4\phi_1(t)] + \cos[5\omega_0 t + 5\phi_2(t)]) \quad (6)$$

и сумма возводится во вторую степень (7).

Фильтры, используемые в преобразовании, на рис. 1 обозначаются с индексами, так как они отличаются по частоте: BPF_1 , BPF_2 . Фильтр BPF_1 настроен на четвертую гармонику основной частоты исходного сигнала $s_1(t)$, а фильтр BPF_2 – на пятую гармонику частоты сигнала $s_2(t)$.

$$\begin{aligned} [u_1(t) + u_2(t)]^2 &= U_0^2 \left[\begin{aligned} &\cos^2[4\omega_0 t + 4\phi_1(t)] + \\ &+ \cos^2[5\omega_0 t + 5\phi_2(t)] + \\ &+ 2(\cos[4\omega_0 t + 4\phi_1(t)] \cos[5\omega_0 t + 5\phi_2(t)]) \end{aligned} \right] = \\ &= U_0^2 \left[\begin{aligned} &\cos[\omega_0 t + 5\phi_2(t) - 4\phi_1(t)] + \\ &+ \cos[9\omega_0 t + 4\phi_1(t) + 5\phi_2(t)] + 1 + \\ &+ \frac{1}{2} \cos[8\omega_0 t + 8\phi_1(t)] + \\ &+ \frac{1}{2} \cos[10\omega_0 t + 10\phi_2(t)] \end{aligned} \right] = \quad (7) \\ &= U_0^2 \cos[\omega_0 t + 5\phi_2(t) - 4\phi_1(t)] + U_0^2 \cos[9\omega_0 t + 4\phi_1(t) + 5\phi_2(t)] + \\ &+ \frac{U_0^2}{2} \cos[8\omega_0 t + 8\phi_1(t)] + \frac{U_0^2}{2} \cos[10\omega_0 t + 10\phi_2(t)] \end{aligned}$$

На третьем этапе суммарное колебание фильтруется в полосовом фильтре BPF_3 , настроенном на совместную составляющую, по частоте равную частоте исследуемых генераторов. И в итоге получаем:

$$u(t) = U \cos[\omega_0 t + 5\phi_2(t) - 4\phi_1(t)]. \quad (8)$$

Применяя преобразование Гильберта к выражению (8), автоматически получим отдельно все присутствующие в нем величины, в зависимости от их размерностей. Из вышесказанного вытекает следующее выражение, для полной флуктуирующей частоты:

$$\frac{d\Psi}{dt} = \omega_0 + \frac{d[5\phi_2(t) - 4\phi_1(t)]}{dt} . \quad (9)$$

Из производной (9) получим однозначную сумму двух случайных процессов $\phi_1(t)$ и $\phi_2(t)$. Суммарная дисперсия случайных процессов определяется следующим образом:

$$\sigma_{\Sigma, \Delta}^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 \pm 2R\sigma_1\sigma_2 . \quad (10)$$

Случайные процессы $\phi_1(t)$ и $\phi_2(t)$ являются независимыми, следовательно, коэффициент корреляции между ними равен нулю $R=0$. Поэтому формула (10) приобретает следующий вид:

$$\sigma_{\Sigma, \Delta}^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 . \quad (11)$$

Разностное среднеквадратическое отклонение в итоге получается:

$$\sigma_{\Delta} = \sqrt{25\sigma^2 + 16\sigma^2} = 6,4\sigma . \quad (12)$$

Коэффициент 6,4 в выражении (12) означает число раз, в которое увеличилась нестабильность частоты.

Суммируя сказанное, предложен алгоритм оценки предельно малых значений кратковременной нестабильности частоты, основанный на умножении флуктуаций частоты одновременно с умножением самой частоты. В результате работы алгоритма, приходим к выводу об увеличении нестабильности частоты квазигармонического колебания в 6,4 раза по среднеквадратическому отклонению и в 41 раз по дисперсии.

Работа выполнена при поддержке проекта №ВнГр-07/2017-25 Южного федерального университета.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нсуе Х.М.Б., Федосов В.П., Терешков В.В. Оценка нестабильности частоты с помощью показателей во временной области // Ростовский научный журнал. 2016. №6. С. 5-15.
2. Нсуе Х.М.Б., Федосов В.П. Цифровой алгоритм измерения кратковременной нестабильности частоты высокостабильных генераторов умножительно-преобразовательным методом // Ростовский научный журнал. 2016. №6. С. 63-70.

Нсуе Хасинто Мба Бийе – аспирант Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Петровская 17, 347922, e-mail: jacintonsue@gmail.com, телефон: +79888910024;

Федосов Валентин Петрович – доктор технических наук, профессор кафедры теоретических основ радиотехники Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, пер. Некрасовский, 44, 347922, телефон: +7 (8634) 37-16-32, email: vpfedosov@sfedu.ru;

Кучерявенко Светлана Валентиновна – кандидат технических наук, доцент кафедры теоретических основ радиотехники Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, пер. Некрасовский, 44, 347922, телефон: +7 (8634) 37-16-32, email: svkucheryavenko@sfedu.ru.

Nsue Jacinto Mba Biyé – Southern Federal University, Russia, city: Taganrog, street Petrovskaya 17, 347922, e-mail: jacintonsue@gmail.com, telephone: +79888910024;

Fedosov Valentin Petrovich – Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Theoretical Foundations of Radio Engineering at the Institute of Radio Engineering Systems and Management of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, trans. Nekrasovsky, 44, 347922, telephone: +7 (8634) 37-16-32, email: vpfedosov@sfedu.ru;

Kucheryavenko Svetlana Valentinovna – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Theoretical Foundations of Radio Engineering, Institute of Radio Engineering Systems and Control, Southern Federal University, Russia, Taganrog, trans. Nekrasovsky, 44, 347922, phone: +7 (8634) 37-16-32, email: svkucheryavenko@sfedu.ru.

УДК 621.373+681.518

Пилипенко Александр Михайлович, Черноцкая Кристина Людвиговна

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ЧИСЛЕННОГО АНАЛИЗА СИСТЕМЫ СИНТЕЗА ЧАСТОТ ВО ВРЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ

В статье рассмотрена обобщенная модель системы синтеза частот, предназначенной для беспроводных сетей связи четвертого поколения (4G). Проведен сравнительный анализ методов численного моделирования систем синтеза частот. Численное моделирование проводилось в пакете Matlab-Simulink с помощью различных методов численного решения обыкновенных дифференциальных уравнений. Полученные результаты позволяют выбрать наибо-

лее точный метод численного моделирования и обеспечить достоверность результатов моделирования для систем синтеза частот с различными параметрами.

Беспроводная связь, синтезатор частот, переходные процессы, численные методы, погрешность.

Alexandr Mikhaylovich Pilipenko, Kristina Lyudvigovna Chernockaya

ACCURACY ESTIMATION OF NUMERICAL ANALYSIS OF FREQUENCY SYNTHESIS SYSTEM IN THE TIME DOMAIN

The generalized model of frequency synthesis system for wireless communication networks of the fourth-generation (4G) is presented in this paper. A comparative analysis of numerical simulation methods for frequency synthesis systems is carried out. Numerical simulation was carried out in Matlab-Simulink package by various numerical methods for solving ordinary differential equations. The obtained results allow choosing the most accurate method of numerical simulation and ensuring the reliability of the simulation results for frequency synthesis system with various parameters.

Wireless communication, frequency synthesizer, transients processes, numerical methods, error.

Введение. В настоящей работе рассматривается гибридная система синтеза частот, предназначенная для синхронизации и поддержки многочастотного режима работы в мобильных сетях связи четвертого поколения (4G) [1]. Параметры переходных процессов в данной системе синтеза частот заранее неизвестны, поскольку они зависят от требований к быстродействию системы и уровню паразитных составляющих спектра выходного сигнала. В настоящее время отсутствуют универсальные методы численного моделирования систем с неизвестными заранее параметрами переходных процессов [2].

Целью данной статьи является исследование точности и достоверности результатов численного моделирования гибридной системы синтеза частот.

В соответствии с поставленной целью в работе решаются следующие задачи:

- разработка обобщенной модели системы синтеза частот;

- описание методов численного моделирования системы синтеза частот во временной области;

- исследование погрешностей численного моделирования системы синтеза частот с различными параметрами.

Модель системы синтеза частот. Наиболее распространенный вариант структурной схемы гибридной системы синтеза частот содержит цифровой вычислительный синтезатор (ЦВС), включенный в цепь обратной связи системы фазовой автоподстройки частоты ФАПЧ [3]. На рис. 1 представлена Simulink-модель системы синтеза частот с петлевым фильтром (ПФ) третьего порядка, который позволяет обеспечить максимальное подавление паразитных составляющих спектра (ПСС) при минимальном времени установления заданной частоты [4]. ЦВС в данной модели выполняет функции делителя частоты с коэффициентом деления $1/N$.

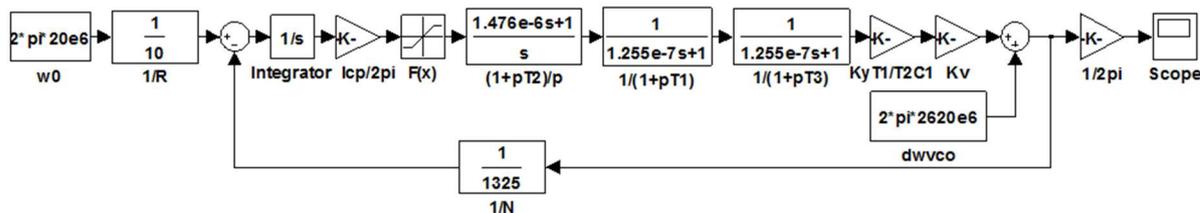


Рис. 1. Simulink-модель системы синтеза частот

Параметры рассматриваемой модели системы синтеза частот соответствуют диапазону 2500–2700 МГц, который используется для систем мобильной связи четвертого поколения (4G). Значения параметров модели: $f_0 = 20$ МГц; $R = 10$; $N = 1250 \dots 1350$; $I_{CP} = 5$ мА; $\varphi_{\max} = \pi$; $K_y = 5$; $K_V = 40$ МГц/В [4]. Значения показателя колебательности и базовой частоты в рассматриваемой модели соответствуют максимальному быстродействию системы: $M \approx 1,41$, $f_b = 0,1 f_{ref}$, где $f_{ref} = f_0 / R$ [5].

Методика оценки точности численного анализа. Математическая модель системы синтеза частот представляет собой систему обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ). Численный анализ системы синтеза частот во временной области удобно проводить в пакете MATLAB-Simulink, который предоставляет пользователю наибольшее количество методов численного решения ОДУ. Основные методы численного решения ОДУ, используемые в MATLAB-Simulink [6, 7]:

- метод Дормана-Принса (DP) – явный одношаговый метод, основанный на паре явных методов Рунге-Кутты 5 и 4 порядков (пара

Дормана-Принса); этот метод используется в MATLAB-Simulink по умолчанию;

- формулы численного дифференцирования (NDF) – неявные многошаговые методы 1 – 5 порядков; модификация формул дифференцирования назад (BDF);

- модифицированный метод Розенброка (ROS) – линейно неявный («полуявный») одношаговый метод, основанный на тройке методов Розенброка 3 и 2 порядков; этот метод не требует решения систем нелинейных алгебраических уравнений;

- модифицированный метод трапеций (TR) – неявный одношаговый метод, основанный на реализации правила трапеций с использованием интерполяции.

В данной статье используется методика оценки точности численного анализа системы синтеза частот, описанная в работе [8]. Оценка точности численного решения проводится на основе вычисления относительных погрешностей расчета времени переходного процесса и перерегулирования:

$$\delta_t = \left| \frac{t_{set} - t_{set0}}{t_{set0}} \right|; \delta_p = \left| \frac{PO - PO_0}{PO_0} \right|, \quad (1)$$

где t_{set} и t_{set0} – рассчитанное и истинное значения времени переходного процесса; PO и PO_0 – рассчитанное и истинное значения перерегулирования.

Время переходного процесса и перерегулирование являются основными показателями качества переходных процессов [9]. Время переходного процесса равно времени, за которое заданная частота f_{set} устанавливается с требуемой относительной погрешностью δ_f . Перерегулирование равно максимальному относительному отклонению выходной частоты от заданного значения f_{set} . Далее будем полагать $f_{set} = 2650$ МГц, $\delta_f = 10^{-7}$, что соответствует системам связи 4G [10]. В качестве истинных значений времени переходного процесса и перерегулирования принимались значения, полученные тестируемым методом при заданных максимальном шаге интегрирования $h_{max} = T/10^4$ и предельно допустимой ошибке моделирования $Reltol = 10^{-15}$.

Результаты оценки точности численного анализа. На рис. 2 представлены переходные процессы в системе синтеза частот, полученные с помощью методов Дормана-Принса и Розенброка при выбранных по умолчанию установках моделирования ($Reltol = 10^{-3}$) в линейном режиме рабо-

ты системы. Из рис. 2 видно, что применение метода Дормана-Принса для моделирования гибридного синтезатора частот приводит к появлению паразитных незатухающих колебаний частоты в численном решении. Из рис. 2 видно, что размах паразитных колебаний частоты при $Reltol = 10^{-3}$ составляет $\Delta_A \approx 0,15$ МГц.

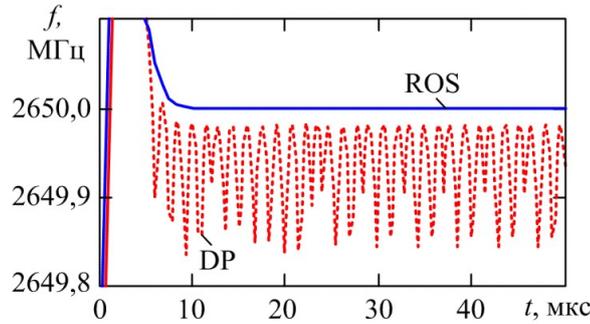


Рис. 2. Переходные процессы в системе синтеза частот

На рис. 3 показана зависимость относительного размаха паразитных колебаний $\delta_A = \Delta_A / f_{set}$ от величины $Reltol$ для метода Дормана-Принса. Из рис. 3 видно, что минимальный размах паразитных колебаний частоты в численном решении, полученном методом Дормана-Принса, составляет $\delta_A \approx 10^{-6}$, что на порядок больше предельно допустимого отклонения частоты δ_f в системах связи 4G. Таким образом, метод Дормана-Принса не позволяет оценить время переходных процессов в системе синтеза частот. Для метода Розенброка данный недостаток отсутствует.

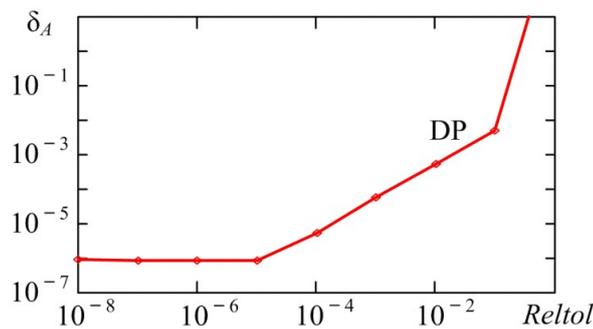


Рис. 3. Зависимость относительного размаха δ_A от величины $Reltol$

На рис. 4 показаны зависимости относительных погрешностей расчета времени переходного процесса и перерегулирования от величины показателя колебательности. Результаты на рис. 4 были получены с

помощью описанных выше численных методов в линейном режиме работы системы при выбранном по умолчанию значении $Reltol = 10^{-3}$.

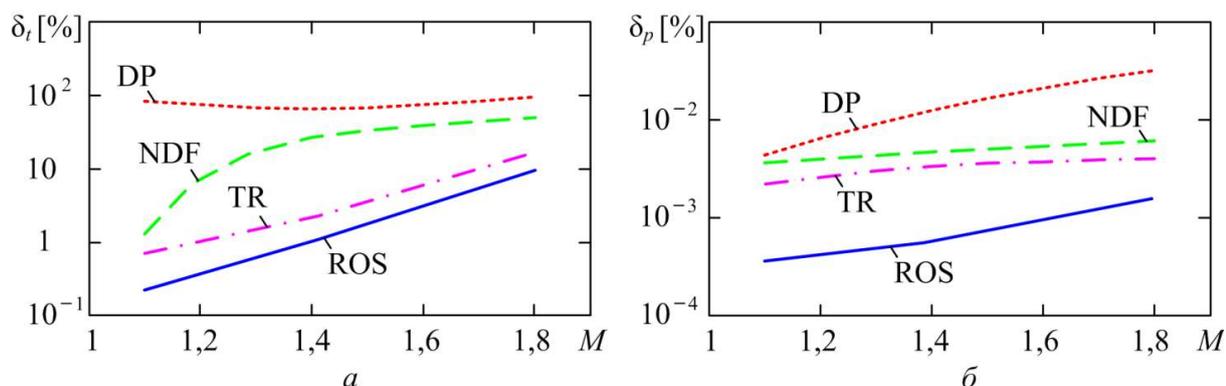


Рис. 4. Зависимости относительных погрешностей расчета времени переходного процесса (а) и перерегулирования (б) от значения M

Из рис. 4 видно, что погрешность расчета времени переходного процесса для метода Дормана-Принса может достигать 100 %. Минимальный уровень погрешности расчета времени переходного процесса с помощью метода Дормана-Принса в линейном режиме работы системы превышает 50 % при любых значениях M . Из рис. 4 видно, что метод Розенброка позволяет обеспечить наименьший уровень относительных погрешностей расчета времени переходного процесса и перерегулирования.

Выводы. Результаты, полученные в данной работе, показали, что метод Дормана-Принса, использующийся в MATLAB-Simulink по умолчанию, не позволяет достоверно оценить показатели качества переходных процессов в системе синтеза частот. Применение неявных методов NDF и TR не обеспечивает высокую точность численного моделирования. Например, относительная погрешность оценки времени переходных процессов, полученная с помощью метода NDF может превышать 50 % при установленном по умолчанию значении $Reltol = 10^{-3}$. Применение метода Розенброка обеспечивает наибольшую достоверность и точность результатов численного моделирования систем синтеза частот с различными параметрами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Chenakin A.* Frequency Synthesizers: Concept to Product. Norwood, MA: Artech House, 2011.
2. *Pilipenko A.M., Biryukov V.N.* Development and testing of high accuracy hybrid methods for time-domain simulation of electronic circuits and systems // Proceedings of 2017 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), 2017, pp. 220-223.
3. *Ромашов В.В., Ромашова Л.В., Храмов К.К., Докторов А.Н., Якименко К.А.* Моделирование шумовых характеристик гибридных синтезаторов частот // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2014. № 1 (13). С. 5-20.
4. *Pilipenko A.M.* Simulation and parameters optimization of hybrid frequency synthesizers for wireless communication systems // 2017 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Proceedings, 2017.
5. *Бесекерский В.Л., Попов Е.П.* Теория систем автоматического управления. Изд. 4-е, перераб. и доп. СПб.: Изд-во «Профессия», 2003. 752 с.
6. Ashino R., Nagase M., Vaillancourt R. Behind and Beyond the MATLAB ODE Suite // Computers & Mathematics with Applications, vol. 40, no. 4, August/September 2000, pp. 491-512.
7. *Shampine L.F., Reichelt M.W.* The MATLAB ODE Suite // SIAM Journal on Scientific Computing, vol. 18, no. 1, January 1997, pp. 1-22.
8. *Пилипенко А.М.* Метод оценки точности численного моделирования системы синтеза частот // Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении (КомТех-2018): материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. 2018. С. 145-149.
9. *Кузменков А.С., Поляков А.Е., Стрыгин Л.В.* Обзорный анализ современных архитектур синтезаторов частот с ФАПЧ // Труды Московского физико-технического института. 2013. Т. 5. № 3 (19). С. 121-133.
10. *Пилипенко А.М.* Выбор оптимальных параметров синтезаторов частот для систем связи стандарта LTE Advanced // Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении (КомТех-2017): материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. 2017. С. 115-119.

Пилипенко Александр Михайлович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой теоретических основ радиотехники Южного федерального университета, Россия, г. Таганрог, пер. Некрасовский 44, 347922, телефон: +7(8634)37-16-32, e-mail: ampilipenko@sfedu.ru.

Людвиговна Черноцкая Кристина – магистрант кафедры теоретических основ радиотехники Южного федерального университета, телефон: +7(8634)37-16-32, e-mail: mellorykrieger@mail.ru.

Alexandr Mikhaylovich Pilipenko – candidate of engineering sciences, associate professor, Head of the department of fundamentals of radio engineering, Southern Federal University, Russia, Taganrog, 44 Nekrasovskiy lane, 347922, phone: +7(8634)37-16-32, e-mail: ampilipenko@sfedu.ru.

Kristina Lyudvigovna Chernockaya – master student of the department of fundamentals of radio engineering, Southern Federal University, phone: +7(8634)37-16-32, e-mail: mellorykrieger@mail.ru.

УДК 621.382:669.691.5

Малохатко Софья Владимировна

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРЕЛОВИДНОГО КАНТИЛЕВЕРА НА ОСНОВЕ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ ДЛЯ МНОГОЧАСТОТНОЙ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

Многочастотная атомно-силовая микроскопия включает возбуждение и обнаружение отклонения на двух и более частотах, и она имеет возможность преодолевать ограничения в пространственно-временном разрешении. Актуальной задачей многочастотной атомно-силовой микроскопии является разработка специализированных кантилеверов. В работе предложена конструкция стреловидного кантилевера на основе поликристаллического кремния. Стреловидная конструкция кантилевера позволяет управлять параметрами резонансной частоты без потери жесткости.

Реализована параметрическая модель стреловидного кантилевера на основе поликристаллического кремния. Проведено исследование зависимости резонансных частот и отклонения балки кантилевера от линейных размеров последней.

Стреловидный кантилевер, поликристаллический кремний, резонансная частота, коэффициент жесткости, многочастотная атомно-силовая микроскопия.

Malokhatko Sofya Vladimirovna

MODELING OF SWEPT CANTILEVER BASED ON POLYCRYSTALLINE SILICON FOR MULTIFREQUENCY ATOMIC FORCE MICROSCOPY

Multifrequency atomic force microscopy involves excitation and deflection detection at two or more frequencies, and it has the ability to overcome limitations in space-time resolution. The actual task of multi-frequency atomic force microscopy is the development of specialized cantilevers. The paper proposes a design of a swept cantilever based on polycrystalline silicon. The swept design of the cantilever allows you to control the parameters of the resonant frequency without loss of stiffness.

A parametric model of a swept cantilever based on polycrystalline silicon is implemented. The dependence of the resonant frequencies and the cantilever beam deviation on the linear dimensions of the latter is studied.

Swept cantilever, polycrystalline silicon, resonance frequency, stiffness coefficient, multifrequency atomic force microscopy.

Введение. С увеличением востребованности атомно-силовой микроскопии (АСМ), выросли и требования к изучению поверхности. Помимо стандартных режимов работы АСМ в настоящее время предложены амплитудно-модуляционная и многочастотная методики [1,2]. Многочастотная методика основывается на измерениях на нескольких частотах, совпадающих с гармониками собственной частоты. Многочастотная АСМ открывает путь для быстрого сканирования с высоким разрешением, полученных изображений без механических разрушений различных мягких образцов, включая опухоли, клетку, полимеры и биопленки [1-3]. Многочастотная АСМ также улучшает возможности наноразмерного пространственного разрешения для получения изображений структур. Одна из основных особенностей, которая отличает многочастотную от обычных динамических методик АСМ, заключается в том, что в процессе возбуждения или обнаружения участвуют несколько частот микрокантилевера [4-7].

Для количественной многочастотной АСМ необходимо иметь четко определенное динамическое поведение консольной системы. Для многочастотной АСМ выгодно уменьшить расстояние между резонансными частотами, чтобы обеспечить лучшую связь между различными собственными и резонансными частотами [6-9]. Таким образом, актуальной задачей является

ся разработка новых кантилеверов из различных материалов для данной методики

Цель работы заключается в разработке конструкции стреловидного кантилевера на основе поликристаллического кремния и исследовании отклонения в зависимости от конструктивных параметров.

Методика моделирования. Кантилевер состоит из прямоугольного основания и балки стреловидной формы с острием на свободном конце [8]. Геометрические параметры балки варьировали: ширину от 20 до 50 мкм, толщину от 2 до 6 мкм, длину от 150 до 200 мкм. Параметры острия: высота 15 мкм, радиус основания 2 мкм и радиус закругления 0,035 мкм.

Результаты исследования. Реализована параметрическая модель стреловидного кантилевера на основе поликристаллического кремния. Получены значения отклонения баки при приложенной силе, которые составили 25,5-55,4 нм. Значения первых трех резонансных частот кантилевера, полученных методом конечных элементов находятся в пределах f_1 – 50-250 кГц, f_2 – 400-1500 кГц, f_3 – 700-1900 кГц. Выявлено, что резонансные частоты балки уменьшаются с увеличением длины и ширины. При увеличении толщины консоли значения резонансных частот, напротив, возрастают.

Дальнейшее увеличение длины приведет к уменьшению коэффициента жесткости и резонансной частоты, как показано ранее [10], в связи с чем могут возникать шумы, что отрицательно сказывается на получении изображения рельефа поверхности и результатах исследования.

Заключение. Предложена конструкция специализированного кантилевера для многочастотной атомно-силовой микроскопии. Численным методом определены диапазоны разрешенных значений для первых трех резонансных частот кантилевера, f_1 – 50-250 кГц, f_2 – 400-1500 кГц, f_3 – 700-1900 кГц. Установлено, что при приложенной силе консольная балка отклоняется на 25,5-55,4 нм.

Предложенная конструкция стреловидного кантилевера на основе поликристаллического кремния может быть применена в многочастотной методике. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации конструкции специализированных кантилеверов и разработки новых технологических решений для многочастотной атомно-силовой микроскопии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Garcia R., Herruzo E.T.* The emergence of multifrequency force microscopy // *Nature Nanotechnology*. 2012. Vol. 7. P. 217-226.
2. *Balantekin M., Atalar A.* Enhanced higher-harmonic imaging in tapping-mode atomic force microscopy // *Appl. Phys. Lett.* 2005. Vol. 87. No 20. P. 243513-243515.
3. *Dong M.* Determination of protein structural flexibility by microsecond force spectroscopy // *Nature Nanotechnology*. 2009. Vol. 4. P. 514-517.
4. *Tetard L., Passion A., Thundat T.* New modes for subsurface atomic force microscopy through nanomechanical // *Nature Nanotechnology*. 2010. Vol. 5. P. 105-109.
5. *Balke N.* Nanoscale mapping of ion diffusion in a lithium-ion battery cathode // *Nature Nanotechnology*. 2010. Vol. 5. P. 749-754.
6. *Giessibl F.J.* Advances in atomic force microscopy // *Rev. Mod. Phys.* 2003. Vol. 75 P. 949-983.
7. Multi-frequency atomic force microscopy: A system-theoretic approach. N.Shamsudhin, H Rothuizen, B.J. Nelson [et al.] // *IFAC Proceedings Volumes*. 2014. Vol. 47. No 3. P. 7499-7504.
8. *Zhang W., Chen Y., Chu J.* Cantilever optimization for applications in enhanced harmonic atomic force microscopy // *Sensors and Actuators A: Physical*. 2017. Vol. 255. P. 54-60.
9. Optimal Design and Evaluation of Cantilever Probe for Multifrequency Atomic Force Microscopy. Cai J., Xia Q, Luz Y [et al.]. [Электронный ресурс]. URL:http://web.aeromech.usyd.edu.au/WCSMO2015/papers/1158_paper.pdf (дата обращения: 02.02.2018).
10. *Малохатко С.В., Гусев Е.Ю., Житяева Ю.Ю. и др.* Разработка и исследование модели двухбалочного кантилевера на основе поликристаллического кремния. // *Известия Южного федерального университета. Технические науки*. 2017. № 5-6. С. 234-243.

Малохатко Софья Владимировна – аспирант, кафедра нанотехнологий и микросистемной техники Южного федерального университета, Россия, г. Таганрог, пер. Некрасовский 44, 347922; e-mail: malohatko.sofya@yandex.ru; тел.: +79289003841.

Malohatko Sofya Vladimirovna – postgraduate, the department of nanotechnology and microsystems technology Southern Federal University, Russia, Taganrog, 44

Nekrasovski lane, 347922; e-mail: malohatko.sofya@yandex.ru; phone: +79289003841.

УДК 54.03, 666.3.016

Малыхин Анатолий Юрьевич, Карюков Егор Владимирович,
Свирская Светлана Николаевна

ОПТИМИЗАЦИЯ СПОСОБОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЬЕЗОКЕРАМИКИ ЦТБС-3 С ЦЕЛЬЮ УЛУЧШЕНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

В настоящей работе представлен анализ свойств пьезокерамического материала ЦТБС-3, выпускаемого в НКТБ «Пьезоприбор» ЮФУ. Проводится сравнение прочностных и электрофизических характеристик материала, полученного различными методами. Рассматриваются способы приготовления шихты с целью контроля гранулометрического состава пресс-порошка.

Пьезокерамика, сегнетоэлектричество, система ЦТС, ЦТБС-3, оптимизация.

Malykhin Anatoliy Yurievich, Karyukov Egor Vladimirovich,
Swirskaya Svetlana Nikolaevna

OPTIMIZATION OF THE METHODS OF PROCESSING CERAMICS OF PZT-BS-3 TO IMPROVE ELECTROPHYSICAL PARAMETERS AND STRENGTH

In this paper, we analyze the properties of the ferroelectric ceramic material PZT-BS-3, produced in the SCTB "Piezopribor" SFedU. A comparison is made of the strength and electrophysical characteristics of the material obtained by various methods. In particular, the method of preparation of the charge with optimal parameters is considered.

Piezoceramics, ferroelectricity, PZT system, PZT-BS-3, optimization.

Введение

Интерес к данному исследованию продиктован требованиями к качеству пьезоэлементов (ПЭ), которые определяются особенностями технологии производства пьезокерамики. В работе особое внимание уделено этапу грануляции пресс-порошка разными способами, так как на этом этапе закладываются основные механические и электрофизические характеристики пьезокерамических материалов. При этом одним из важнейших критериев применимости ПЭ является его механическая прочность, которая определяется совокупностью методов и средств измерения. Как правило, для оценки качества ПЭ достаточно двух основных величин: предел механической прочности при статическом растяжении σ_p и предел механической прочности при статическом сжатии $\sigma_{сж}$.

Результаты практических исследований [1,2] показывают, что прочность ПЭ зависит от плотности материала, которая определяет скорость звука согласно выражению:

$$V_1^E = \frac{1}{\sqrt{\rho * S_{11}^E}}.$$

Не менее важными при проектировании пьезокерамических преобразователей, датчиков и исполнительных устройств являются такие электрофизические параметры как диэлектрическая проницаемость, ёмкость, добротность, тангенс угла диэлектрических потерь и другие параметры, которые так же зависят от плотности образца.

Несмотря на кажущуюся простоту определения плотности на пробных партиях материала, при переходе к более крупным изделиям точность таких измерений существенно падает [3,4]. Связано это в первую очередь с неоднородностью распределения дефектных включений, входящих в состав пьезокерамических материалов и имеющих ту же плотность что и целевой продукт. В этом случае целесообразно использовать методы, основанные на измерении прочностных характеристик пьезокерамических материалов.

Стандартные методики определения пределов механической прочности на сжатие и на разрыв описаны в [1]. Для определения предела механической прочности при статическом растяжении используется метод, включающий в себя подготовку клеевой массы, склейку композита металл-пьезокерамика-металл и дальнейшего растяжения этого композита, что является трудоёмкой задачей. В.П. Зацаринный предложил метод сжатия дисков вдоль диаметра (метод раскалывания) [5], позволяющий уйти от работы с клеевыми соединениями. Суть метода заключается в следующем: вместо стандартного образца диаметром 30 мм и высотой 10 мм, испыты-

вается диск диаметром 30 мм и толщиной 1 мм. Сжимающее механическое напряжение прикладывается к торцам диска и в момент разрушения фиксируется величина этого напряжения. Дальнейший расчёт прочности производится по формуле:

$$\sigma_{pp} = \frac{2P}{\pi dh} = 0,637 \frac{P}{dh},$$

где d – диаметр образца; h – толщина образца; P – разрушающее механическое напряжение

В ходе выполнения данной работы, описанный метод был воспроизведен и приведено сравнение с классическими методами определения прочности.

Основная часть

При анализе литературных данных, а также в процессе производства пьезокерамических материалов и элементов в НКТБ «Пьезоприбор», были выявлены этапы производства, на которых риск возникновения брака при последующих операциях особенно велик. Одним из таких этапов является приготовление пресс-порошка.

Для исследования были изготовлены пресс-каркасы пьезокерамического материала ЦТБС-3 при давлении 800 кг/см², которые впоследствии были спечены при температуре 1290°C (время изотермической выдержки 3 часа). В процессе изготовления каркасов использовались 3 способа изготовления пресс-порошков:

1) по классической технологии. Подготовка пресс-порошка велась методом протирания через сито (размер ячейки 0,75мм) пьезокерамического материала с введённым раствором 3% поливинилового спирта (далее ПВС). Микроструктура представлена на рис. 1а;

2) методом распылительной сушки. Во время проведения распылительной сушки использовался режим, позволяющий получить гранулы дефектной формы, микроструктура которых представлена на рис. 1б;

3) методом распылительной сушки. Во время проведения распылительной сушки использовался режим, позволяющий получить гранулы правильной сферической формы, микроструктура которых представлена на рис. 1в.

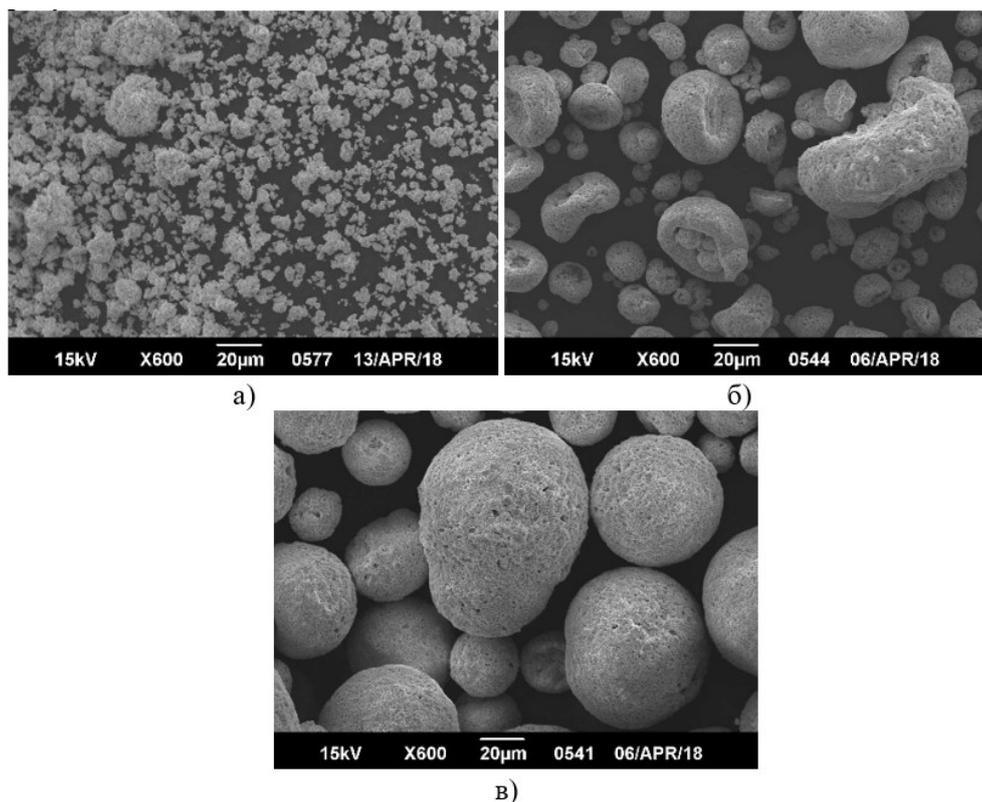


Рис. 1. Микроструктура порошков, полученных способом 1 а), способом 2 б) и способом 3 в)

Из полученных тремя способами пресс-порошков были изготовлены экспериментальные образцы. На них измерялись электрофизические и механические характеристики. Предел механической прочности при статическом растяжении измерялся двумя способами: классическим (σ_{pp}) и способом раскалывания тонкого диска (σ_{pp}^*). Все результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики ПЭ, полученных из пресс- порошков, изготовленных различными способами

Параметр	Способ изготовления пресс-порошка			Литературные данные
	Способ 1	Способ 2	Способ 3	
$\rho, \text{г/см}^3$	7,27	7,12	7,31	$\geq 7,21$
$\text{tg } \delta, \%$	1,2	1,5	1,2	≤ 2
$\epsilon_{33}^T / \epsilon_0$	2264	2180	2250	2100-2450
$d_{31}, \text{пКл/Н}$	176	161	172	≥ 146
$d_{33}, \text{пКл/Н}$	355	327	349	≥ 300
$V_{E1}^E, \text{м/с}$	3560	3375	3535	3370-3570

Q_m	316	236	299	200-450
σ_{pp} , КГ/СМ ²	406	325	412	390-420
σ_{pp}^* , КГ/СМ ²	452	376	466	390-490
$\sigma_{сж}$, КГ/СМ ²	4500	3863	4500	3793-4863

Выводы

В серийном производстве важно контролировать гранулометрический состав получаемого пресс-порошка и при необходимости корректировать режим. Полученные результаты свидетельствуют о том, что наличие дефектов в гранулах, полученных методом распылительной сушки, негативно сказывается на прочностных и электрофизических параметрах материала. Свойства, получаемые первым и третьим способами сопоставимы, поэтому целесообразно использовать первый способ в лабораторных условиях или на мелких партиях. Показано, что электрофизические и механические характеристики пьезокерамического материала ЦТБС-3 неразрывно связаны с прочностью спечённых образцов, поэтому имеются предпосылки для создания экспресс-метода определения качества материала на первых этапах производства.

Результаты работы были успешно внедрены в технологический процесс производства пьезокерамики в АО "Таганрогский завод "Прибой", г. Таганрог.

Результаты измерений, представленные в данной работе, получены на оборудовании ЦКП «Высокие технологии».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Отраслевой стандарт 110444-87: «Материалы пьезокерамические».
2. Свирская С.Н. Пьезокерамическое материаловедение. // Учебное пособие. Ростов-на-Дону, 2009 г.
3. Нагаенко А.В., Свирская С.Н. – Технологические приемы управления электрофизическими параметрами пьезокерамических материалов. // Вестник Луганского национального университета имени Владимира Даля. 2018. № 5 (11).
4. Малыхин А.Ю., Панич А.Е., Скрылёв А.В., Нагаенко А.В., Немыкин В.В. Деформационные свойства пьезокерамического материала ЦТБС-3 // Сборник трудов: "II Международная молодёжная научная конференция Актуальные проблемы пьезоэлектрического приборостроения", 6-10 сентября 2015 г., г. Ростов-на-Дону.

5. Зацаринный В.П. Прочность пьезокерамики // Ростов-на-Дону, 1970 г.
6. Нестеров А.А., Панич А.А., Свирская С.Н., Малыхин А.Ю., Скрылёв А.В., Панич Е.А. Способы формирования микроструктуры пористых пьезокерамических каркасов // Инженерный вестник Дона №3(2012).
7. Панич А.А., Свирская С.Н., Карюков Е.В., Скрылёв А.В., Малыхин А.Ю., Вотинова Т.В. Свойства пьезокерамического материала ЦТБС-3, синтезированного с использованием активных прекурсоров // Современные проблемы науки и образования, издательский дом "Академия естествознания" (Пенза) issn: 1817-6321.

Малыхин Анатолий Юрьевич – инженер Научное конструкторско-технологическое бюро «Пьезоприбор» Южного федерального университета; Россия, город Ростов-на-Дону, улица Мильчакова, 10, 344090, malyhin@sfedu.ru, тел. +79185987349.

Карюков Егор Владимирович – кандидат технических наук, ведущий специалист, Научное конструкторско-технологическое бюро «Пьезоприбор» Южного федерального университета; Россия, город Ростов-на-Дону, улица Мильчакова, 10, 344090.

Свирская Светлана Николаевна – кандидат технических наук, ведущий специалист, Научное конструкторско-технологическое бюро «Пьезоприбор» Южного федерального университета; Россия, город Ростов-на-Дону, улица Мильчакова, 10, 344090.

Malykhin Anatoly Yurievich – Engineer, Scientific Design and Technological Bureau "Piezopribor" Southern Federal University; 344090, Rostov-on-Don, st. Milchakova 10, 344090, malyhin@sfedu.ru, phon: +79185987349.

Karyukov Egor Vladimirovich – Candidate of Technical Science, Leading Specialist, Scientific Design and Technological Bureau "Piezopribor" Southern Federal University; 344090, Rostov-on-Don, st. Milchakova 10, 344090.

Swirskaya Svetlana Nikolaevna – Candidate of Technical Science, Leading Specialist, Scientific Design and Technological Bureau "Piezopribor" Southern Federal University; 344090, Rostov-on-Don, st. Milchakova 10, 344090.

УДК 538.956

Радченко Григорий Сергеевич, Скрылёв Александр Владимирович,
Малыхин Анатолий Юрьевич

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТИПА СВЯЗНОСТИ ПОРИСТЫХ КОМПОЗИТОВ «ПЬЕЗОКЕРАМИКА-ПОРЫ» НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

В настоящей работе рассматриваются диэлектрические свойства и проводимость трехмерной статистической смеси, состоящей из двух компонентов, обладающих пьезоэлектрическим эффектом, с приблизительно одинаковыми изометрическими частицами. На основе данных диэлектрической спектроскопии прогнозируется связность композита, которая сравнивается с данными рентгеноструктурного анализа и широкого спектра экспериментальных исследований.

Пьезокомпозит, пористая керамика, диэлектрическая проницаемость, связность.

Radchenko Grigoriy Sergeevich, Skrylev Alexandr Vladimirovich,
Malykhin Anatoliy Yurievich

MODELLING OF THE POROUS COMPOSITES CONNECTIVITY TYPE ON THE BASIS OF THE DIELECTRIC ANALYSIS

In this paper, the dielectric properties and the conductivity of a three-dimensional statistical mixture consisting of two components with a piezoelectric effect with approximately isometric particles are considered. Based on the data of dielectric spectroscopy, the connectivity of the composite is predicted, which is compared with the data of X-ray structural analysis and a wide range of experimental studies.

Piezo composition, porous ceramics, the dielectric constant connectedness.

Введение

Преобразователи, изготовленные на основе пьезокерамических материалов в настоящее время нашли широкое применение в различных областях науки и техники [1-9]. Одним из типов пьезопреобразователей, необходимость в которых с каждым годом возрастает, являются системы, трансформирующие всестороннее переменное давление в электрический

сигнал. В частности, они находят применение при разработке акустических и гидроакустических антенн, приборов медицинской диагностики, микрофонов различного назначения, устройствах охранной сигнализации, элементах научной аппаратуры. В качестве пассивной твердотельной составляющей таких устройств часто выступают пористые композиты. Поэтому актуальной задачей современной физики и техники является прогнозирование типа связности активной среды преобразователя из пористого образца. Диэлектрические и пьезоэлектрические свойства пористых неупорядоченных гетерогенных систем исследовались в [1], однако особенности применения метода эффективной среды к композитам из сегнетоэлектрических керамик рассмотрены недостаточно, в связи с чем предпринято настоящее исследование.

Основная часть

Совместное рассмотрение и учет взаимного влияния диэлектрических свойств и проводимости проводилось самосогласованным методом эффективной среды (метод Бруггемана-Алешина [1]). Каждая сфера считалась погруженной в однородную среду с подлежащей определению эффективной диэлектрической проницаемостью (ДП) ε , и для нее рассчитываются внутренние электрические поля $E_i = 3\varepsilon E / (2\varepsilon + \varepsilon^{(i)})$ и индукции $D_i = \varepsilon^{(i)} E_i$ ($i = 1, 2$), индуцированные внешним электрическим полем E .

Усреднение внутренних полей или индукций по ансамблю при учете стандартного для метода эффективной среды требования отсутствия полей рассеяния позволяет получить самосогласованное уравнение для нахождения ε :

$$\frac{\langle E \rangle}{E} = \theta_1 \frac{3\varepsilon}{2\varepsilon + \varepsilon^{(1)}} + \theta_2 \frac{3\varepsilon}{2\varepsilon + \varepsilon^{(2)}} = 1,$$

где θ_1 и $\theta_2 = 1 - \theta_1$ - объемные концентрации первого и второго компонентов смеси соответственно, $\langle E \rangle = E$ - среднее поле, отождествляемое с макроскопическим полем E . Решение полученного квадратного уравнения позволяет получить для эффективной диэлектрической проницаемости системы следующую формулу:

$$\varepsilon^* = \frac{1}{4} \left[C + (C^2 + 8\varepsilon^{(1)}\varepsilon^{(2)})^{1/2} \right], \quad (1)$$

$$C = (3\theta_1 - 1)\varepsilon^{(1)} + (3\theta_2 - 1)\varepsilon^{(2)},$$

где $\varepsilon^{(1)}$ и $\varepsilon^{(2)}$ - ДП первого и второго компонентов смеси соответственно. Влияние макроскопического пьезоэффекта учитывается специальной поправкой в конечной формуле для ДП, используя данные гомогенного пьезокерамического образца. В связи с тем, что нами учитываются проводи-

мость керамики, остаточная поляризация предполагается полностью экранированной свободными зарядами, натекающими на поверхности раздела компонентов.

Для одновременного рассмотрения диэлектрической проницаемости ε и проводимости γ и исследования связности композита необходимо использовать в формуле (1), по аналогии со случаем двухкомпонентной среды с последовательно расположенными слоями, комплексные ДП для обоих компонентов $\varepsilon^{(1,2)} = \varepsilon_{1,2} - i\gamma_{1,2}/\omega$, где ω - круговая частота внешнего однородного гармонического электрического поля. Наличие комплексных диэлектрических проницаемостей $\varepsilon^{(1,2)}$ обуславливает комплексную форму и частотную зависимость эффективной диэлектрической проницаемости смеси $\varepsilon^* = \varepsilon^* - i\varepsilon^{**} = \varepsilon^* - i\gamma^*/\omega$. Подстановка в уравнение (1) комплексных $\varepsilon^{(1,2)}$ приводит к следующему выражению (2) для ε^* :

$$\varepsilon^* = \frac{1}{4} \left(A - i \frac{B}{\omega} \right) + \frac{1}{4} \left(A^2 - \frac{B^2}{\omega^2} - 2i \frac{AB}{\omega} + 8\varepsilon_1\varepsilon_2 - 8 \frac{\gamma_1\gamma_2}{\omega^2} - 8i \frac{\varepsilon_1\gamma_2 + \varepsilon_2\gamma_1}{\omega} \right)^{1/2} \quad (2)$$

$$A = (3\theta_1 - 1)\varepsilon_1 + (3\theta_2 - 1)\varepsilon_2, \quad B = (3\theta_1 - 1)\gamma_1 + (3\theta_2 - 1)\gamma_2.$$

Для разделения действительной и мнимой частей ε^* был использован программный пакет «Mathematica 5.0», результаты применения которого контролировались специальной программой на основе формулы Муавра. В качестве примера нами рассмотрены компоненты пьезокерамики из [5-9] и прогнозируется их связность. Далее на основе результатов формул (1-2) проведено экспериментальное исследование и теоретические расчеты внутренней структуры пористых композиционных материалов. На основе экспериментальных данных по ДП свободного образца решалась обратная задача по определению типа связности композита. ДП измерялась на частоте 1 килогерц [5-9] и является характерной величиной для высокочастотной части релаксационных процессов межкомпонентной макроскопической поляризации. Делается вывод о принадлежности структуры к связности 1-3 в направлении, которое имеет наименьший размер [5-9]. На основе формул (1-2) для электростатического поля серии вытянутых (сплюснутых) эллипсоидов вычисляются аспектные отношения пор и внутренние электрические поля сред, представленных в [5-9].

Выводы

1. Составлен комплекс программ для прогнозирования характерной связности на основе формул метода эффективной среды. Результаты расчетов показывают значительное превышение пробойных полей над расчетными значениями критических внутренних полей.

2. Результаты работы подтверждены данными рентгеновской спектроскопии на серии композитных образцов, что позволило однозначно определить их тип связности, который однозначно принадлежал типу 1-3.

3. Используемый в работе метод эффективной среды дает погрешность в окрестности и ниже (по концентрации проводящего компонента) порога протекания, которая, например, для низкочастотной ДП системы «пьезокерамика - поры» может достигать 10-15% по сравнению с численными расчетами [1], которые полностью учитывают влияние пьезоэлектрического эффекта. Однако качественное поведение эффективных констант в зависимости от концентрации и частоты остаются неизменными.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП "Высокие технологии" ЮФУ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Радченко Г.С., Скрылёв А.В., Малыхин А.Ю., Панич А.А. // ЖТФ. 2018. Т. 88. Вып. 2. С. 201-207.
2. Отраслевой стандарт «Материалы пьезокерамические» 11.0444.1987, 148 стр.
3. Шарапов В., Мусиенко М., Шарапова Е. // Пьезоэлектрические датчики. Москва. Изд. Техносфера. 2006. 628 стр.
4. Горши А.В., Дудкевич В.П., Куприянов М.Ф., Панич А.Е., Турик А.В. // Пьезоэлектрическое приборостроение. Т. 1, Физика сегнетоэлектрической керамики. М.: ИПЖРТ. 1999.
5. Нестеров А.А., Панич А.А., Скрылёв А.В., Малыхин А.Ю. // Инженерный вестник Дона. 2012. № 3 (21). С. 507-511.
6. Нестеров А.А., Панич А.А., Свирская С.Н., Малыхин А.Ю., Скрылёв А.В., Панич Е.А. // Инженерный вестник Дона. 2012. № 3 (21). С. 497-501.
7. Малыхин А.Ю., Скрылёв А.В., Панич А.Е., Свирская С.Н., Кретьова Е.И., Медведева Е.С. // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. № 4 (153). С. 213-219.
8. Панич А.А., Свирская С.Н., Карюков Е.В., Скрылев А.В., Малыхин А.Ю., Воотинова Т.В. // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 3. С. 43.
9. Нагаенко А.В., Свирская С.Н., Панич А.Е., Малыхин А.Ю., Скрылёв А.В. // Инженерный вестник Дона. 2016. № 2 (41). С. 7.

Радченко Григорий Сергеевич – кандидат физико-математических наук; доцент кафедры технологии и профессионально-педагогического образования Южного федерального университета; Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Мильчакова, 10, 344090; тел.: +79054325596; email: grig1980@mail.ru.

Скрылёв Александр Владимирович – младший научный сотрудник Института высоких технологий и пьезотехники Южного федерального университета; г. Ростов-на-Дону, ул. Мильчакова, 10, 344090.

Малыхин Анатолий Юрьевич – Инженер НКТБ «Пьезоприбор» Южного федерального университета; г. Ростов-на-Дону, ул. Мильчакова, 10, 344090.

Radchenko Grigory Sergeevich – Candidate of Physical and Mathematical Science-Associate Professor of the Department of Technology and Professional Pedagogical Education, Southern Federal University, st. Milchakova 10, Rostov-on-Don, Russia; Phone: +79054325596, email: grig1980@mail.ru

Skrylev Alexandr Vladimirovich – Junior Researcher, Institute of High Technologies and Piezotechnics, Southern Federal University, st. Milchakova 10, Rostov-on-Don, Russia.

Malykhin Anatoly Yurievich – Engineer SCTB "Piezopribor", Southern Federal University, st. Milchakova 10, Rostov-on-Don, Russia.

УДК 621.382.3 : 621.314

Синюкин Александр Сергеевич

МОДЕЛИРОВАНИЕ МОДУЛЯ ПИТАНИЯ ПАССИВНЫХ УСТРОЙСТВ РАДИОЧАСТОТНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Работа посвящена исследованию модуля питания пассивных устройств радиочастотной идентификации. Такие устройства находят широкое применение в беспроводных сенсорных сетях, технологии радиочастотной идентификации (RFID), «интернете вещей» и других областях. Пассивные устройства в составе этих систем (транспондеры, датчики) собирают радиочастотную энергию из окружающей среды, но, чтобы использовать её для питания системы, необходимы схемы выпрямления и умножения напряжения. Проведено моделирование многокаскадных выпрямителей напряжения, реализованных по различным КМОП-технологиям, в среде схемотехнического моделирования T-Spice.

Выполнено сравнение результатов аналитического моделирования с результатами компьютерного моделирования аналогичных структур. Результаты работы могут быть полезны для разработчиков схем питания пассивных микроустройств на основе МОП-транзисторов.

Радиочастотная идентификация, «интернет вещей», модуль питания, выпрямитель напряжения, наноразмерный МОП-транзистор, подпороговое напряжение, модель BSIM4.

Sinyukin Alexander Sergeevich

SIMULATION OF POWER SUPPLY MODULE FOR PASSIVE RADIOFREQUENCY IDENTIFICATION DEVICES

The work is dedicated to research of power supply module of passive radiofrequency identification devices. Such devices are widely used in Wireless Sensor Networks, Radiofrequency Identification technology (RFID), 'Internet of Things' and other applications. Passive devices in these systems (transponders, sensors) harvest radiofrequency energy from the environment but circuits of voltage rectification and multiplication are required for using this energy as supply voltage. The simulation of multistage voltage rectifiers implemented with different CMOS technologies using circuit simulation environment T-Spice was carried out. The comparison of analytical simulation results with results of the similar structures computer simulation was accomplished. The results of the work could be useful for designers of power supply circuits for passive microdevices based on MOSFETs.

Radiofrequency identification, 'Internet of Things', power supply module, voltage rectifier, nanoscale MOSFET, subthreshold voltage, BSIM4 model.

Введение. В настоящее время беспроводные мобильные устройства находят всё более широкое применение во многих областях человеческой деятельности: промышленности, строительстве, логистике, торговле, медицине, в быту. Важную роль среди них играют пассивные устройства, в которых отсутствует встроенная батарея. Таким устройствам необходимо получать энергию для работы из внешней среды, но их масса и размеры меньше, чем у активных аналогов, стоимость ниже, а срок службы гораздо дольше. Пассивные микроустройства используются в тех областях, где необходима массовая автоматизация процессов измерения, управления и идентификации: в беспроводных сенсорных сетях (WSN), технологии ра-

диочастотной идентификации, «интернете вещей». Концепция «интернета вещей» вобрала в себя основные идеи RFID (автоматизированная идентификация объектов с помощью радиочастотного излучения [1-2]) и WSN (самоорганизующиеся системы беспроводных датчиков [3-4]). В результате физические объекты, оснащённые датчиками, актюаторами и программным обеспечением способны взаимодействовать между собой посредством беспроводной связи, формируя в конечном итоге «умное здание» или даже «умный город» - автоматизированную, безопасную, комфортную и ресурсосберегающую среду [5-6].

Пассивные микроустройства получают энергию радиочастотного излучения из внешних источников – из окружающей среды или от устройства считывания. В различных приложениях расстояние между считывающим устройством и радиочастотными метками может быть разным. Если расстояние между устройством считывания и меткой велико, то уровень мощности, поступающий на пассивное устройство, может оказаться недостаточным для его питания. Низкими могут быть амплитуды входных напряжений и в том случае, если метка собирает энергию из окружающей среды (излучаемую радио- и телевизионными станциями, базовыми станциями сетей сотовой связи и так далее). По этой причине важной является проблема разработки модулей питания пассивных беспроводных микроустройств, способных функционировать при очень низких входных напряжениях – ниже порогового напряжения МОП-транзисторов, на основе которых и осуществляется построение схем питания.

Моделирование многокаскадного выпрямителя напряжения. Одним из ключевых компонентов источника питания в пассивных беспроводных микроустройствах является выпрямитель напряжения, преобразующий входное напряжение переменного тока в напряжение постоянного тока, которое можно использовать для питания внутренних схем пассивного устройства. Выпрямитель, построенный на основе схемы накачки заряда Диксона [7], допускает простое каскадирование, благодаря чему возможно увеличение уровня выпрямленного напряжения. Схема двухкаскадного умножителя на МОП-транзисторах в диодном включении представлена на рис. 1.

Согласно принципу работы схемы каждый контур схемы должен увеличивать уровень выпрямленного напряжения примерно в два раза. Каждый каскад состоит из двух контуров, поэтому выражение для выходного напряжения можно записать как [8]

$$V_{out} = 2 \cdot N \cdot (V_{in} - V_{th}) \quad (1)$$

где N – число каскадов, V_{in} - входное напряжение, V_{th} – пороговое напряжение.

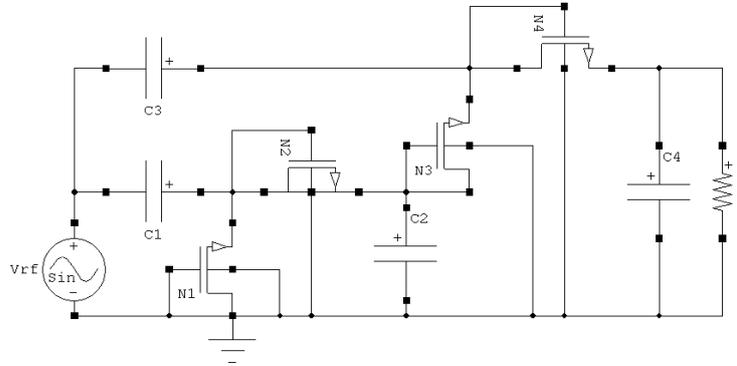


Рис.1. Схема двухкаскадного умножителя напряжения

В среде схемотехнического моделирования T-Spice было выполнено моделирование многокаскадных выпрямителей напряжения, реализованных по различным КМОП-технологиям [9]. На рис. 2 показаны зависимости выходного напряжения восьмикаскадного выпрямителя от амплитуды входного синусоидального сигнала ($f = 2,45$ ГГц) для различных технологий (90 нм, 65 нм, 45 нм).

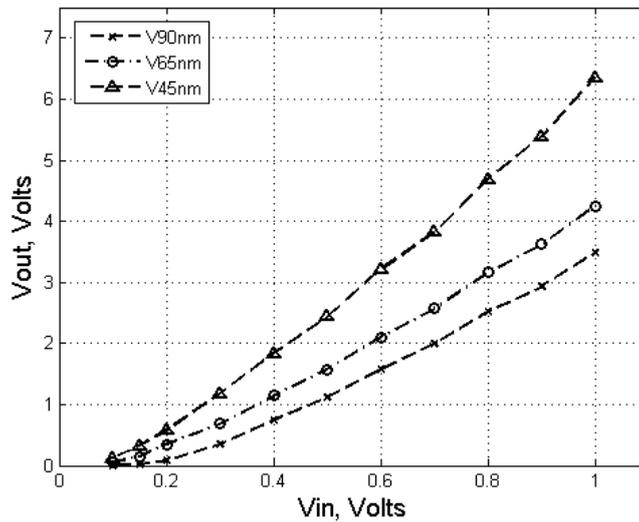


Рис. 2. Зависимость выходного напряжения восьмикаскадного выпрямителя от амплитуды входного напряжения для различных технологий

С увеличением количества каскадов выходное напряжение возрастает, но в то же время возрастают потери на выпрямляющих элементах (транзисторах в диодном включении) вследствие обратных токов, так что при определенном количестве каскадов полезный эффект от каскадирования ослабляется. Кроме того, на снижение уровня выходного напряжения оказывают влияние величина порогового напряжения и короткоканальные эффекты (например, неравномерное латеральное легирование) [10]. С совершенствованием технологий в направлении уменьшения длины канала выходные напряжения возрастают благодаря увеличению плотности токов.

В отличие от длинноканальных МОП-транзисторов, в которых проводимость тока осуществляется при напряжениях на затворе больше порогового, в короткоканальных приборах возможна работа при напряжениях равных и даже ниже порогового напряжения. В случае короткого канала линейная зависимость тока стока от напряжения на затворе сохраняется как для напряжения сток-исток меньше, так и больше напряжения насыщения, а квадратичная зависимость проявляется в значительно меньшей степени. В подпороговом режиме ток стока имеет диффузионную природу и меняется экспоненциально [11]. Выражение для тока в этой области можно записать как:

$$I_{ds} = I_0 \left[1 - \exp\left(-\frac{V_{ds}}{V_t}\right) \right] \cdot \exp\left(\frac{V_{gs} - V_{th}}{n \cdot V_t}\right) \quad (2)$$

где V_{ds} и V_{gs} – это напряжения сток-исток и затвор-исток, V_{th} – пороговое напряжение, n – параметр, определяющий крутизну передаточной характеристики в подпороговой области, I_0 – параметр, определяемый технологическими и геометрическими особенностями транзистора, $V_t = kT/q$.

На основе выражения (2), преобразований Тейлора и уравнений для замкнутых контуров была получена приближенная аналитическая модель N-каскадного выпрямителя напряжения, работающего при входных напряжениях ниже порогового напряжения транзисторов. Результаты аналитического моделирования, выполненного в системе Matlab, сравнивались с результатами компьютерного моделирования, проводимого в T-Spice (в обоих случаях задавались одинаковые экспериментальные параметры [12] для технологии КМОП 90 нм) Так при входном напряжении двухкаскадного выпрямителя $V_{in} = 0,2$ В выходное напряжение в случае аналитической модели составило 0,454 В, а в случае схемотехнического моделирования – 0,509 В. Расхождение можно объяснить допущениями в полученной аналитической модели, тогда как в T-Spice используется достаточно подробная

модель BSIM4 [10], описывающая физические эффекты короткоканальных МОП-транзисторов. На основании полученной модели можно сделать выводы о влиянии исходных параметров транзистора на уровень выходного напряжения выпрямителя. Так, величина тока стока транзистора, а, следовательно, и уровень выходного напряжения зависит от порогового напряжения приблизительно обратно экспоненциально.

Выводы. В работе проведено моделирование структур многокаскадных выпрямителей, реализованных по различным КМОП-технологиям (90 нм, 65 нм, 45 нм). Показано, что с уменьшением длины канала транзистора уровень выходного напряжения выпрямителя увеличивается. Также выполнено сравнение результатов аналитического и схемотехнического моделирования выпрямителя. Результаты могут быть использованы для оценки влияния технологических параметров наноразмерных МОП-транзисторов на выходные характеристики выпрямителя, что может быть полезно для разработчиков источников питания пассивных беспроводных микроустройств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Olgun U., Chen C.-C., Volakis J.L.* Wireless Power Harvesting with Planar Rectennas for 2.45 GHz RFID // 2010 URSI International Symposium on Electromagnetic Theory. - IEEE, 2010. - P. 329-331.
2. *Liu D., Wang R., Yao K.* Design and Implementation of a RF Powering Circuit for RFID Tags or Other Batteryless Embedded Devices // Sensors (Basel). – 2014. – Vol. 14, No. 8. – P. 14839-14857.
3. *Tran L.-G., Cha H.-K., Park W.-T.* RF power harvesting: a review on designing methodologies and applications // Micro and Nano Systems Letters. – 2017. – Vol. 5, №. 14. – P. 1-16.
4. *Liu H., Bolic M., Nayak A., Stojmenovic I.* Taxonomy and Challenges of the Integration of RFID and Wireless Sensor Networks // IEEE Network. – 2008. – Vol. 22, No. 6. – P. 26-35.
5. *Takacs A., Okba A., Aubert H., Charlot S., Calmon P-F.* Recent advances in electromagnetic energy harvesting and Wireless Power Transfer for IoT and SHM applications // 2017 IEEE International Workshop of Electronics, Control, Measurement, Signals and their Application to Mechatronics. – IEEE, 2017. – P. 1-4.
6. *Riazul Islam S.M., Kwak D., Humaun Kabir MD., Hossain M., Kwak K.-S.* The Internet of Things for Health Care: A Comprehensive Survey // IEEE Access. – 2015. – Vol. 3. – P. 678-708.

7. *Dickson J. F.* On-Chip High-Voltage Generation in Integrated Circuits Using an Improved Multiplier Technique // IEEE Journal of Solid-State Circuits. – 1976. – Vol. SC-11, No. 3. – P. 374-378.
8. *Dobkin D.M.* The RF in RFID: Passive UHF RFID in Practice / D.M. Dobkin. - Burlington, MA, USA: Elsevier, 2008. – 493 p.
9. *Коноплев Б.Г., Синюкин А.С.* Исследование выпрямителей на основе наноразмерных МОП-транзисторов для микросистем с беспроводным питанием // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2018. – № 2 (196). – С. 105–113.
10. *Hu C., Niknejad A.M., Morshed T. [et. al]* BSIM4v4.7 MOSFET Model – User’s Manual. – USA, Berkeley: University of California, 2011. – 184 p.
11. *Reynders N., Dehaene W.* Ultra-Low-Voltage Design of Energy-Efficient Digital Circuits / N. Reynders, W. Dehaene. – Switzerland: Springer, 2015. – 192 p.
12. *Sicard E., Bendhia S.D.* Basics of CMOS Cell Design / E. Sicard, S.D. Bendhia. – USA: McGraw-Hill, 2007. – 429 p.

Синюкин Александр Сергеевич – аспирант Южного федерального университета, Россия, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44, 347928, телефон: 8 (961) 308-46-28, email: sinyukin@sfedu.ru.

Sinyukin Alexander Sergeyevich – postgraduate at Southern Federal University, 347928, Russia, Taganrog, 44 Nekrasovsky per., phone: 8 (961) 308-46-28, email: sinyukin@sfedu.ru.

УДК 53.09, 538.911

Радченко Григорий Сергеевич, Скрылёв Александр Владимирович,
Малыхин Анатолий Юрьевич, Панич Александр Анатольевич

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ СВОЙСТВ СЛОЖНЫХ КОМПОЗИТНЫХ СРЕД СО СВЯЗНОСТЬЮ ТИПА «СТАТИСТИЧЕСКАЯ СМЕСЬ»

В настоящей статье представлено моделирование полного набора важнейших электромеханических свойств пористых пьезокерамических образцов. На основе компьютерного эксперимента прогнозируется экстремально высокий объемный пьезоэлектрический отклик. Формулируются условия достижения наибольшего пьезомодуля при сохранении диэлектрических свойств. Обсужда-

ется получаемый тип связности композитной среды на основе сравнимых результатов компьютерного и натурального эксперимента.

Пьезокерамика, композит, пористый состав, диэлектрическая проницаемость, связность.

Radchenko Grigoriy Sergeevich, Skrylev Alexandr Vladimirovich, Malykhin Anatoliy Yurievich, Panich Alexandr Anatolievich

COMPUTER MODELING OF EFFECTIVE PROPERTIES OF COMPLEX COMPOSITE ENVIRONMENTS WITH CONNECTIVITY TYPE "STATISTICAL MIXTURE"

The present paper models the full set of the important electromechanical properties of the porous ceramic samples. On the basis of the computer experiment we predict the high volume piezoresponse. The conditions for this are carefully analyzed. We also discuss the type of the obtained connectivity on the basis of the computed and experimental data.

Piezoceramics, composite, porous sample, dielectric permittivity, connectivity.

Введение

Пористые керамические композитные материалы в настоящее время вызывают особый интерес. Это связано с необычными свойствами подобных материалов как под действием электрических, так и под действием волновых механических полей направленного звука [1-16]. В частности, уникальным свойством пористых керамических композитов является сохранение, и даже увеличение пьезоэлектрических свойств при высоких концентрациях воздушных пор с сохранением заметных значений эффективных диэлектрических свойств [5, 6]. Данное обстоятельство приводит к повышенной объемной пьезочувствительности таких составов, что делает их перспективными для многих технических применений. Между тем при описании таких составов многие проблемы как теоретического, так и экспериментального характера остаются нерешенными и даже неупомянутыми в литературе. Среди них можно отметить моделирование полного набора эффективных констант конечных образцов различной макроскопической геометрии строения. Необходимым условием измерения эффективных параметров композита является режим термодинамического равновесия и выполнение адиабатического приближения, что при комнатной температу-

ре и нормальных условиях является выполненным. В этом случае для теоретического описания подобных сред вполне применимы макроскопические уравнения пьезоэффекта, и выбор той или иной формы их записи (одна из возможных четырёх форм) диктуется конкретной технической направленностью и целью расчетов или измерений. При измерении, например, квазистатического пьезоэлектрического отклика часто пренебрегают его частотной зависимостью, что является совершенно неоправданным. Между тем, как видно из основных уравнений пьезоэлектричества, очевидно, что частотная зависимость ДП влечет за собой аналогичную зависимость и фазовый сдвиг абсолютно всех констант, в том числе пьезоэлектрических, диэлектрических и упругих [1, 2, 13, 14]. Самому вопросу моделирования макроскопической частотной зависимости пьезосвойств в литературе уделено явно недостаточное внимание, что и стимулировало настоящее исследование.

Основная часть

В настоящее время все методы описания гетерофазных, в частности двухфазных композитов делятся на два типа: описание матричных систем и систем типа «статическая смесь». В случае матричного композита один из компонентов все время образует связную матрицу, в которой находятся включения другого компонента. Система при этом остается структурно асимметричной, и возрастание концентрации включений теоретически не должно менять структуру материала. Практически это является малодостижимым уже при концентрациях включений порядка 40-50%. В таких системах при расчетах по матричным методам теоретически невозможны перколяционные переходы типа, например, «металл-диэлектрик», или «жесткость-податливость». Это обстоятельство в ряде случаев находится в резком противоречии с экспериментальными данными, которые ясно указывают на наличие таких переходов в реальных керамиках, и о резких аномалиях физических свойств около соответствующих им концентраций компонентов. Сложный композитный материал может моделироваться статистической смесью сфер или сфероидов. Конкретное аспектное отношение, а также ориентация составляющих композит сфероидальных частиц как факторы влияния могут быть исключены из рассмотрения при переходе к правильным сферам. Именно это упрощение по сравнению с важнейшей работой [10] было сделано Алешиным в [5] для анизотропной керамики и в [6] для композитов. И поэтому основной проблемой для расчета композитных сред

и взаимодействия сферического включения со средой является вычисление тензора Эшелби из одноименной микромеханической модели [5, 6, 8-10].

Для теоретических расчетов в таблицах 1-2 мы применяем модифицированный метод [5, 6] для описания смеси двух трансверсально изотропных керамик [5, 6, 8-10], и в качестве предельного случая рассматриваем пористый композит 0-3 на основе керамики ЦТС по [6]. Поры предполагаются обладающими нулевой упругой жесткостью (или бесконечной податливостью [6]). Метод [6] также дополнен нами учетом сквозной проводимости и межслойной поляризации по моделям [1, 2]. Механически свободная ДП представляется нами как $\varepsilon_{33}^{\sigma} = \varepsilon_{33}^{\sigma}|_{\omega \rightarrow \infty} + i \frac{\gamma}{\omega}$, где γ есть сквозная проводимость чистой керамики в направлении поляризации. ε здесь есть ДП, ω есть круговая (циклическая) частота. Случай пористого композита сравнивается с проведенным экспериментом на серии четырех частот, которые охватывают практически всю релаксационную максвелл-вагнеровскую область [1, 2, 13, 14]. Десять исходных констант [5-7] керамики ЦТС брались из ОСТ-88 [7] для составов ЦТС-36 и ЦТБС-3. На выходе программа выдавала десять в общем случае комплексных констант [6], что позволяло теоретически рассчитывать их абсолютные значения и фазовые параметры. Теория метода достаточно полно изложена в [5, 6] и мы не будем здесь выписывать соответствующие достаточно громоздкие формулы, полностью следуя им при вычислениях. Важно отметить, что при корректном следовании теории [5, 6] возможно составить итерационную программу для расчета десяти важнейших констант пористого композита, что и было сделано нами в настоящей работе.

На рис. 1 и 2 изображены теоретические зависимости зарядового отклика Mq от концентрации пористого компонента для рассматриваемых в работе составов на частотах 20 Гц и 1000 Гц соответственно.

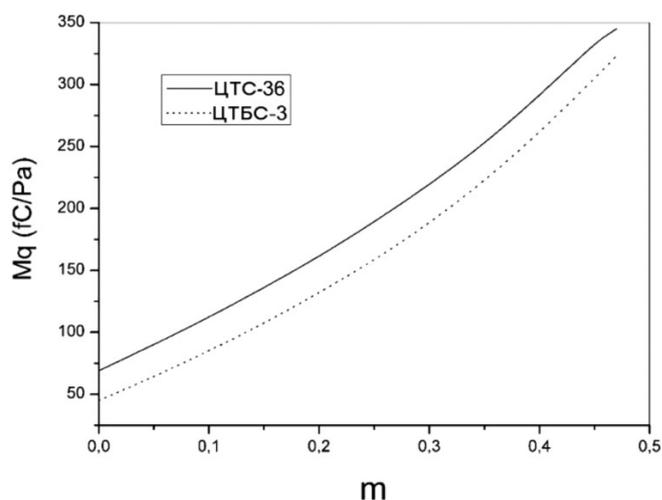


Рис. 1. Теоретическая зависимость зарядового отклика пористых композитов 0-3 на основе системы ЦТС от концентрации пор на частоте 20 Гц. Данные для керамического компонента приведены в [7]. Геометрические размеры обоих составов предполагались равными 40*40*8,5 мм.

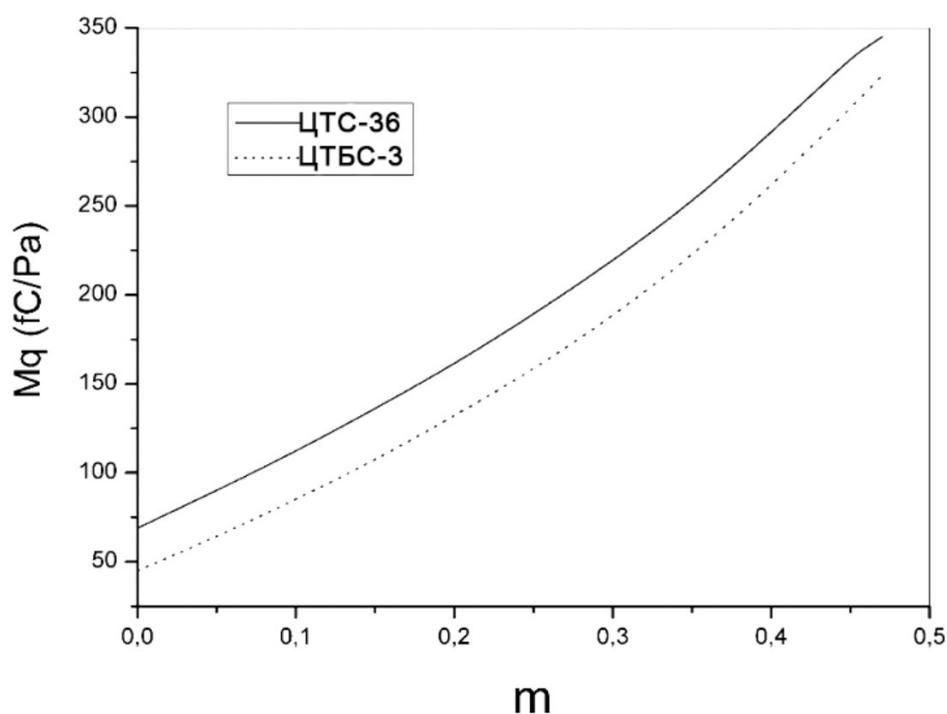


Рис. 2. Теоретическая зависимость зарядового отклика пористых композитов 0-3 на основе системы ЦТС от концентрации пор на частоте 1000 Гц. Данные для керамического компонента приведены в [7]. Геометрические размеры обоих составов предполагались равными 40*40*8,5 мм.

Из анализа рис. 1 и 2 видно, что с ростом пористости зарядовый отклик резко растет во всем частотном диапазоне внешнего механического воздействия в пределах максвелл-вагнеровской релаксационной области. Расчеты при $m > 0.47$ затруднены ввиду наличия при $m = 0.5$ перколяционного перехода типа «жесткость-податливость» [6], который приводит к обращению в бесконечность эффективных упругих податливостей системы [6] и, следовательно, невозможности корректной работы программы для подсчета Mq и Mu .

Выводы

1. Теоретические значения зарядового отклика для всех рассмотренных составов очень близки к эксперименту.
2. Увеличение содержания пор при построении теоретических зависимостей ведет к резкому росту зарядового отклика, что связано со значительным накоплением максвелл-вагнеровского заряда на поверхностях раздела «керамика-пора».
3. Приложение как механических, так и электрических низкочастотных полей приводит к межкомпонентной релаксации заряда и существованию релаксационной области с резким изменением всех эффективных параметров с частотой.
4. Эффективный пьезотклик в частотном интервале от 20 до 1000 Гц зависит от частоты достаточно существенно, до 10-15% по абсолютной величине.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Turik A.V., Radchenko G.S.* // J. Phys. D: Appl. Phys. 2002. V. 35. P. 1188-1192.
2. *Турик А.В., Чернобабов А.И., Радченко Г.С., Турик С.А.* // Физика твердого тела. 2004. Т. 46. № 12. С. 2139-2142.
3. *Мэзон У.* Физическая акустика. Изд-во «Мир». Москва. 1966. 589 стр.
4. *Ландау Л.Д., Лившиц Е.М.* Электродинамика сплошных сред. М.: Физматлит, 2005. 651 стр.
5. *Aleshin V.* // Journal of Applied Physics 2000. 88. P. 3587-3591.
6. *Алешин В.И., Цихоцкий Е.С., Яценко В.К.* // Журнал технической физики. 2004. 74. С. 62-67.
7. Отраслевой стандарт «Материалы пьезокерамические» 11. 0444. 1987. 148 стр.
8. *Eshelby J. D.* The Continual Theory of Dislocations, Moscow, 1963. 247 pages.
9. *Dunn M. L., Wienecke H. A.*, Int. J. Solids Struct. 1997. 34. P. 3571-3582.
10. *Huang J. H., Kuo W.-S.* Acta Mater. 1996. V. 44. P. 4889-4898.

11. Imanishi Y., Adachi K., Kotaka T. // Journal of Chemical Physics. 1988. V.89, P. 7593-7598.
12. *Беляев Б.А., Дрокин Н.А., Шабанов В.Ф.* Физика твердого тела. 2005. Т. 47. № 9. С. 1722-1726.
13. *Турик А.В., Радченко Г.С.* Физика твердого тела. 2003. Т. 45. № 6. С. 1013-1016.
14. *Радченко Г.С., Турик А.В.* Физика твердого тела. 2003. Т. 45. № 9. С. 1676-1679.
15. *Турик А.В., Радченко Г.С., Чернобабов А.И., Турик С.А., Супрунов В.В.* Физика твердого тела. 2006. Т. 48. № 6. С. 1088-1090.
16. *Radchenko G. S.* // Journal of Applied Physics A. 2012. V. 109, № 2, P. 449-457.

Радченко Григорий Сергеевич – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры технологии и профессионально-педагогического образования ЮФУ, Россия, г. Ростов-на-Дону, тел.: +79054325596, email: grig1980@mail.ru.

Скрылёв Александр Владимирович – младший научный сотрудник Института высоких технологий и пьезотехники ЮФУ г. Ростов-на-Дону.

Малыхин Анатолий Юрьевич – Инженер НКТБ «Пьезоприбор» ЮФУ, г. Ростов-на-Дону.

Панич Александр Анатольевич – доктор технических наук, профессор, директор - главный конструктор конструкторского бюро, НКТБ «Пьезоприбор ЮФУ», г. Ростов-на-Дону, ул. Мильчакова, 10.

Radchenko Grigory Sergeevich – Candidate of Physical and Mathematical Science, Associate Professor of the Department of Technology and Professional Pedagogical Education, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia, Phone: +79054325596, email: grig1980@mail.ru.

Skrylev Alexandr Vladimirovich – Junior Researcher, Institute of High Technologies and Piezotechnics, Southern Federal University, Rostov-on-Don.

Malykhin Anatoly Yurievich – Engineer SCTB "Piezopribor" SFedU, Rostov-on-Don.

Panich Alexandr Anatolievich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Director - Chief Designer of the design office, SCTB "Piezopribor SFedU", Rostov-on-Don, st. Milchakova 10.

УДК 621.376(075)

Цветков Федор Алексеевич

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ПРИЕМНОМ ТРАКТЕ SDR-ТРАНСИВЕРА НА ЯЗЫКЕ LABVIEW

В докладе показывается, как с помощью программ на языке LabVIEW можно наглядно пояснить основные понятия и алгоритмы обработки сигналов в приемных устройствах SDR-трансиверов (Software-Defined Radio), широко использующих комплексные (квадратурные) сигналы.

Программы облегчают изучение этих алгоритмов студентами направлений 11.03.01, 11.03.02, 11.04.01, 11.04.02. В докладе результаты на всех этапах обработки радиосигналов проиллюстрированы спектральными и временными диаграммами. Использование этих программ в течение нескольких семестров показало их методическую ценность.

Радиосигнал, SDR, комплексный сигнал, комплексное преобразование частоты, детектирование, LabVIEW.

Tsvetkov Fedor Alekseevich

MODELING OF PROCESSES IN THE RECEPTION TRACT OF SDR-TRANSVIVER IN THE LANGUAGE LABVIEW

The report shows how using LabVIEW programs can clearly illustrate the basic concepts and algorithms of signal processing in receivers of SDR-transceivers (Software-Defined Radio), which widely use complex (quadrature) signals.

Programs facilitate the study of these algorithms by students of directions 11.03.01, 11.03.02, 11.04.01, 11.04.02. In the report, the results at all stages of radio signal processing are illustrated by spectral and temporal diagrams. The use of these programs over several semesters has shown their methodological value.

Radio signal, SDR, complex signal, complex frequency conversion, detection, LabVIEW.

Введение

В современных устройствах связи очень широко используются цифровые алгоритмы обработки радиосигналов в формате комплексных (квадратурных) колебаний. Использование сигналов обусловлено легкостью обес-

печения в цифровых устройствах стабильности коэффициента передачи и сдвига фаз 90° квадратурных каналов. А достижения микроэлектроники позволяют создать скоростные малогабаритные цифровые устройства. Все это обусловило бурное развитие устройств радиосвязи, использующих комплексные сигналы [1, 2].

При изучении студентами таких устройств сначала необходимо обсудить базовые свойства и алгоритмы преобразования комплексных сигналов. Существенно облегчают это программы на языке LabVIEW, т.к. этот язык обладает высокой наглядностью заложенных в программу алгоритмов и результатов их работы.

Основная часть

Для иллюстрации этого на рис. 1 показаны временная и спектральная диаграммы вещественного гармонического колебания (спектр математический).

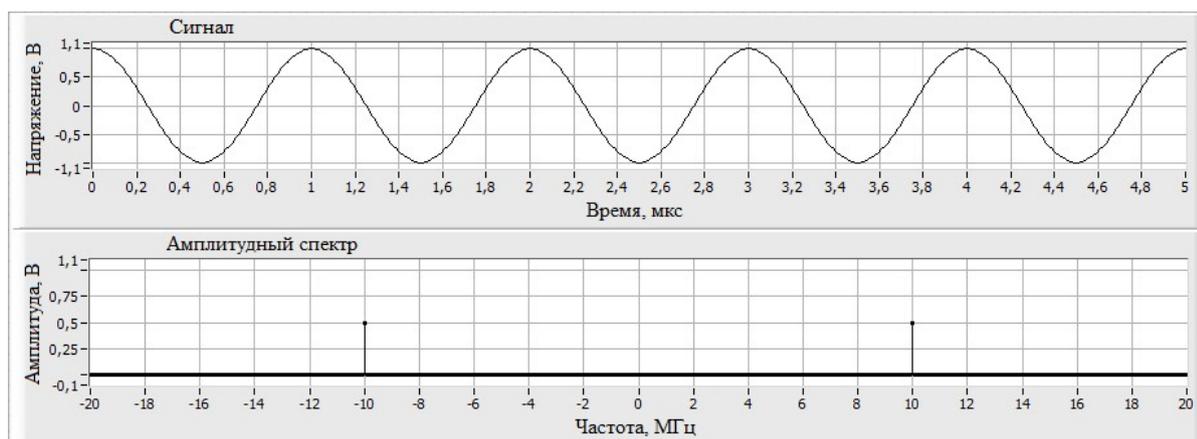


Рис. 1. Вещественное гармоническое колебание

Комплексное гармоническое колебание является структурой, содержащей два (I и Q) колебания (\cos и \sin). На рис. 2 и 3 показаны временные и спектральные диаграммы двух комплексных гармонических колебаний: одно с положительной, другое – с отрицательной частотами [3, 4].

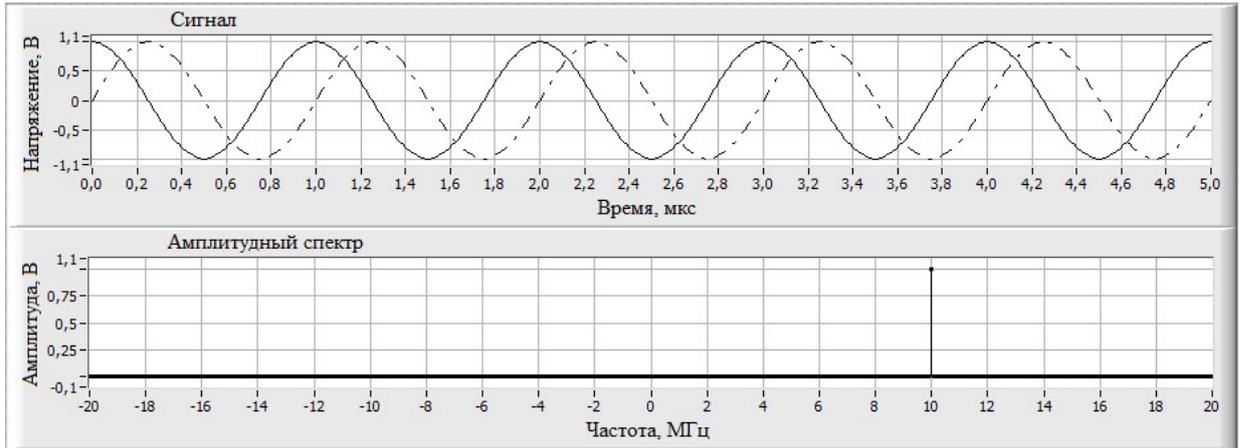


Рис. 2. Комплексное гармоническое колебание с положительной частотой

На рис. 4 показаны спектральные диаграммы при преобразовании частоты вещественного полигармонического колебания (имитация сигнала от антенны) с комплексным колебанием гетеродина. В качестве преобразователя используется перемножитель комплексных величин. Из рисунка видно, что выходной сигнал перемножителя становится комплексным (спектр не симметричен относительно частоты 0), а сам спектр является сдвинутым спектром вещественного сигнала на частоту колебания гетеродина [4, 5]. Очень важно, что при таком преобразовании частоты не возникает «зеркального» канала приема.

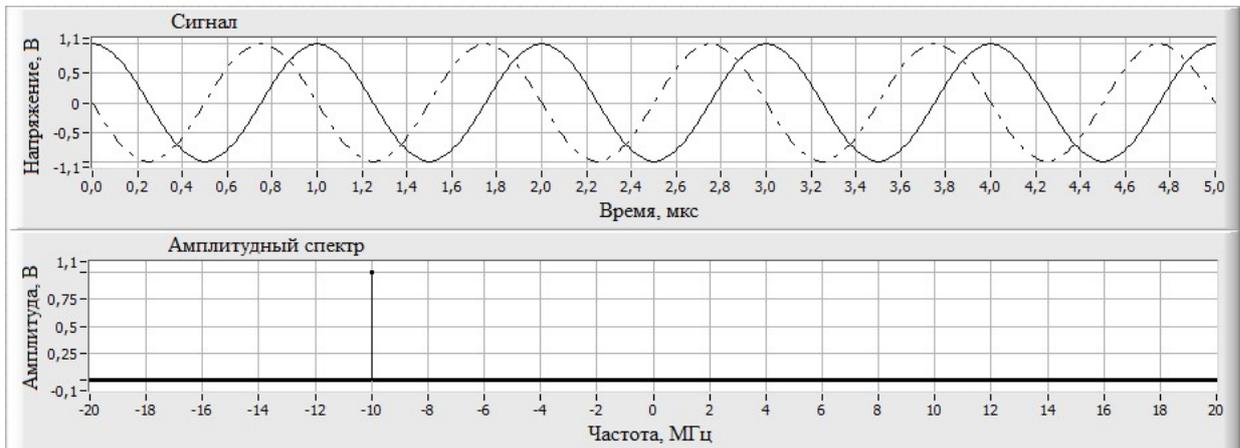


Рис. 3. Комплексное гармоническое колебание с отрицательной частотой

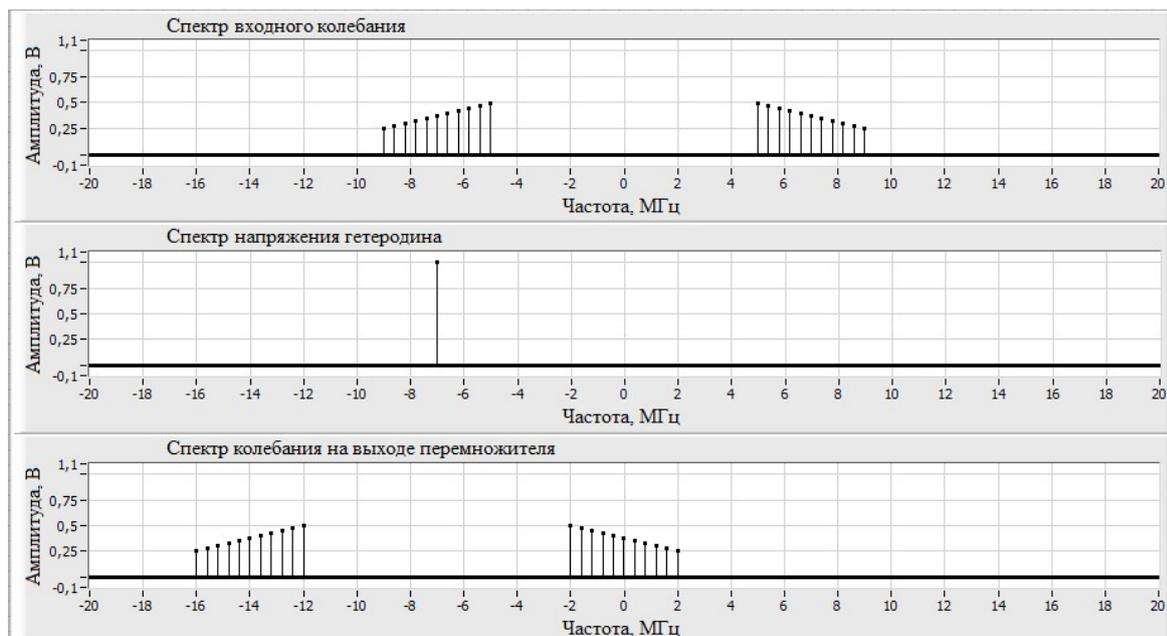


Рис. 4. Преобразование частоты вещественного колебания с комплексным колебанием гетеродина

Для дальнейших иллюстраций используется сигнал реального радиоэфира диапазона (15,445 ... 15,829) МГц, принятый приемником трансивера SanSDR2 QRP [6]. На рис. 5 показана спектральная диаграмма фрагмента суммы сигналов радиостанций в этом диапазоне.

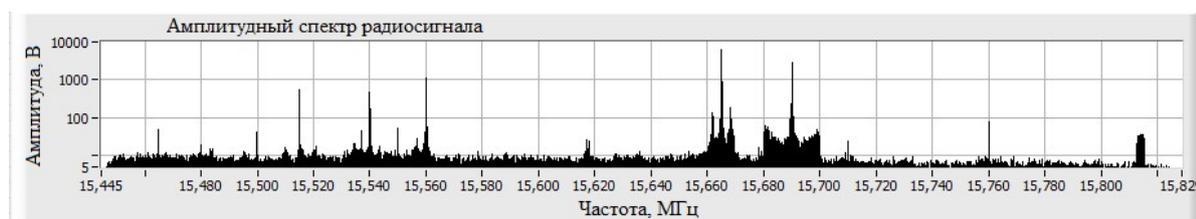


Рис. 5. Спектр фрагмента суммы сигналов радиостанций

Приемник осуществлял прямое аналого-цифровое преобразование радиосигнала с частотой дискретизации 165 МГц (16 бит) с последующим цифровым перемножением потока отсчетов на поток отсчетов комплексного гетеродина с частотой $-15,63658$ МГц, т.е. (аналогично рисунку 4). При этом спектр радиосигналов смещался «влево» так, что радиосигнал с частотой $15,63658$ МГц переносился на частоту 0.

Затем комплексным цифровым фильтром подавлялись составляющие с частотами меньше -190 кГц и больше 190 кГц, что позволило снизить частоту дискретизации комплексного радиосигнала до 384 кГц. Полученный

комплексный сигнал в виде последовательности пар (I, Q) 16-битовых целых чисел вводился в обычный персональный компьютер для сохранения на жестком диске и последующей обработки. Спектр фрагмента записанного и используемого здесь сигнала показан на рисунке 6. Временная диаграмма фрагмента этого сигнала показана на рис. 7.



Рис. 6. Спектр фрагмента записанных сигналов радиостанций

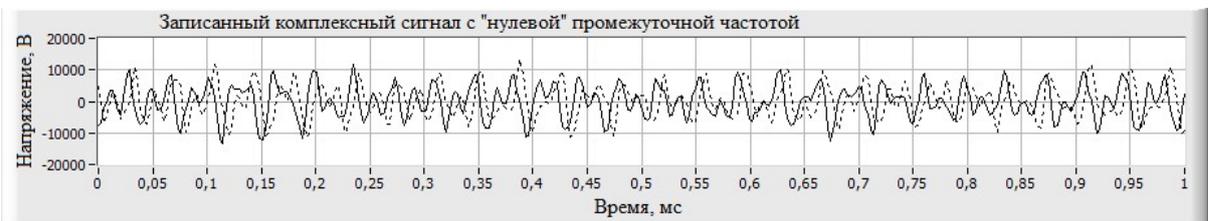


Рис. 7. Временная диаграмма фрагмента записанных сигналов

Теперь для приема АМ-сигнала с частотой несущей 15,665 МГц (28,420 кГц в записанном сигнале) использовалось еще одно преобразование частоты с комплексным гетеродином с частотой $-28,420$ кГц, устанавливавшее частоту несущей принимаемого сигнала равной 0. Получавшаяся при этом спектральная диаграмма показана на рис. 8.



Рис. 8. Спектральная диаграмма после сдвига частоты несущей принимаемого АМ-сигнала на 0

Следующий шаг – выделение принимаемого сигнала комплексным полосовым фильтром (ПФ) с полосой пропускания от -5 кГц до $+5$ кГц. Спектр получавшегося сигнала показан на рис. 9.

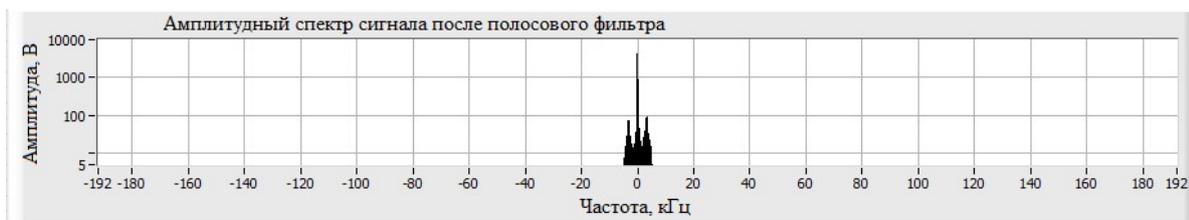


Рис. 9. Спектр комплексного колебания на выходе ПФ

В принципе сигнал на выходе ПФ очень близок к передаваемому сообщению, но не определено соотношение уровней I и Q составляющих, поэтому корректная АМ-демодуляция получится путем вычисления огибающей комплексного сигнала на выходе ПФ. Спектр фрагмента огибающей показан на рис. 10, а соответствующая временная диаграмма (с удаленной постоянной составляющей) – на рис. 11.



Рис.10. Спектр огибающей комплексного колебания на выходе ПФ

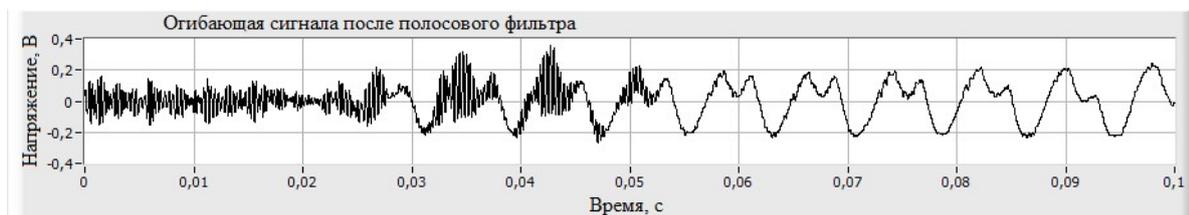


Рис. 11. Результат детектирования АМ-радиосигнала

Частота дискретизации полученного сигнала оставалась равной 384 кГц, а типовые звуковые карты персональных компьютеров чаще всего не воспримут такой цифровой сигнал. Поэтому отсчеты огибающей можно проредить, например в 4 раза (понижить частоту дискретизации до 96 кГц). При верхней граничной частоте сигнала 5 кГц это допустимо и приемлемо для звуковых карт – можно прослушивать через компьютер принимаемый АМ-радиосигнал.

Программа на LabVIEW, воспроизводящая в реальном времени сигнал радиостанции из файла с записанным комплексным сигналом, считывает данные из файла порциями по 0,1 с, выполняет описанные выше действия

для каждого фрагмента, «сшивает» части выходного сигнала детектора и выдает их на звуковую карту. Все приведенные выше диаграммы получены с помощью этой программы, используемой при проведении занятий со студентами.

Выводы

Показана возможность моделирования на языке LabVIEW процессов в приемной части SDR-трансивера в реальном времени при обработке записей сигналов радиоэфира в комплексной форме. Показана высокая наглядность результатов моделирования алгоритмов обработки сигналов на языке LabVIEW. Использование этих программ в течение нескольких лет при обучении студентов показало их высокую методическую эффективность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Проксис Дж.* Цифровая связь. Пер. с англ. /Под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 2000. – 800 с.: ил.
2. *Скляр, Бернард.* Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр. : Пер. с англ. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2007. – 1104 с. : ил. – Парал. тит. англ.
3. *Ричард Л.* Цифровая обработка сигналов: Второе издание. Пер. с англ. – М.: ООО «Бинов-Пресс», 2006 г. – 656 с.: ил.
4. Цифровая обработка сигналов / А.Б. Сергиенко – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.: ил.
5. *Цветков Ф.А., Терешков В.В.* Комплексные сигналы в радиотехнических устройствах передачи и приема информации: учебное пособие. – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2015. – 59 с.
6. <https://eesdr.com/ru/products-ru/transceiver-ru/sunsdr2pro-ru>.

Цветков Федор Алексеевич – 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: fa-tsvet@yandex.ru, facvetkov@sfedu.ru.

Tsvetkov Fedor Alekseevich – Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Department of Theoretical Foundations of Radio Engineering Institute of Radio Engineering Systems and Control, Southern Federal University, Russia, Taganrog, Nekrasovsky Lane, 44, 347928, telephone: +7 (8634) 37-16-32, email: fa-tsvet@yandex.ru, facvetkov@sfedu.ru.

УДК 621.372.542

Рыжов Владимир Петрович, Рыжов Юрий Владимирович

СПЕКТРАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ДВУМЕРНЫХ СИГНАЛОВ (ИЗОБРАЖЕНИЙ) В НЕГАРМОНИЧЕСКИХ БАЗИСАХ

Рассмотрены вопросы представления двумерных сигналов (изображений) с использованием ортогональных разложений в различных базисах (базисы тригонометрических функций (Фурье), дискретное косинусное преобразование, преобразования Хартли, Уолша и Хаара). При моделировании используется класс шумовых (стохастических) изображений. Показано, что при использовании среднеквадратического критерия сходимости наиболее целесообразно использовать базисы дискретного косинусного преобразования, Уолша и Хаара.

Двумерные сигналы, ряд Фурье, базисы, шумовые модели, среднеквадратическая погрешность, вычислительные ресурсы.

Ryzhov Vladimir Petrovich, Ryzhov Yuri Vladimirovich

SPECTRAL MODELS OF TWO-DIMENSIONAL SIGNALS (IMAGES) IN NONHARMONIC BASES

The issues of representation of two-dimensional signals (images) using orthogonal expansions in various bases (of trigonometric functions (Fourier transform), of discrete cosine transform, of Hartley transform, of Walsh transform, and of Haar transform) are considered. A class of noise (stochastic) images are used for modeling. It is shown that when using the RMS criterion of convergence, it most appropriate to use bases of discrete cosine transform, Walsh transform and Haar transform.

Two-dimensional signals, Fourier series, bases, noise models, standard error, computational resources.

При цифровой обработке сигналов широко используются спектральные представления, хорошо согласующиеся с алгоритмами цифровой обработки и позволяющие получить компактное описание сигнала. Для минимизации описания сигналов и вычислительных ресурсов нужно на основе некоторого критерия выбирать систему базисных функций. Такой выбор осуществляется с учетом свойств исследуемых сигналов. При этом нужно также учитывать возможность более простой аппаратной или программной

реализации базиса. Особенно это существенно при обработке двумерных сигналов (изображений) [1]. Выбор базиса в большой степени определяет эффективность алгоритмов обработки изображений.

В качестве базиса пространства используются любые полные ортогональные системы функций. Это необходимо для обеспечения однозначного представления изображения в виде спектра. При этом чаще всего используются тригонометрические функции, функции Уолша, Хаара и другие ортогональные системы функций, удобные для выполнения цифровой обработки [2].

В задаче выбора базиса разложения сигналов существенны свойства множества анализируемых сигналов. Но выбор оптимального базиса по критерию минимума погрешности представления затруднителен из-за отсутствия достаточных априорных сведений. Так, базис Карунена-Лоэва, являющийся оптимальным при разложении случайных процессов по критерию минимума среднеквадратической ошибки, можно найти лишь при известной корреляционной функции процесса, что редко бывает на практике. Кроме того, для реализации разложения Карунена-Лоэва требуются большие вычислительные затраты. Фактор экономии вычислительных ресурсов особенно значителен при обработке двумерных сигналов.

Несмотря на весьма широкое распространение ортогональных способов представления двумерных сигналов, многие вопросы анализа и применения ортогональных преобразований пока недостаточно проработаны, что связано с многообразием классов двумерных сигналов и довольно значительным числом используемых базисных систем ортогональных функций.

Обозначив исходный двумерный сигнал $F(x, y)$, а спектр $G(n, m)$, запишем прямое и обратное дискретные преобразования в системе базисных функций $\varphi_{nm}(x, y)$ в виде:

$$G(n, m) = \frac{1}{NM} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} F(x, y) \cdot \varphi_{nm}(x, y); \quad (1)$$

$$F(x, y) = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} G(n, m) \cdot \varphi_{nm}(x, y). \quad (2)$$

При этом сигнал $F_{nm}(x, y)$, полученный по ограниченному числу членов ряда Фурье записывается в виде:

$$F_{nm}(x, y) = \frac{1}{NM} \sum_{x'=0}^{N-1} \sum_{y'=0}^{M-1} D_{nm}(x-x', y-y') F(x', y'). \quad (3)$$

где $D_{nm}(x, y)$ – ядро Дирихле [3] в соответствующей системе базисных функций $\varphi_{nm}(x, y)$:

$$D_{nm}(x, y) = \frac{2}{\|\varphi(x)\|^2} \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m \varphi_i(x) \cdot \varphi_j(y) \quad (4)$$

Меру расхождения $F(x, y)$ и $F_{nm}(x, y)$ удобно записать в виде средне-квадратической погрешности:

$$\varepsilon_{nm} = \sqrt{\frac{\sum_{x=0}^{n-1} \sum_{y=0}^{m-1} \{F(x, y) - F_{nm}(x, y)\}^2}{\sum_{x=0}^{n-1} \sum_{y=0}^{m-1} \{F(x, y)\}^2}} \quad (5)$$

Для сравнения различных базисов друг с другом используем в качестве моделей двумерных сигналов использовались реализации двумерных компьютерных гауссовых случайных процессов с заданными корреляционными функциями (черно-белые изображения). Такой класс сигналов позволяет проводить моделирование с воспроизводимыми параметрами, осуществлять статистическую обработку модельных изображений. При этом такие двумерные сигналы отображают многие существенные свойства реальных черно-белых изображений. В качестве моделей корреляционных функциями были выбраны наиболее употребительные функции экспоненциальной, колокольной (гауссовой) формы и вида sinc(x):

$$K(x, y) = \sigma^2 \cdot e^{-(\alpha_x|x| + \alpha_y|y|)}, \quad (6)$$

$$K(x, y) = \sigma^2 \cdot e^{-(\alpha_x^2 x^2 + \alpha_y^2 y^2)}, \quad (7)$$

$$K(x, y) = \sigma^2 \cdot \frac{\sin(\alpha_x x)}{\alpha_x x} \cdot \frac{\sin(\alpha_y y)}{\alpha_y y} \quad (8)$$

Поскольку при статистической обработке необходимо использовать большое число реализаций, то размер отдельных изображений задавался в пределах от 64 до 1024 пикселей, в основном 128 или 256. Из систем ортогональных базисных функций использовались гармонические функции (FFT), функции Хартли (DHT), Уолша (FWHT), Хаара (HAAR) и дискретное косинусное преобразование (DCT).

Усредненных по 100 реализациям оценки среднеквадратических ошибок (СКО) преобразований усеченного ряда Фурье в различных базисах для каждого из шумовых сигналов с заданными корреляционными функциями отображались в виде функции значений СКО от числа членов усеченного ряда $\varepsilon(n)$.

Для модели с корреляционной функцией экспоненциального типа (6) с показателем $\alpha = 350$ зависимость $\varepsilon(n)$ приведена на рис. 1.

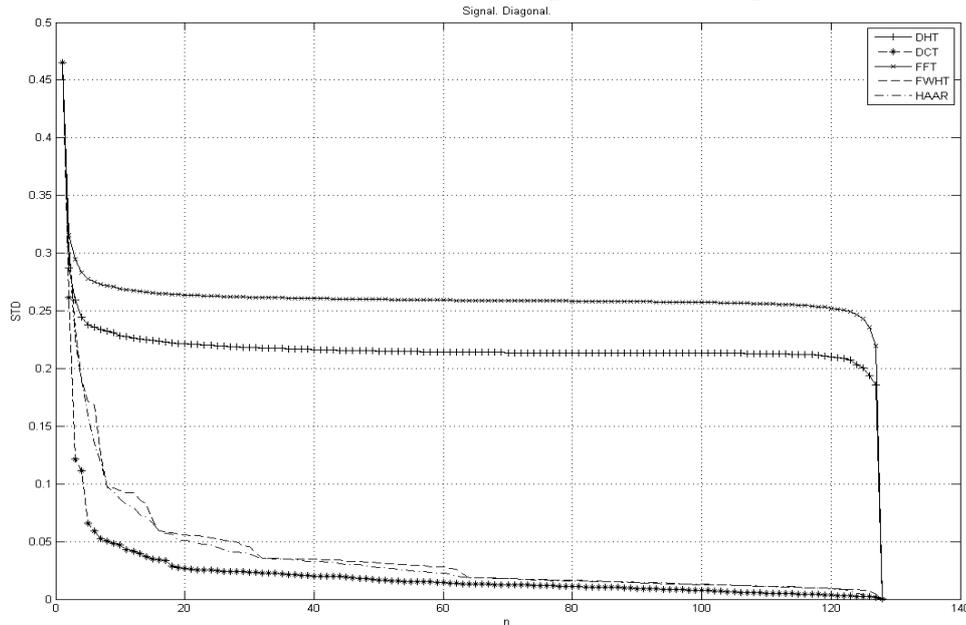


Рис. 1. Зависимость $\varepsilon(n)$ при экспоненциальной корреляции

Видно, что базисы Фурье и Хартли не могут быть использованы для сжатия сигнала заданного класса (даже при незначительном сжатии относительная погрешность в этих базисах составляет 0,20 – 0,25). Наилучшие результаты получаются при использовании базиса ДКП (при погрешности 0,1 $n = 4$). В базисах Уолша и Хаара эта же погрешность достигается при $n = 8$.

Для корреляционных функций (7) и (8) зависимости $\varepsilon(n)$ при том же интервале корреляции, что и для экспоненциальной функции, приведены на рис. 2 и 3 соответственно.

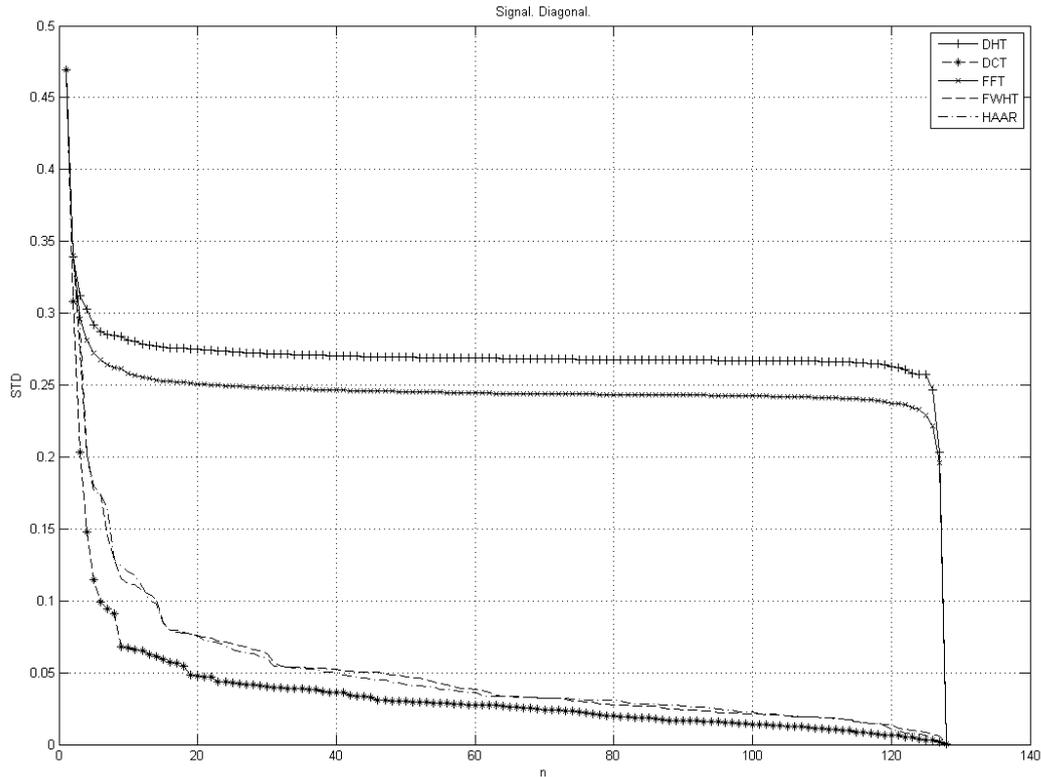


Рис. 2. Зависимость $\varepsilon(n)$ при корреляционной функции (7)

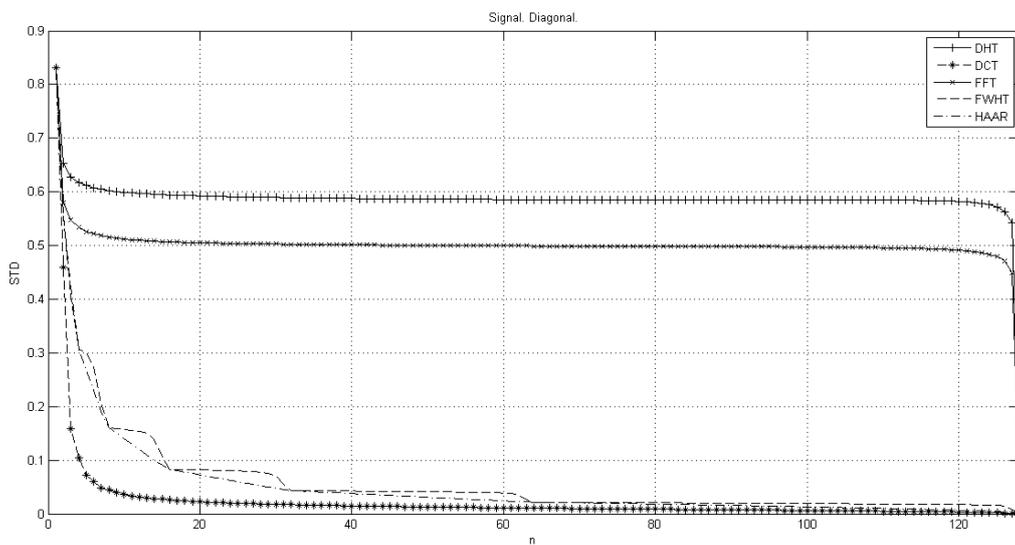


Рис. 3. Зависимость $\varepsilon(n)$ при корреляционной функции (8)

Для корреляционных функций (7) и (8) зависимости $\varepsilon(n)$ при том же интервале корреляции, что и для экспоненциальной функции, приведены на рис. 2 и 3 соответственно. Характер зависимостей остался тем же, но из-за более быстрого затухания спектра для корреляций (7) и (8) при заданной погрешности 0,1 требуется меньшее число коэффициентов ряда Фурье (для

ДКП – 8, для базисов Уолша и Хаара – 16). Следует отметить, что для используемых базисов весьма различна трудоемкость вычислений спектра. На основе результатов, приведенных в [2], рассчитано число эквивалентных сложений без сжатия и со сжатием (с отбором коэффициентов) при погрешности 0,1 (табл. 1).

Таблица 1

Количество эквивалентных сложений в различных базисах
при $N = 128$

Базис	Фурье	Хартли	ДКП	Уолша	Хаара
Операций без сжатия	$2,74 \cdot 10^6$	$1,46 \cdot 10^6$	$1,15 \cdot 10^6$	$2,79 \cdot 10^5$	$6,55 \cdot 10^4$
Операций при сжатии	-	-	$1,34 \cdot 10^4$	$2,05 \cdot 10^3$	$1,02 \cdot 10^3$

Видно, что спектры в базисах кусочно-постоянных функций (Уолша и Хаара) вычисляются на порядок быстрее, в базисах Фурье и Хартли, а сжатие путем отбрасывания части членов ряда дает дополнительный выигрыш на два порядка.

При решении трудоемких прикладных задач представляется целесообразным осуществлять выбор базиса спектрального разложения на основе критерия, включающего как погрешность представления, так и вычислительные затраты для процедур спектрального анализа [4].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методы компьютерной обработки изображений / под ред. В.А.Сойфера – 2-е изд. испр. – М.:ФИЗМАТЛИТ, 2003.
2. Хуанг Т.С. Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений. М.: Радио и связь, 1984.
3. Безруков А.В. Анализ характеристик двумерных цифровых фильтров с ортогональным ограничением протяженности спектра выходного сигнала// Цифровая обработка сигналов. 2009. №4. С.17-20.
4. Воронин В.В., Рыжов В.П. Системный подход в обработке сигналов и изображений//Успехи современной радиоэлектроники, 2013, №6, М.: Радиотехника, с. 12-16.

Рыжов Владимир Петрович – доктор физико-математических наук, профессор, Институт радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, пер. Некрасовский, 44, 347928, телефон: +7 (8634) 37-16-32, e-mail: vpr_trtu@mail.ru.

Рыжов Юрий Владимирович – кандидат технических наук, доцент, Институт радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, пер. Некрасовский, 44, 347928, телефон: +7 (8634) 37-16-32, e-mail: vpr_trtu@mail.ru.

Ryzhov Vladimir Petrovich – Dr, Prof.; Institute of Radio Systems and Control Southern Federal University, 347928, Russia, Taganrog, 44 Nekrasovsky street, phone: +7 (8634) 37-16-32, e-mail: vpr_trtu@mail.ru.

Ryzhov Yuri Vladimirovich – Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Institute of Radio Systems and Control Southern Federal University, 347928, Russia, Taganrog, 44 Nekrasovsky street, phone: +7 (8634) 37-16-32, e-mail: vpr_trtu@mail.ru.

УДК 004.925.3, 004.043

Данилов Игорь Геннадьевич

ОБ ОДНОМ ВАРИАНТЕ СХЕМЫ ДАННЫХ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОБЪЕМНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАФОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ^{4*}

В работе предлагается вариант представления исходных данных задачи объемной визуализации в виде графа помеченного набором свойств. Свойством узла в разработанной схеме является дескриптор выделенной части объема, а свойством связи — дескриптор ограничивающего объема, необходимый для проведения процедуры прохождения испускаемого луча через заданный объем.

Прямая объемная визуализация, графовые вычисления, схема данных.

4 Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекта № 18-07-00733)

ON AN APPROACH TO CONSTRUCTING DATA SCHEME FOR DIRECT VOLUME RENDERING SOLVING WITH GRAPH PROCESSING

The paper proposes a variant of representing the source data of the direct volume rendering task in the form of a labeled property graph (LPG). The node property in the proposed approach is a descriptor of an initial data volume part and the connection property is a descriptor of a bounding volume that necessary for use with carrying out procedures for passing an emitted beam through a given volume.

Direct volume rendering, graph processing, data scheme.

Введение

Основная область применения объемной визуализации — клинические исследования и диагностика. Источником данных для объемной визуализации прежде всего являются медицинские томографы различных типов (компьютерные, магнитно-резонансные, ...), что накладывает определенные ограничения на их структуру: данные состоят из набора срезов/изображений исследуемого объекта, расположенных через равные пространственные промежутки [1]. Изображения состоят из набора равномерно распределенных пикселей, представляющих собой значения полученной прибором интенсивности или цвета в определенной точке пространства. Комбинация срезов или объемные данные, таким образом, представляют собой регулярную трехмерную решетку, в узлах которой расположены элементы объема — воксели.

Существует большое количество методов визуализации объемных данных [1,2], однако, можно утверждать, что прямая объемная визуализация с применением метода испускания/трассировки лучей дает лучшие результаты и используется наиболее часто [3,4]. Основная проблема данного метода — трудоемкость — была в какой-то мере решена с появлением более мощных многоядерных процессоров и графических сопроцессоров. В настоящее время фокус исследований сместился в область больших объемов данных — в качестве объектов для визуализации рассматриваются гига- и мультигига-воксельные структуры [3]. Основные пути решения подобных задач — эффективная декомпозиция на подзадачи и их независимая, возможно, распределенная обработка. Сама структура объемных данных позволяет достаточно просто описать задачу прямой объемной визуализации

лизации в терминах обработки связанных элементов пространства, представленных в виде графа. Это, в свою очередь, позволяет для хранения исходных данных и их визуализации (кластеризации и т.д.) использовать существующие инструменты распределенной обработки больших графов [5].

Схема данных для решения задачи объемной визуализации с использованием графовых вычислений

В настоящее время в области обработки больших графов доминирует схема представления данных в виде графа помеченного набором свойств (от англ. labeled property graph, LPG): узлы и связи в таком графе могут быть помечены любым количеством свойств, выраженных в виде объектов любого типа [6]. Такая модель имеет ряд преимуществ перед давно известной и широко используемой в мире Всемирной паутины RDF [7].

Для того, чтобы спроектировать адекватную схему представления объемных данных в виде LPG необходимо, во-первых, определиться, какая модель графовых вычислений будет применяться далее для обработки и, во-вторых, на какие операции при решении задачи прямой объемной визуализации может повлиять разработанная схема. Несмотря на то, что существует несколько разных вариантов организации графовых вычислений [8], в настоящее время на практике в силу простоты реализации применяется в основном вершинно-ориентированный подход [9]. Для данного подхода характерно использование модели программирования BSP (от англ. Bulk Synchronous Parallel) [10]: для каждого узла графа на каждой BSP-итерации выполняются заданные вычисления, затем происходит обмен сообщениями между связанными узлами и синхронизация состояния системы. Базовая операция прямой объемной визуализации, на которую может существенно повлиять выбранная схема данных — это, прежде всего операция сэмплирования: определение координат точки пространства, принадлежащей испущенному лучу и вносящей непосредственный вклад в цвет пикселя результирующего изображения, и интерполяция значений вокселей окружающего эту точку объема [1].

Для применяемой наиболее часто на практике трилинейной интерполяции необходимы значения четырех соседних вокселей, составляющих элементарную ячейку объема (кубоид или куб, если расстояния между пикселями и между срезами одинаковы). Поэтому при использовании вершинно-ориентированного подхода нерационально с вычислительной точки зрения отображать каждый воксель в отдельную вершину графа. Гораздо эф-

фактивнее отображать несколько связанных ячеек объема, дублируя граничные воксели в соседних вершинах. Таким образом, в предлагаемой схеме данных хранимым свойством узла графа является **дескриптор выделенной части объема**. Самый простой вариант разделения пространства в таком случае — регулярная декомпозиция — разбиение пространства с равномерным шагом по всем осям координат. Тогда количество узлов (размерность новой трехмерной решетки) по отдельной оси будет вычисляться как:

$$D'_{x,y,z} = \lfloor (D_{x,y,z} - 1) / S \rfloor + \begin{cases} 1, & (D_{x,y,z} - 1) \bmod S \neq 0 \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (1)$$

где $D_{x,y,z}$ — размерность исходного объема, S — шаг декомпозиции.

В итоге число вершин результирующего графа будет равно: $D'_x * D'_y * D'_z$. В дальнейшем можно разработать и более сложные варианты декомпозиции пространства, не включая в разбиение, например, незаполненные участки объема, тем самым способствуя реализации процедуры пропуска пустых областей.

Помимо выделения отдельных частей объема в узлы графа, необходимо установить связи между этими узлами. Прохождение испускаемого луча в предлагаемой схеме с использованием вершинно-ориентированного подхода реализуется с помощью передачи сообщений между вершинами. Для регулярной декомпозиции, предложенной выше, достаточно связать все узлы графа, описывающие соседние выделенные части объема, между собой. Для случая, когда $D'_x = D'_y = D'_z = N$ количество связей (ребер) в результирующем графе будет вычисляться как:

$$3 * N^2 * (N - 1) + 2 * N * (N - 1)^2 + 4 * (N - 1)^3 \quad (2)$$

где N — размерность кубической решетки после декомпозиции.

Например, для случая исходного объема $64 \times 64 \times 64$ вокселя и шага декомпозиции равного 4, результирующее количество узлов в графе будет равно 4096 ($N = 16$), а количество связей — 46620.

При использовании вершинно-ориентированного подхода для прохождении луча через объем в процессе визуализации на каждой BSP-итерации необходимо выбрать вершину-приёмник, т. е. следующую по ходу луча обрабатываемую область пространства. Для ответа на вопрос, проходит ли заданный луч через выделенную область, традиционно решается задача по определению пересечения луча с ограничивающим эту область объемом [11]. Таким образом, в предлагаемой схеме данных хранимым свойством связи в графе является **дескриптор ограничивающего объема**.

Для описываемой выше регулярной декомпозиции в качестве ограничивающего объема может быть предложен геометрический примитив типа AABV [11].

Выводы

В работе предлагается вариант представления исходных данных задачи объемной визуализации в виде графа помеченного набором свойств. Свойством узла в разработанной схеме является дескриптор выделенной части объема, рассматриваемой на определенной итерации вычислений, а свойством связи – дескриптор ограничивающего объема, необходимый для проведения процедуры прохождения испускаемого луча через визуализируемый объем. Такой подход позволяет естественным образом проводить декомпозицию исходного пространства и, следовательно, хранить и обрабатывать данные независимо в распределенной манере.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Bernhard Preim, Charl P. Botha // Visual Computing for Medicine: Theory, Algorithms, and Applications (2 ed.). – Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA. – 2013.*
2. *Kaufman E., Arie // Volume Visualization: Principles and Advances. – V. 28. – 2003.*
3. *Гаврилов Н.И., Турлапов В.Е. Качественная объемная визуализация гигавоксельных массивов в блочном представлении на примерах данных из медицины // Материалы конференции ГрафиКон'2012, 1-5 октября, Москва. С. 174-179.*
4. *Боголепов Д., Бугаев И., Сопин Д., Ульянов Д., Турлапов В. Высококачественная объемная визуализация в реальном времени // Материалы международной конференции GraphiCon'2012, 1-5 октября, Москва, Россия. С. 169-173*
5. *Данилов И.Г., Гуляев Н.А., Селянкин В.В. О применимости модели графовых вычислений при прямой объемной визуализации // Информационные технологии, системный анализ и управление (ИТСАУ-2018): сборник трудов XVI Всероссийской научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов (Таганрог, 5–7 декабря 2018 г.) : в 3 т. / сост. Е. Ю. Косенко и др.; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2018. – Т.3. - С. 156-159.*
6. *Angles R. The Property Graph Database Model. // AMW. – 2018.*

7. *Barrasa J.* RDF Triple Stores vs. Labeled Property Graphs: What's the Difference? // Neo4j Blog URL: <https://neo4j.com/blog/rdf-triple-store-vs-labeled-property-graph-difference/> (дата обращения: 22.04.2019).
8. *Safiollah Heidari, Yogesh Simmhan, Rodrigo N. Calheiros, and Rajkumar Buyya.* Scalable Graph Processing Frameworks: A Taxonomy and Open Challenges. // ACM Comput. Surv. - V. 51 - Issue 3. - Article 60 (June 2018). - 53 pp.
9. *Grzegorz Malewicz, Matthew H. Austern, Aart J.C Bik, James C. Dehnert, Ilan Horn, Naty Leiser, and Grzegorz Czajkowski* Pregel: a system for large-scale graph processing // In Proceedings of the 2010 ACM SIGMOD International Conference on Management of data (SIGMOD '10). - ACM, New York, NY, USA. - 135-146 pp.
10. *Leslie G. Valiant* A bridging model for parallel computation // Commun. ACM. - V. 33, 8 (August 1990). - 103-111.
11. *Christer Ericson* Real-Time Collision Detection // CRC Press, Inc. - Boca Raton, FL, USA. - 2004.

Игорь Геннадьевич Данилов – кандидат технических наук, доцент, кафедра математического обеспечения и применения ЭВМ, Южный федеральный университет, Россия, город Таганрог, улица Энгельса 1, 347928, телефон: +7 (8634) 39-35-45, email: vainamon@gmail.com.

Danilov Igor Gennadievich – Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), associate professor, department of software engineering, Southern Federal University, 347929, Russia, Taganrog, 1 Ehngel'sa street, phone: +7 (8634) 39-35-45, email: vainamon@gmail.com.

УДК 519.673

Семенистый Владимир Васильевич, Гамолина Ирина Эдуардовна,
Дурягина Вероника Владимировна

МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЕРХЗВУКОВОГО ТЕЧЕНИЯ ПО КАНАЛУ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ ANSYS

В работе использован конечно-элементный метод для расчета сопла Лаваля в турбореактивном двигателе малой тяги, предназначенного для ускорения газа до сверхзвуковых скоростей, в универсальной программной

системе конечно-элементного анализа Ansys. Конечно-элементный метод широко используется для решения инженерных задач, а также задач математической физики. Метод заключается в декомпозиции расчетной области на конечное множество элементов, обладающих присущими текучей среде свойствами с последующим проведением расчетов в элементах при аппроксимации непрерывных уравнений, которые описывают характер протекающих физических процессов, их дискретными аналогами и исследовании полученной разностной модели. В работе приведены результаты расчета скорости и давления в проточной части сопла.

Конечно-элементный метод; программный пакет Ansys; сопло Лаваля; турбореактивный двигатель.

Semenistyĭ Vladimir Vasilievich, Gamolina Irina Eduardovna,
Duryagina Veronika Vladimirovna

SUPERSONIC FLOW SIMULATION THROUGH A CHANNEL WITH VARIABLE CROSS SECTION USING SOFTWARE ANSYS

In this study the finite element method for turborocket engine's Laval Nozzle computation was used. The numerical solution was obtained using professional computational software Ansys which is the global leader in engineering simulation nowadays. The finite element method is referred to numerical methods that are used in problems of engineering and mathematical physics. The method approximates the unknown function over the domain. It is based on the decomposition of computational area to finite number of elements. Each of finite element has the properties of fluid environment. The discrete model of Laval Nozzle on finite element's array was received; this model was researched numerically. The results of computation for the velocity and pressure are given.

The finite element method; professional computational software Ansys; Laval Nozzle; turborocket engine.

Сопла широко используются в технике (в паровых и газовых турбинах, в ракетных и воздушно-реактивных двигателях, в газодинамических лазерах, в магнитно- и газодинамических установках, в аэродинамических трубах и на газодинамических стендах, при создании молекулярных пучков, в химической технологии, в струйных аппаратах, в

расходомерах, в дутьевых процессах и многих др.). В зависимости от их технического назначения возникают специфические задачи расчёта [1]. Так, в соплах аэродинамических труб необходимо обеспечить создание равномерного и параллельного потока газа в выходном сечении; требования к соплам ракетных двигателей заключаются в получении наибольшего импульса газового потока в выходном сечении при заданных габаритных размерах сопла. Расчет течения потока в сопле Лавалья заключается в определении его параметров (скорости, давления, температуры, напряжения трения) в интересующих точках проточной части. Наиболее употребительные из численных методов решения данной задачи — расчет сопла с выделением потенциального ядра и пограничного слоя, а также конечно-элементный метод решения в пакете прикладных программ Ansys [2, 3].

Основной целью данной работы является расчет сопла Лавалья турбореактивного двигателя малой тяги (ТРДМТ), применяемого в модельной авиации. В качестве метода решения поставленной задачи использовался конечно-элементный метод, реализованный в пакете прикладных программ Ansys.

В табл. 1 приведены технические характеристики ТРДМТ, необходимые для расчета сопла.

Таблица 1

Давление реактивных газов на входе в сопло, Па	1.01350×10^5
Температура реактивных газов, К	550
Температура стагнации, К	550

На рис. 1 представлена геометрия расчетной области.

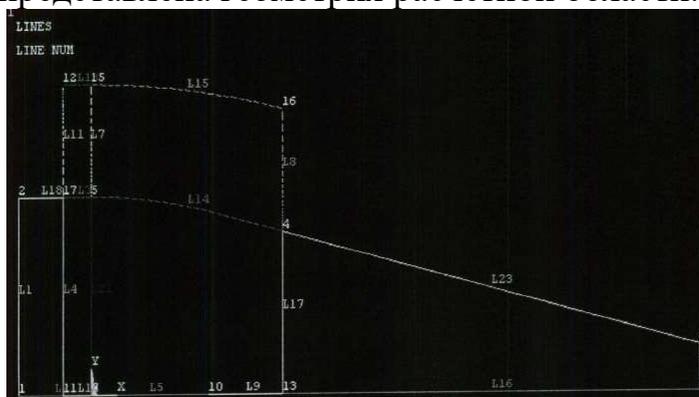


Рис. 1. Геометрия расчетной области

Суть конечно-элементного метода решения задачи [4] состоит в разбиении расчетной области на множество элементов, в соответствии с заданной сеткой. Каждый из элементов обладает свойствами, присущими рассматриваемой среде. Таким образом, решение задачи сводится к дискретизации модели, описывающей поведение рассматриваемой системы и решению ряда дискретных (сеточных) уравнений для каждого из элементов. Конечно-элементный метод лучше проявляет себя на свободных и структурированных сетках [10], вне зависимости от их однородности, в отличие от конечно-разностного метода [7], который дает приемлемые результаты расчета большей частью на однородных прямоугольных сетках.

Решение задачи расчета сопла Лавала проводилось в программном пакете Ansys. Расчеты велись на двумерной модели участка сопла, так как оно обладает осевой симметрией. В качестве элемента текучей среды использовался встроенный элемент FLUID 141 [6, 9]. Число глобальных итераций, необходимых для достижения сходимости решения может значительно различаться, и зависит от размера модели и стабильности метода решения. Уравнения переноса [8] решаются исходя из весовых концентраций размерностью до шести компонент.

Возможно проведение решения систем уравнений во вращающейся с постоянной скоростью полярной системе координат. Степени свободы данного элемента следующие: скорость, давление и температура. Две турбулентные составляющие, кинетическая энергия турбулентности и кинетическая энергия диссипации, рассчитываются в случае, если задан турбулентный режим течения [5]. Для осесимметричных моделей, можно так же рассчитать нормальную компоненту угловой скорости.

Участок, на котором рассматривалось протекание струи газа, состоит из сопла и конуса. Область (рис.1) разбита на две части для нанесения распределённой сетки. Разбиение области сеткой проводилось при помощи задания ряда скалярных параметров с последующим ручным разбиением площадей в соответствии с заданными параметрами. Несмотря на то, что использование распределенной сетки делает процесс вычисления турбулентных потоков более затруднительным по сравнению с использованием свободной сетки, результаты, полученные на распределенных сетках более точны в связи с тем, что количество узлов сетки на единицу площади расчетной области является переменной величиной. Распределенная сетка сгущается к стенкам сопла, а так же к его

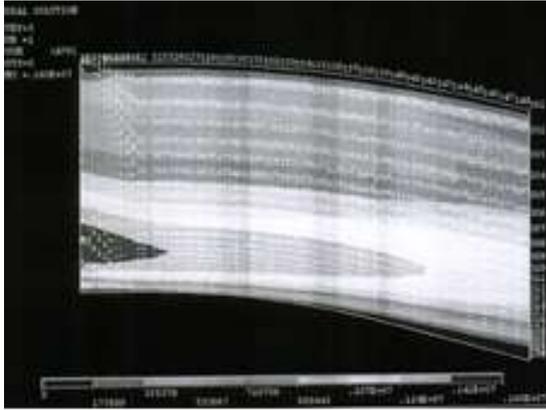
критическому сечению. В тех областях, где изменение параметров потока газа слабо выражено, сетка более редкая. Для достижения сходимости итерационного процесса пришлось потратить большее количество итераций по сравнению со случаем, когда использовалась свободная сетка. Это вызвано тем, что изменение физического параметра, влияющего на сходимость процесса, пришлось проводить более равномерно. В данном случае таким параметром являлась искусственная вязкость газа. Величина этого параметра с завершением каждого цикла глобальных итераций уменьшалась в 2 раза, а после проведения 300 итераций, была приравнена к нулю.

Поступление потока газа в расчетную область представлено следующим образом. Для узлов, примыкающих к линии L11 (рис.1), значение давления принималось равным 1.01350×10^5 Па. Для линии L8 (рис.1) значение давления в узлах, примыкающих к данной прямой, принималось равным нулю. Данный факт означает, что отсутствует эффект эжекции газа, и его протекание через сопло обусловлено разностью давлений на входе и выходе.

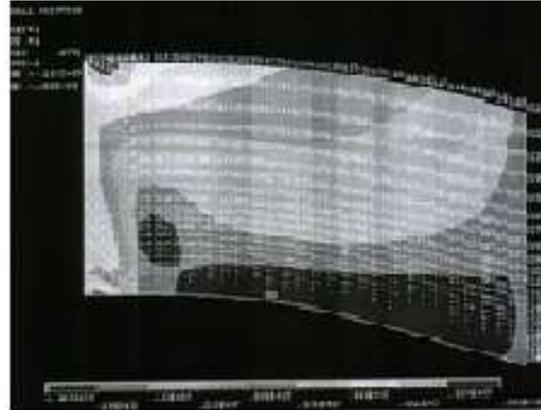
Условие прилипания частиц газа к стенкам сопла математически выражается как граничное условие второго рода, его можно записать в следующем виде: $v_x = v_y = 0$. Данное граничное условие в программном пакете было установлено следующим образом: значение компонент скорости v_x ; v_y на узлах, примыкающих к линиям L1; L15; L3; L14 (рис.1), задавалось константным и равным нулю.

Давление окружающей среды принималось равным нормальному атмосферному давлению и составляло 10 КПа, так как данный ТРДМ предназначен для модельной авиации, и не рассчитан на работу в условиях больших высот и малых давлений. После задания параметров текущей среды и установки опций решения, был проведен расчет течения газа в сопле. Процесс протекания считался стационарным (устоявшимся). Таким образом, полученные результаты справедливы для сопла, работающего в расчетном режиме.

На рис. 2 приведены результаты расчетов для скорости потока частиц газа и распределения давления в сопле.



а)



б)

Рис. 2. Результаты расчета:

а) график скорости потока частиц; б) график распределения давления в сопле

Проанализировав полученные результаты, можно сделать следующие выводы. Метод конечных элементов может быть использован для моделирования стационарных и нестационарных задач термодинамических систем. Результаты расчета протекания газа в сопле с большой точностью соответствуют данным, полученным при практической проверке результатов расчета. Графики распределения скоростей частиц и давления говорят об удовлетворительной работе сопла. Эффект ускорения потока газа выражен, но в малой степени. Причиной полученных результатов могут являться конструктивные особенности сопла. На выходные характеристики повлияли малое давление потока газа и температура на входе в расчетную область.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Черданцев С.В. Математическое моделирование сверхзвукового осесимметричного течения газа в сопле с профилем безызгибной оболочки / С.В. Черданцев, Н.В. Черданцев // Вестник КузГТУ. - 2015. - №3. - С. 53-60.
2. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. Ansys для инженеров// М.: Машиностроение, 2004. - 512 с.
3. Басов К.Ф. Графический интерфейс комплекса Ansys// М.: ДМК Пресс, 2006. - 248 с.
4. Каплун А.Б., Морозов Е.М., Олферьева М.А. ANSYS в руках инженера: Практическое пособие// М.: Едиториал УРСС, 2003. - 272 с.

5. *Дурягина В.В., Гамолина И.Э., Семенистый В.В.* Дозвуковое обтекание профилей// Известия ЮФУ. Технические науки. /Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2013, №4. С.61-66.
6. *Гамолина И.Э., Дурягина В.В, Ковалев А.Н., Семенистый В.В.* Сборник лабораторных работ для программирования средствами пакета прикладных программ ANSYS задач механики сплошной среды и электродинамики// Учебно-методическое пособие на модульной основе с диагностико-квалиметрическим обеспечением/ Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2015. 93 с.
7. *Семенистый В.В.* Разностные методы решения задач прикладной механики. //Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2015.
8. *Гущин В.А, Матюшин П.В.* Математическое моделирование течений несжимаемой жидкости . ТРУДЫ МФТИ. — 2009. - Том 1, № 4.
9. *Дурягина В.В., Семенистый В.В.* Сборник лабораторных работ для программирования средствами пакета прикладных программ ANSYS (численные методы МСС и ЭД)//Учебное пособие на модульной основе/ Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2010. - 53 с.
10. *Дышловенко П. Е.* Математические основы конечно-элементных методов моделирования:методические указания по решению задач / П. Е. Дышловенко. – Ульяновск: УлГТУ, 2011. – 54 с.

Семенистый Владимир Васильевич – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей математики Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, пер. Некрасовский 44, 347900, телефон: +7 (8634) 37-16-06, email: vlad60sem@gmail.com.

Гамолина Ирина Эдуардовна – кандидат технических наук, доцент кафедры высшей математики Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, пер. Некрасовский 44, 347900, телефон: +7 (8634) 37-16-06, email: iegamolina@sfedu.ru.

Дурягина Вероника Владимировна – старший преподаватель кафедры высшей математики Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, пер. Некрасовский 44, 347900, телефон: +7 (8634) 37-16-06, email: veranuka@mail.ru.

Semenisty Vladimir Vasilievich – Candidate of Physical and Mathematical Sciences (Ph.D.), Associate Professor of the Department of Higher Mathematics, Southern Federal University, Russia, Taganrog, 44 Nekrasovsky Lane, phone: +7 (8634) 37-16-06, email: vlad60@gmail.com.

Gamolina Irina Eduardovna – Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor of the Department of Higher Mathematics, Southern Federal University, 347900, Russia, Taganrog, 44 Nekrasovsky Lane, phone: +7 (8634) 37-16-06, email: iegamolina@sfnedu.ru.

Duryagina Veronika Vladimirovna – Senior Lecturer of the Department of Higher Mathematics, Southern Federal University, 347900, Russia, Taganrog, 44 Nekrasovsky street, phone: +7 (8634) 37-16-06, email: vepanuka@mail.ru.

УДК 621.396.969.3

Деркачев Владимир Александрович

ФОРМИРОВАНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СЦЕНЫ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РЛС С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ

В последнее время к проектированию радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА) наблюдается повышенный интерес. В процессе разработки новых радиолокационных систем требуется производить анализ алгоритмов обработки сигналов, например, с использованием модели построенной на ЭВМ. Сложность моделирования отраженного сигнала от подстилающей поверхности состоит в высокой вычислительной сложности, связанной с большим числом facets, попадающих под облучение РЛС. Увеличение производительности при моделировании достигают путем оптимизации обработки данных, учетом в расчете только освещаемых facets, применением графических процессоров и кластеров. В данной статье произведен учет диаграммы направленности антенны для формирования радиолокационного изображения, что приводит к уменьшению объема вычислений из-за исключения из обработки неосвещенных facets, а соответственно и ускорению процесса моделирования. В результате получено ускорение синтеза относительно моделей, использующих в качестве вычислителя центральный процессор и не применяющие игнорирование facets, неосвещенных радиолокационной станцией.

Радиолокационное изображение, параллельные вычисления, синтезирование апертуры, поверхностно распределенная подстилающая поверхность.

FORMATION OF A RADAR SCENE FOR MODELING RADARS WITH A SYNTHESIZED APERTURE

Recently, there has been an increased interest in the design of synthetic aperture radars (SAR). In the process of developing new radar systems, it is required to analyze signal-processing algorithms, for example, using a computer-based model. The complexity of the simulation of the signal reflected from the underlying surface is of high computational complexity associated with a large number of facets that fall under the irradiation of the radar. The increase in performance in modeling is achieved by optimizing data processing, taking into account only the illuminated facets in the calculation, using GPUs and clusters. This article takes into account the antenna radiation pattern for the formation of radar images, which leads to a decrease in the amount of calculations due to the exclusion of the processing of unlit facets, and therefore the acceleration of the modeling process. As a result, the acceleration of synthesis with respect to models that use the CPU as a calculator and do not use ignoring facets that are not illuminated by the radar station.

Radar image, parallel computing, aperture synthesis, surface-distributed underlying surface.

Введение

При разработке РСА зачастую использование модели, построенной на ЭВМ является единственным возможным ввиду отсутствия обрабатываемых сигналов до окончания разработки системы. Обычно для моделирования отраженного сигнала от трехмерной поверхности используют факетную модель для формирования отражения от поверхностно-распределенных целей [1, 2, 3, 4]. Для моделирования вместо карты ЭПР возможно использовать цифровую карту поверхности (ЦКП), которую дополняют диаграммами отражения, которые включают в себя зависимости параметров матрицы рассеяния от угла облучения [5]. В некоторых источниках используют оптические изображения для формирования матрицы факетов [4]. Так же применяют изображения, полученные с реальной РСА для формирования матрицы факетов [3, 6, 7].

Ускорение вычислений возможно с применением параллельной архитектуры графических процессоров (GPU). В ряде публикаций осуществляют моделирование РСА с использованием возможностей графических про-

цессоров [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]. Используя GPU Nvidia с технологией CUDA можно получить ускорение по сравнению с использованием центрального процессора (CPU) в десятки раз с реализацией в MATLAB [8] и в сотни раз используя все возможности библиотек CUDA [6]. В настоящей работе предложено дальнейшее ускорение расчетов путем создания сети из отдельных компьютеров, содержащих по несколько GPU, которые производят формирование изображения РСА [13].

В рассмотренных источниках, не учитывается влияние диаграммы направленности (ДН) антенны при формировании радиолокационного изображения. Такой подход оправдан для целей с малыми линейными размерами, поскольку вся цель обычно попадает в главный лепесток ДН антенны РСА. В случае поверхностно протяженной цели в формировании радиолокационного изображения должны быть учтены только освещаемые facets поверхности.

В данной статье произведен учет ДН антенны, что приводит к уменьшению объема вычислений из-за исключения из обработки неосвещенных facets, а соответственно и ускорению процесса моделирования. Для формирования матрицы facets применяются оптические изображения, что связано с трудностями получения собственных радиолокационных изображений.

Основная часть

ФОРМИРОВАНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Сформируем радиолокационную сцену, представляющую собой поверхностно распределенную подстилающую поверхность. Летательный аппарат (ЛА) движется равномерно и прямолинейно с путевой скоростью W вдоль координатной оси ox , освещаемая область (ОО), формируемая диаграммой направленности антенны (рисунки [Ошибка! Источник ссылки не найден.](#)). Начало координатной системы совпадает с начальным положением ЛА. Угол φ – угол раскрыва антенны в азимутальной плоскости, линии d_1 и d_2 формируются исходя из раскрыва антенны в угломестной плоскости, точки g_1, g_2, g_3, g_4 формируют границы освещаемой области на ПРПП.

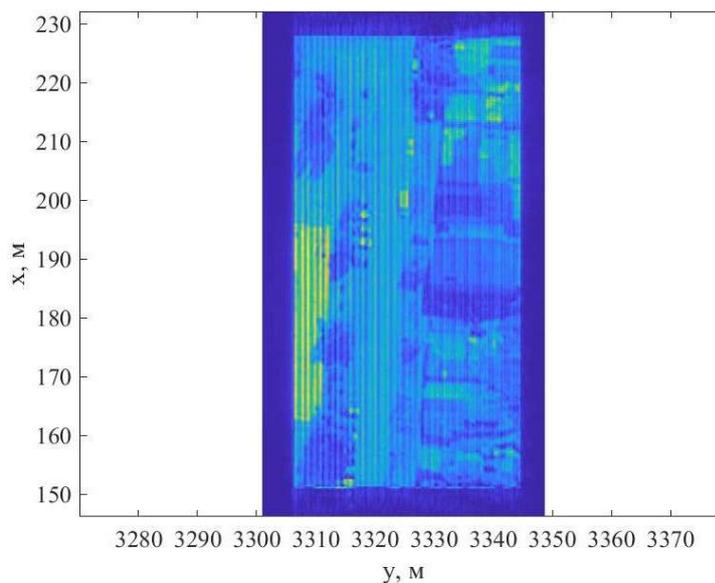


Рис.2. Синтезированное РЛИ фрагмента

Необходимо отметить, что формирование сигнала, отраженного от подстилающей поверхности, так же, как и синтез РЛИ являются вычислительно сложными задачами. Формирование и синтез РЛИ, приведенного на рисунке **Ошибка! Источник ссылки не найден.** занимает около 2 часов 51 минуты и 45 секунд машинного времени, при использовании технологии GPGPU Cuda. При учете освещаемой области общее время вычислений уменьшается до 2 часов 11 минут и 48 секунд. В качестве вычислителя использовалась видеокарта Nvidia GTX 1060 3Гб в паре с процессором AMD Ryzen 5 1600.

Выводы

Предложенный метод формирования отраженного сигнала от поверхностно распределённой подстилающей поверхности позволяет проводить высокоточное моделирование радиолокационных систем с синтезированной апертурой с использованием графических ускорителей. Использование данной модели позволяет оценить влияние параметров системы на выходное радиолокационное изображение. Следует отметить достаточно высокую скорость синтеза относительно моделей, использующих в качестве вычислителя центральный процессор и не применяющие игнорирование факетов, неосвещенных радиолокационной станцией

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Безродный В.И. и др.* Построение трехмерных моделей подстилающей поверхности для задач дистанционного зондирования земли //Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ-2017). – 2017. – С.

- 829-832.
2. *Жиганов С.Н.* Модель отраженного от подстилающей поверхности сигнала //Проектирование и технология электронных средств. – 2011. – №. 1. – С. 52-54.
 3. *Yu M., Zhang X., Liu Z.* Acceleration of fast factorized back projection algorithm for bistatic SAR //2013 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium-IGARSS. – IEEE, 2013. – С. 2493-2496.
 4. *Карасев Д.В. и др.* Математическое моделирование процесса формирования радиолокационного изображения для полно-поляризационных радаров с синтезированной апертурой //Радиолокация, навигация, связь. – 2017. – С. 874-880.
 5. *Андреев В.Г., Юкин С.А.* Формирование радиолокационного изображения подстилающей поверхности по цифровой топографической карте //Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2007. – №. 21. – С. 25-30.
 6. *Zherdev D.A. et al.* HPC implementation of radar images modelling method using CUDA //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2018. – Т. 1096. – №. 1. – С. 012083.
 7. *Zhu M. et al.* Fast Digital Simulation of SAR Echoes Based on GPU //Proceedings of the 7th International Conference on Information Communication and Management. – ACM, 2017. – С. 74-77.
 8. *Bingnan W., Fan Z., Maosheng X.* SAR raw signal simulation based on GPU parallel computation //Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2009 IEEE International, IGARSS 2009. – IEEE, 2009. – Т. 4. – С. IV-617-IV-620.
 9. *Zhang F. et al.* Hybrid general-purpose computation on GPU (GPGPU) and computer graphics synthetic aperture radar simulation for complex scenes //International Journal of Physical Sciences. – 2012. – Т. 7. – №. 8. – С. 1224-1234.
 10. *Баланов М.Ю., Коровин Г.В., Пак А.А.* Высокопроизводительный алгоритм моделирования радиолокационной системы дистанционного зондирования земли на графическом процессоре с параллельной архитектурой //Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2018. – Т. 61. – №. 7.
 11. *Xie H. et al.* Efficient raw signal generation based on equivalent scatterer and subaperture processing for one-stationary bistatic SAR including motion errors //IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2016. – Т. 54. – №. 6. – С. 3360-3377.
 12. *Kraja F. et al.* Performance evaluation of SAR image reconstruction on CPUs and

- GPUs //2012 IEEE Aerospace Conference. – IEEE, 2012. – С. 1-16.
13. Yao X. et al. Comparison of distributed GPU computing frameworks for SAR raw data simulation //2017 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). – IEEE, 2017. – С. 5225-5228.
 14. Горяинов В.Т. (ред.). Радиолокационные станции с цифровым синтезированием апертуры антенны. – Радио и связь, 1988.
 15. Кондратенков Г.С., Фролов А.Ю. Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли. – Радиотехника, 2005.

Деркачев Владимир Александрович – аспирант, кафедра Радиотехнических и телекоммуникационных систем Институт радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, Некрасовский пер, 44, 347928, телефон: +7 (961) 415-47-33, email: vderkachev@sfedu.ru.

Derkachev Vladimir Alexandrovich – post-graduate student, Department of radio Engineering and telecommunication systems Institute of radio engineering systems and management, southern Federal University, Russia, Taganrog, Nekrasov lane, 44, 347928, phone: +7 (961) 415-47-33, email: vderkachev@sfedu.ru.

УДК 621.382

Шандыба Никита Андреевич, Панченко Иван Викторович

ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ НА ОСНОВЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК МЕТАЛЛОВ МЕТОДОМ ФОКУСИРОВАННЫХ ИОННЫХ ПУЧКОВ

Одним из перспективных направлений развития электроники является вакуумная автоэмиссионная наноэлектроника на основе тонких пленок металлов, обладающая высоким быстродействием, помехозащищенностью и низким энергопотреблением. В данной работе рассматривается вопрос разработки элементов автоэмиссионной наноэлектроники с использованием метода фокусированных ионных пучков. В ходе работы при помощи ионно-лучевого травления фокусированным пучком галлия были сформированы планарные структуры катодов с различными радиусами закругления острия и межэлектродными расстояниями. Анализ измеренных вольтамперных характеристик показал, что, например, для межэлектродного расстояния 500 нм автоэлектронная эмиссия

начинается при напряжении 1,5 В. Полученные результаты позволяют создать основу для разработки быстродействующих элементов сверхбольших интегральных схем, обладающих пониженным энергопотреблением.

Электроника, вакуумная автоэмиссионная наноэлектроника, фокусированный ионный пучок, тонкая пленка металла.

Shandyba Nikita Andreevich, Panchenko Ivan Viktorovich

FORMATION OF ELEMENTS OF NANO ELECTRONICS BASED ON THIN METAL FILMS BY THE METHOD OF FOCUSED ION BEAMS

One of the promising areas for the development of electronics is vacuum field emission nanoelectronics based on thin metal films, which has high performance, noise immunity and low power consumption. This paper discusses the issue of developing elements of autoemission nanoelectronics using the method of focused ion beams. During the work, planar structures of cathodes with different tip radii and interelectrode distances were formed using ion-beam etching with a focused gallium beam. Analysis of the measured current-voltage characteristics showed that, for example, for an interelectrode distance of 500 nm, autoelectronic emission begins at a voltage of 1.5 V. The obtained results make it possible to create a basis for developing fast-acting elements of ultra-large integrated circuits with reduced power consumption.

Electronics, vacuum field emission nanoelectronics, focused ion beam, thin film.

Введение

Совершенствование методов нанолитографии открывает широкие возможности к созданию новой элементной базы электроники. На сегодняшний день, одним из перспективных направлений развития электроники является автоэмиссионная наноэлектроника [1], которая позволяет создавать наноразмерные приборы, обладающие высоким быстродействием, помехозащищенностью и низким энергопотреблением [2]. Важным преимуществом автоэмиссионной наноэлектроники является возможность создания устройств на основе наноразмерных проводников, таких как тонкие пленки металлов, графен, углеродные нанотрубки и др. Применение традиционных методов профилирования поверхности зачастую не позволяет добиться максимальной эффективности при создании элементов вакуумной эмиссионной электроники, тогда как применение методов наноразмерного профилирования дает возможность достичь требуемых размеров структур и

использовать преимущества возникающих в низкоразмерных системах физических эффектов. В настоящее время перспективным методом формирования наноразмерных структур [3, 4] с размерами до 10 нм является метод фокусированных ионных пучков (ФИП). Метод ФИП позволяет в условиях высокого вакуума производить технологические операции локального ионно-лучевого травления и ионно-стимулированного осаждения материалов из газовой фазы без необходимости применения резистов, масок и химических травителей [5].

Описание метода

В настоящей работе формирование элементов автоэмиссионной наноэлектроники проводилось с использованием растрового электронного микроскопа Nova NanoLab 600 (FEI Company), оснащенного системой ФИП [6].

В работе в качестве подложки использовался полуизолирующий GaAs (удельное сопротивление $5 \cdot 10^5$ Ом*см) с тонкой пленкой Ni (26 нм) на поверхности, полученной методом магнетронного распыления. На начальном этапе исследований методом [7] ионно-лучевого травления фокусированным пучком галлия были сформированы планарные структуры катодов с радиусом закругления острия около 50 нм и межэлектродными расстояниями: 250 нм, 300 нм, 500 нм, 700 нм, 900 нм (рис. 1). Травление производилось при следующих значениях параметров ФИП: время воздействия пучка в точке - 100 мкс, ток пучка – 50 пА, ускоряющее напряжение пучка 30 кэВ [8].

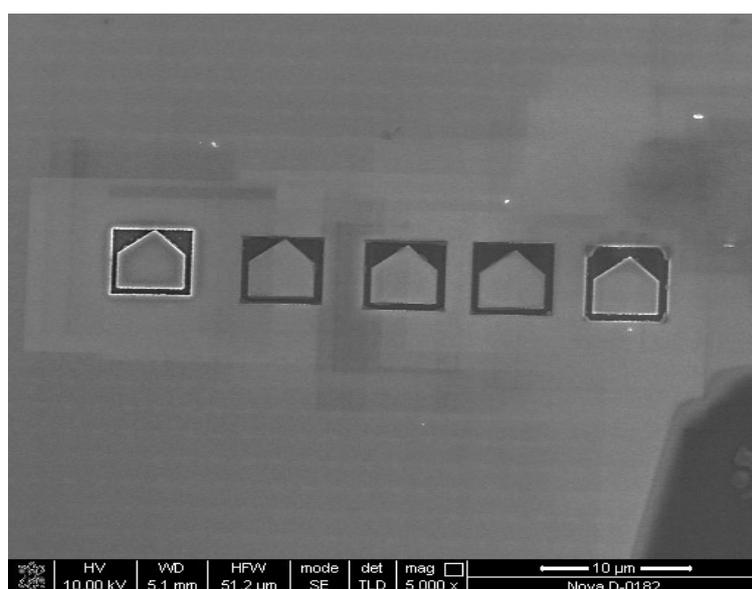


Рис. 1. РЭМ изображение автоэмиссионных структур (слева направо увеличение межэлектродного расстояния от 250 до 900 нм)

Экспериментальные результаты

Исследование эмиссионных характеристик сформированных структур производилось с использованием сканирующего зондового микроскопа Ntegra Vita (ЗАО «НТ-МДТ», Россия). При такой схеме измерений в качестве анода

выступала пленка Ni, на которую помещался контакт стола АСМ. Измерения ВАХ производились в контактном режиме, когда зонд помещался на катод. Была получена серия ВАХ элементов с межэлектродным расстоянием от 250 до 900 нм. Анализ измеренной ВАХ элемента с радиусом острия 50 нм и расстоянием катод-анод 500 нм показывает наличие нелинейного участка (рис. 2) характерного для автоэлектронной эмиссии. Согласно ВАХ особенностью сформированного катода является низкое значение порогового напряжения эмиссии $\sim 1,5$ В [9], что обеспечивается малыми значениями толщины плёнки и радиуса закругления острия. При напряжении катод-анод равном 5 В ток автоэлектронной эмиссии составляет около 16 нА. Формирование многоострийных катодов по аналогичному технологическому процессу позволит кратно увеличить ток эмиссии, что позволит значительно повысить помехозащищенность и соотношение сигнал-шум.

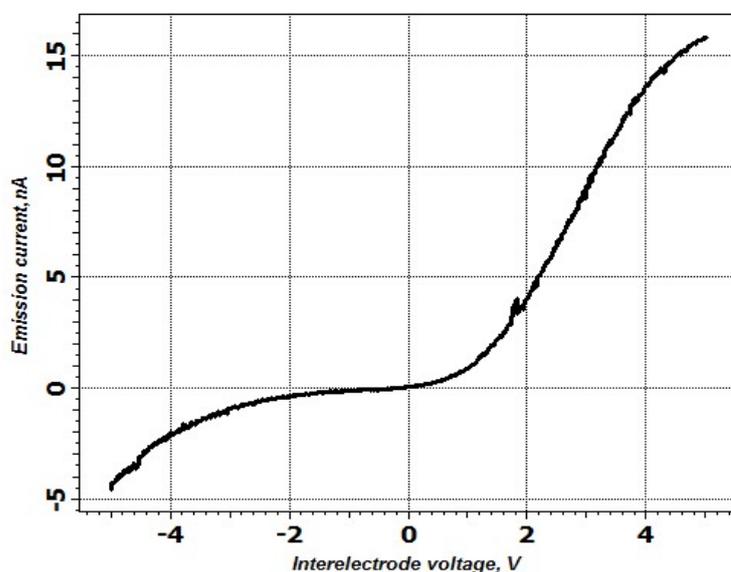


Рис. 2. ВАХ элемента автоэмиссионной наноэлектроники с межэлектродным расстоянием 500 нм

Выводы

Таким образом, показано, что применение метода ионно-лучевого травления фокусированным пучком галлия позволяет создавать автоэмиссионные катоды с низким пороговым напряжением эмиссии на основе тонких металлических пленок. Полученные результаты [10] позволяют создать основу для разработки быстродействующих элементов сверхбольших интегральных схем, обладающих пониженным энергопотреблением.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №18-79-00175).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Panchenko I., Shandyba N., Kolomytsev Al., Gromov Al., Ageev O.* Investigation of The Local Profiling of The Solid Surfaces Using Focused Ion Beam // AIP Conference Proceedings 2064, 030011 (2019).
2. *Панченко И.В., Шандыба Н.А.* Исследование процессов формирования элементов автоэмиссионной наноэлектроники методом фокусированных ионных пучков // 18-я Национальная молодежная научно-практическая конференция, 2018, с. 31-33.
3. *Лучинин В.В.* Нанотехнологии: физика, процессы, диагностика, приборы. М.: Физматлит. 2006. 522 с.
4. *Ageev O.A., Kolomytsev A.S., Konoplev B.G.* // Microelectronics reliability. 2015. Vol. 55. P. 2131–2134.
5. *Лисицын С.А., Балакирев С.В., Авилов В.И., Коломийцев А.С., Климин В.С., Солодовник М.С., Коноплев Б.Г., Агеев О.А.* Исследование режимов наноразмерного профилирования эпитаксиальных структур GaAs методом фокусированных ионных пучков // Российские нанотехнологии, 2018. Том 13. № 1–2, с 28-35.
6. *Панченко И.В., Шандыба Н.А.* Исследование процессов формирования элементов автоэмиссионной наноэлектроники методом фокусированных ионных пучков // 18-я Национальная молодежная научно-практическая конференция, 2018, с. 274-277.
7. *Коломийцев А.С., Коц И.Н., Лисицын С.А. Вакулов З.Е.* Применение фокусированных ионных пучков для формирования наноразмерных структур на поверхности кремния // 5-ая международная конференция "Современные нанотехнологии и нанопотоника для науки и производства", 2016, с. 64-65.

8. *Shandyba N.A., Panchenko I.V., Kolomyitsev A.S.* Formation of elements of field-emission nanoelectronics by the method of focused ion beams // *Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications*, 2018, p. 313-314.
9. *Панченко И.В., Шандыба Н.А., Коломийцев А.С.* Формирование элементов автоэмиссионной наноэлектроники методом фокусированных ионных пучков // *Современные методы электронной и зондовой микроскопии в исследованиях органических, неорганических наноструктур и нанобиоматериалов*, 2018. Т. 2. С. 190-191.
10. *Konakova R.V., Okhrimenko O.B., Kolomys A.F., Strel'chuk V.V., Svetlichnyi A.M., Ageev O.A., Volkov E.Yu., Kolomiitsev A.S., Jityaev I.L., Spiridonov O.B.* *Journal of Superhard Materials*, 2016, Vol. 38, No. 4, pp. 235–240.

Шандыба Никита Андреевич – студент Южного федерального университета, Института нанотехнологий, электроники и приборостроения, Россия, город Таганрог, улица Шевченко 2, 347922, телефон: +7 (928) 604-92-41, email: shandyba@sfedu.ru.

Панченко Иван Викторович – студент Южного федерального университета, Института нанотехнологий, электроники и приборостроения, Россия, город Таганрог, улица Шевченко 2, 347922, телефон: +7 (904) 449-04-36, email: ivpanchenko@sfedu.ru.

Shandyba Nikita Andreyevich – student of the Southern Federal University, Institute of Nanotechnology, Electronics and Instrument Making, Russia, Taganrog, Shevchenko Street 2, 347922, phone: +7 (928) 604-92-41, email: shandyba@sfedu.ru.

Panchenko Ivan Viktorovich – student of the Southern Federal University, Institute of Nanotechnology, Electronics and Instrument Making, Russia, Taganrog, Shevchenko Street 2, 347922, phone: +7 (904) 449-04-36, email: ivpanchenko@sfedu.ru.

Шатюк Виктория Викторовна

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАФИИ

Данный доклад направлен на освещение результатов, полученных в ходе проведения исследования метода оценки состояния сердечно-сосудистой систе-

мы на основе фотоплетизмограмм. Основными задачами данного исследования является нахождение ключевых зависимостей между параметрами сердечно-сосудистой системы и данными фотоплетизмографии для их дальнейшего использования в алгоритмах анализа. Это позволит раскрыть потенциал метода фотоплетизмографии и повысить точность вычисленных значений параметров сердечно-сосудистой системы на его основе, таких как, например, артериальное давление.

Фотоплетизмография (ФПГ), сердечно-сосудистая система (ССС), данные, частота сердечных сокращений (ЧСС), артериальное давление (АД), исследование, разработка.

Shatyuk Victoria Victorovna

RESEARCH OF THE METHOD OF ASSESSMENT OF THE CONDITION OF THE CARDIAC VASCULAR SYSTEM ON THE BASIS OF DATA OF THE PHOTOPLETHYSMOGRAPHY

This report is directed to illumination of the results received during a research of a method of assessment of a condition of a cardiovascular system on the basis of photoplethysmograms. Primal problems of this research is finding of key dependences between parameters of a cardiovascular system and given to a photoplethysmography for their further use in analysis algorithms. It will allow to realize the potential of a method of a photoplethysmography and to increase accuracy of the calculated values of parameters of a cardiovascular system on its basis, such as, for example, arterial blood pressure.

Photoplethysmography (PPG), cardiovascular system, data, heart rate (HR), arterial blood pressure (ABP), research, development.

На сегодняшний день заболевания сердечно-сосудистой (ССЗ) системы являются основной причиной смерти во всем мире: ни по какой другой причине ежегодно не умирает столько людей, сколько от ССЗ. Эта проблема в разной степени затрагивает страны как с низким, так и средним уровнем дохода – доля смертей от ССЗ составляет более 80%, причем в равной мере и среди мужчин, и среди женщин.

На основе этого можно сказать, что отслеживание состояния сердечно-сосудистой системы (ССС) является одним из важных параметров определения общего уровня здоровья человека и рисков появления различных за-

болеваний другого типа, которые могут быть вызваны ССЗ. Поэтому исследования и разработки в данной области довольно актуальны и востребованы.

Но наибольший интерес в этой области представляет длительный мониторинг ССС при физических нагрузках. Например, при контроле тренировок в спортзалах или фитнес-центрах. Точность измерения артериального давления и пульса обычным тонометром неоспорима, но его конструкция и принцип измерения не позволяет часто, а тем более постоянно измерять необходимые параметры по ряду причин. В данном случае необходима разработка иного метода, отличающегося по принципу измерения, но не менее точного. И здесь стоит вспомнить о достаточно известном, но не очень востребованном в длительном мониторинге методе фотоплетизмографии (ФПГ).

С помощью простой системы из пары «излучатель-детектор» возможен непрерывный мониторинг ФПГ и вычисления на его основе изменения частоты сердечных сокращений (ЧСС), артериального давления (АД) и оксиметрии.

Фотоплетизмография как неинвазивный метод исследования имеет достаточный потенциал, для раскрытия которого требуется разработка более усовершенствованного алгоритма обработки данных фотоплетизмограмм, с помощью которых можно не только определить ЧСС, АД и насыщенность крови кислородом, но и даже определять ригидность стенки артериальных сосудов. Вся эта информация заключена в пульсации крови в периферических сосудах. Существует проблема оценки АД по ФПГ-сигналу, связанная с тем, что значение АД напрямую не вычисляется из параметров ФПГ-сигнала. Следовательно, для установления связи между этими сигналами необходимо использовать более сложные методы, включающие в себя элементы машинного обучения и искусственного интеллекта.

Проводимое нами исследование направлено на разработку метода и алгоритма, позволяющих определять важные характеристики ССС на основе данных, полученных из ФПГ-сигнала с достаточной точностью (в том числе и значение АД). Разработка ведется на интерпретаторе Python, потому что данный язык имеет встроенные библиотеки для простой и сравнительно быстрой работы с большими массивами данных. Кроме этого имеются встроенные библиотеки для работы со статистическими функциями, а также мощные инструменты по визуализации и оформлению графиков. Постоянное быстрое развитие Python как языка позволяет ему быть хорошим

инструментом для обработки так называемых «больших данных», которые сейчас набирают популярность.

Использованные для исследования данные взяты с ресурса Kaggle, известного как платформа для соревнований между разработчиками искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (МО). Kaggle предоставляет разнонаправленные задачи для исследования и сопровождает их достаточно обширными по объему тестовыми выборками данных [1]. Для тестирования разрабатываемого алгоритма мы использовали набор данных (табл. 1), состоящих из одновременно записанных из трех различных каналов сигналов фотоплетизмограммы, электрокардиограммы и инвазивного артериального давления [2].

Таблица 1

Исследуемые отрезки ФПГ-сигнала (для одного человека)

№	Имя файла	Длина файла	№	Имя файла	Длина файла
0	part_3(1).xlsx	65000	10	part_3(19).xlsx	69000
1	part_3(10).xlsx	60000	11	part_3(2).xlsx	15000
2	part_3(11).xlsx	38000	12	part_3(20).xlsx	20000
3	part_3(12).xlsx	61000	13	part_3(3).xlsx	17000
4	part_3(13).xlsx	53000	14	part_3(4).xlsx	22000
5	part_3(14).xlsx	49000	15	part_3(5).xlsx	29000
6	part_3(15).xlsx	14000	16	part_3(6).xlsx	26000
7	part_3(16).xlsx	12000	17	part_3(7).xlsx	15000
8	part_3(17).xlsx	28000	18	part_3(8).xlsx	34000
9	part_3(18).xlsx	57000	19	part_3(9).xlsx	28000

Проводимое исследование должно помочь определить особые «маркеры» при анализе ФПГ-сигналов, которые позволят рассчитать необходимые параметры вне зависимости от возраста, пола или состояния ССС пациента. Сами маркеры и способы их нахождения являются главной задачей проводимой работы. На данный момент рассматривается такой путь нахождения маркеров, как статистическая оценка параметров ФПГ-сигнала. Расскажем немного подробнее об ФПГ-сигнале.

Фотоплетизмограмма (ФПГ) является одним из важнейших биомедицинских сигналов – она отражает объемные изменения пульсового кровенаполнения сосудов и несет важную информацию о состоянии сердечно-сосудистой системы организма [3], [4]. Сложность анализа ФПГ-сигнала состоит в том, что его форма пологая, в отличие от электрокардиосигнала,

имеющего резкий пик R-зубца. Кроме того, имеется определенная изменчивость формы паттерна ФПГ-сигнала. Это объясняется не только вариативностью характера сигнала от пациента к пациенту, но и изменчивостью физиологического состояния человека во время процесса регистрации, наличием или отсутствием патологий. Поэтому применение алгоритмов, основанных на поиске сходства с заранее подготовленными опорными моделями биосигнала [5], [6], не всегда подходит для обработки [7].

Несмотря на то, что фотоплетизмограммы могут иметь различную форму, они образуются всегда одинаково – это сумма смещенных друг относительно друга волн разной амплитуды – пульсовой волны объема от сердца и ее отражения от стенки сосуда [8] (рис. 1).

Поэтому, мы анализируем каждый сигнал исходя из данного механизма. А это значит, что каждый сигнал будет иметь период повторения, два или один пик на период, разные коэффициенты соотношения высоты этих пиков, их крутизну и величину смещения друг относительно друга.



Рис. 1. Одиночный период фотоплетизмограммы

Все эти параметры справедливы для ФПГ-сигналов любой формы вне зависимости от возраста, пола и состояния ССС человека, но в то же время эти параметры изменяются под воздействием данных факторов.

На данный момент проведен регрессионный анализ зависимости между периодом сигнала и углом наклона переднего фронта, найденных с помощью методов статистической обработки данных. Алгоритм описан в виде блок-схемы на рис. 2.

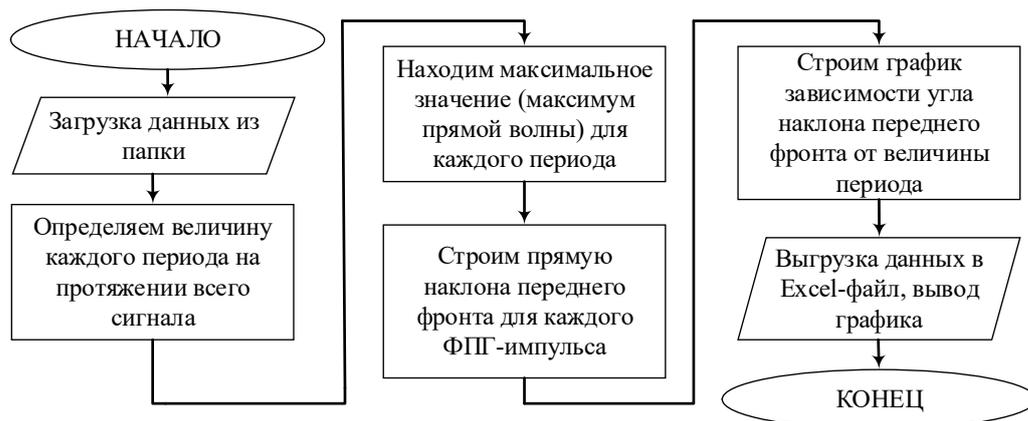


Рис. 2. Блок-схема алгоритма нахождения зависимости угла наклона переднего фронта от величины периода

На рис. 3 изображены результаты работы данного алгоритма для двух различных отрезков ФПГ, снятых с одного человека в разные промежутки времени. По горизонтальной оси отмечены величины периодов в секундах, а по вертикальной – величина угла наклона переднего фронта одиночного импульса. По рис. 3, а) видно, что корреляция между этими двумя величинами отсутствует – при одной и той же длительности периода возможны различные значения угла наклона.

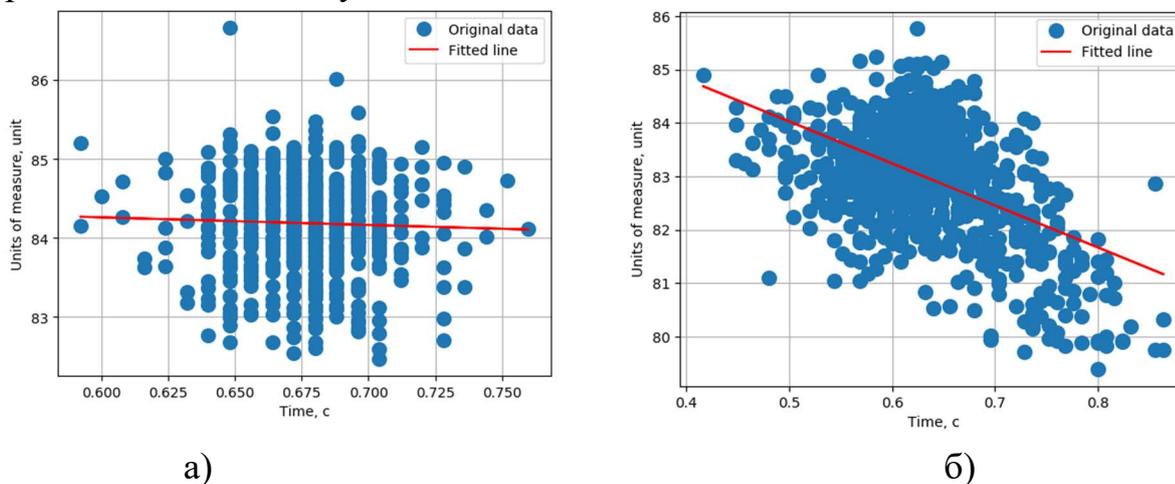


Рис. 3. Графики зависимости угла наклона от величины периода

Но уже мы можем определить, что среднее значение величины периода составляет около 0.65-0.68 с, что соответствует частоте сердечных сокращений (ЧСС) около 88-92 ударов в минуту. Это немного превышающее норму значение ЧСС для взрослого человека при отсутствии серьезных патологий в состоянии покоя [9]. Так же основное количество точек как по вертикальной, так и горизонтальной осям сосредоточены на небольших отрезках относительно всего диапазона распределения – этот показатель мо-

жет говорить о стабильности сердечного ритма в момент снятия ФПГ и отсутствии патологий, связанных с аритмией.

На рис. 3,б) мы уже можем заметить возникновение зависимости между периодом и углом наклона. Учитывая, что это отрезок ФПГ снимался с того же человека, что и рис. 3,а) то мы можем сделать вывод, что есть два устойчивый состояния – облачная структура (без взаимосвязи двух переменных) и вытянутая структура (с выраженной взаимосвязью двух переменных). Можно предположить, что взаимосвязь проявляется только при переходных процессах [10]. В данном случае это было изменение ЧСС от 55 до 80 ударов в минуту.

В дальнейшем планируется установка взаимосвязи между периодом и пиковым значением отраженной волны, отношением пиковых значений прямой и отраженной волны, а также нахождение ширины прямой волны в окрестностях ее максимума. Некоторые из этих параметров имеют взаимосвязь с сигналом электрокардиограммы, которая так же будет учитываться при анализе. В анализируемом массиве данных имеется сигнал АД, снятый инвазивным методом в единой временной сетке с сигналом ФПГ. Совместный анализ двух сигналов позволит установить взаимосвязь ФПГ и АД, тем самым давая возможность расчета АД на основе ФПГ-сигнала.

Проводимое нами исследование и даст возможность расширить возможности применения фотоплетизмографии, а также более полно раскрыть потенциал этого метода функциональной диагностики. В будущем планируется усовершенствование имеющегося метода с применением ИИ, а также проведения анализа фотоплетизмограмм с помощью вейвлет-функций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Как начать работу в Kaggle: руководство для новичков // Хабр. URL: <https://habr.com/ru/post/248395/> (дата обращения: 13.02.2019).
2. *Kachuee M., Kiani M. M., Mohammadzadeh H., Shabany M.* Cuff-Less Blood Pressure Estimation Algorithms for Continuous Health-Care Monitoring // *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 2016.
3. *Калакутский Л.И., Лебедев П.А., Комарова М.В.* Методика анализа контура пульсовой волны в диагностике функции сосудистого эндотелия // *Изв. ЮФУ. Техн. науки*. 2008. № 5. С. 43–47.
4. *Тылюдина Е.В., Юран С.И., Або И.Н.* Анализ пульсовых кривых, полученных методом фотоплетизмографии // *Вестн. Ижевской гос. сельскохозяйственной академии*. 2012. № 1 (30). С. 35–37.

5. *Белов В.С., Калиниченко А.Н.* Алгоритм определения параметров пульсовой волны на основе синхронного анализа фотоплетизмограммы и ЭКГ // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Биотехнические системы в медицине и экологии. 2018. № 4. С. 86-90.
6. *Мамонтов Я.С.* Анализ и классификация фотоплетизмограмм с помощью нейронной сети Хопфилда // Вестн. НГУ. Сер. Информационные технологии. 2014. № 4. С. 53–58.
7. *Кривоногов Л.Ю.* Метод и алгоритмы помехоустойчивой обработки электрокардиосигналов на основе эмпирической модовой декомпозиции // Изв. ЮФУ. Техн. науки. 2014. № 10 (159). С. 104–114.
8. *Максимчук И.В., Гергель Л.Г., Осадчий О.В.* Сравнительный анализ Фурье и вейвлет преобразования для анализа сигнала фотоплетизмограммы // Современные научные исследования и инновации. 2013. № 6
9. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2013/06/25060> (дата обращения: 21.03.2019).
10. Нормальный пульс человека по годам и возрастам
11. URL: <https://attuale.ru/normalnyj-puls-cheloveka-po-godam-i-vozrastam-tablitsa/> (дата обращения: 21.03.2019).
12. *Яхонтов С.В.* Моделирование переходных процессов в сердечно-сосудистой системе в физиологическом эксперименте // Вестник ТГПУ. 2009. Выпуск 8 (86). С. 126-131.

Шатиук Виктория Викторовна – студент Южного федерального университета, Института нанотехнологий, электроники и приборостроения, Россия, город Таганрог, улица Шевченко 2, email: victoria.schatiuk@mail.ru.

Shatyuk Victoria Victorovna – student of the Southern Federal University, Institute of Nanotechnology, Electronics and Instrument Making, Russia, Taganrog, Shevchenko Street 2, 347922, email: victoria.schatiuk@mail.ru.

УДК 57.08+615.47+615.8

Проскуряков Александр Викторович

РЕАЛИЗАЦИЯ БЕЗЭТАЛОННОГО СПОСОБА ОБРАБОТКИ МЕДИЦИНСКИХ РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКИХ И ТОМОГРАФИЧЕСКИХ СНИМКОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ

В данной статье описаны некоторые алгоритмы реализации безэталонного способа обработки рентгенографических и томографических медицинских снимков. Рассмотрены основные принципы их реализации, ключевые понятия и величины, на которых строится обработка и анализ рентгенографических и томографических. По результатам исследования сделаны выводы о комбинированном подходе к использованию данных алгоритмов в процессе обработки рентгенографических и томографических снимков при диагностике заболеваний.

Алгоритм, рентгенографический снимок, томографический снимок, безэталонный способ, информационно-энтропийный анализ, корреляционный анализ.

Proskuryakov Alexander Viktorovich

IMPLEMENTATION OF NONSTANDARD METHOD OF PROCESSING OF MEDICAL RADIOGRAPHIC AND TOMOGRAPHIC IMAGES FOR DIAGNOSIS

This article describes some algorithms for the implementation of a non-Etalon method of processing radiographic and tomographic medical images. The basic principles of their implementation, key concepts and values on which the processing and analysis of x-ray and tomographic are based are considered. According to the results of the study, conclusions were made about the combined approach to the use of these algorithms in the processing of x-ray and tomographic images in the diagnosis of diseases.

Algorithm, x-ray image, tomographic image, non-Etalon method, information-entropy analysis, correlation analysis.

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 объемом 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.

Постановка задачи.

Часто врачам-рентгенологам сложно поставить точный диагноз в связи с различными факторами, такими как низкое качество снимков, их зашумленность или неочевидность выявляемых патологий. Для того, чтобы облегчить решение подобных задач, увеличить качество и результативность принимаемых решений по постановке диагноза в настоящее время ведется разработка различных программ для поддержки принятия решения. Для решения таких задач успешно применяются алгоритмы безэталонного анализа. При их реализации необходимо поделить исследуемый объект на области, в которых будет производиться анализ. Они не требуют выделения эталонных областей, а значит, лишены ряда проблем, связанных с данным процессом (объективность эталонных методов напрямую зависит от правильности выбора эталонной области).

Реализация.

Можно выделить две группы алгоритмов, применяемых при безэталонном анализе: алгоритмы корреляционного анализа и алгоритмы информационно-энтропийного анализа.

1. Алгоритм корреляционного анализа. Корреляционным анализом называется совокупность методов обнаружения корреляционной зависимости между случайными величинами или признаками.

Коэффициент корреляции Пирсона характеризует существование линейной зависимости между двумя величинами.

Пусть даны две выборки $x^m = (x_1, \dots, x_m)$, $y^m = (y_1, \dots, y_m)$.

Коэффициент корреляции Пирсона рассчитывается по формуле:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{cov(x,y)}{\sqrt{s_x^2 s_y^2}}, \quad (1)$$

где \bar{x}, \bar{y} – выборочные средние x^m и y^m , s_x^2, s_y^2 – выборочные дисперсии, $r_{xy} \in [-1, 1]$ [2].

Коэффициент корреляции Пирсона называют также теснотой линейной связи:

- $|r_{xy}| = 1 \Rightarrow x, y$ линейно зависимы;
- $r_{xy} = 0 \Rightarrow x, y$ линейно независимы [2].

Использование коэффициента корреляции в качестве меры связи оправдано лишь тогда, когда совместное распределение пары признаков нормально или близко к нормальному. Об этом нельзя забывать, но часто это игнорируется.

Вычисление коэффициента корреляции может быть также выполнено через ковариацию – меру линейной зависимости двух случайных величин.

Ковариация рассчитывается по формуле:

$$\text{Cov}(X, Y) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}), \quad (2)$$

где $x_i, y_i, i = 1, 2, \dots, n$ – компоненты векторов X и Y , n – численности выборок X и Y [2].

Ковариация выборки с самой собой будет называться дисперсией.

Если X есть p -мерный вектор, его удобно представить в виде матрицы, состоящей из p столбцов длиной n элементов. На практике же дисперсионно-ковариационную матрицу лучше вычислять, используя матричную запись:

$$C = \frac{1}{n-1} (XX' - n\bar{x}\bar{x}'), \quad (3)$$

где \bar{x} – вектор средних длиной n .

2. Алгоритм информационно-энтропийного анализа. Следующий рассматриваемый способ обработки – это информационно-энтропийный анализ. 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) [3–8].

При векторном описании изображения среднее количество информации в изображении равно энтропии источника:

$$H(f) = - \sum_{t=1}^t P(f_t) \log P(f_t). \quad (4)$$

Данный метод хорошо зарекомендовал себя в разных областях науки, и широко применяется, в том числе и для задач анализа изображений. В данном случае такой подход позволит независимо анализировать исследуемые области, оценивая степени неоднородности и сравнивая данный показатель для областей исследуемого объекта друг с другом [2].

Результаты.

В ходе исследования различных алгоритмов анализа и классификации, были выделены определенные алгоритмы, которые можно применять при анализе элементов рентгенографических и томографических снимков. Все эти алгоритмы имеют свои достоинства и недостатки по сравнению друг с другом. На практике они чаще всего взаимозаменяемы на большинстве задач. Часто сложно предугадать, какой алгоритм покажет лучшие результаты в каждом конкретном случае, поэтому конечный выбор с уверенностью можно сделать, лишь протестировав работу алгоритмов на некоторой тестовой выборке входных данных.

В связи с тем, что на некоторых задачах не удастся явно выделить лучший подход, имеет смысл применять различные алгоритмы, анализируя одни и те же объекты, и делать общий вывод, основываясь на всех полученных результатах. Такой подход называется комбинированным и имеет множество вариаций.

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., Голощанов 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., Смерчинский 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, ас-

пирантов и молодых ученых «Информационные технологии, системный анализ и управление» (ИТСАиУ-2018), С.207-213.

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@sfnedu.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@sfnedu.ru.

УДК 57.08+615.47+615.8

Проскуряков Александр Викторович, Александрова Ангелина Сергеевна

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ РОБОТОВ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ЦЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕКУРРЕНТНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

В рамках работы обоснована актуальность моделирования процесса эволюции, в частности с использованием рекуррентных нейронных сетей (РНС), в качестве итога анализа предметной области. Рассмотрены задачи искусственного интеллекта (ИИ) и алгоритм его взаимодействия с средой. Описаны принципы и этапы, применяемые в процессе разработки виртуальной среды, способствующей результативной работе ИИ. Также в рамках работы описано создание интуитивно понятного пользователю интерфейса.

Виртуальная среда, искусственный интеллект, моделирование, наноробот, нейронная сеть, робот, рекуррентные нейронные сети, эволюция.

Proskuryakov Alexander Viktorovich, Aleksandrova Angelina Sergeevna

MODELING THE BEHAVIOR OF ROBOTS FOR MEDICAL PURPOSES WITH THE USE OF RECURRENT NEURAL NETWORKS

The paper substantiates the relevance of modeling the process of evolution, in particular using recurrent neural networks (RNS), as a result of the analysis of the subject area. The problems of artificial intelligence (AI) and the algorithm of its interaction with the environment are considered. The principles and steps used in the process of developing a virtual environment that contributes to the effective work of AI are described. Also in the framework of the work described the creation of an intuitive user interface.

Virtual environment, artificial intelligence, modeling, nanorobot, neural network, robot, recurrent neural networks, evolution.

Введение

Новое междисциплинарное направление медицинской науки – наномедицина – в настоящее время находится в стадии становления [1,9]. Её методы только выходят из лабораторий, а большая их часть на данный момент существует только в виде проектов. Тем не менее, большинство экспертов едины во мнении, что именно эти методы станут основополагающими в 21 веке.

Нанотехнология обеспечила возможность доставки лекарств к определённым клеткам с помощью наночастиц. Общий объём потребления лекарства и побочные эффекты могут быть значительно снижены с помощью размещения активного агента только в больном регионе, и в дозе не большей, чем требуется. Этот выборочный метод также снизит стоимость лечения.

Одной из актуальных современных проблем наномедицины является проблема доставки лекарств. Наночастицы – это многообещающие инструменты для продвинутой доставки лекарств, медицинской съёмки и для использования в качестве диагностических сенсоров. Тем не менее, биораспределение этих наночастиц всё ещё несовершенно из-за сложных реакций тела на нано- и микрогабаритные материалы и сложности нацеливания на органы.

В контексте этой проблемы часто подчеркивается возможность использования нанороботов. Типичный работающий в крови медицинский наноробот может быть размером 0,5-3 мкм, поскольку это максимальный размер, допустимый для прохождения через капилляры [2,10,11].

Это делает наномедицинские подходы к доставке лекарств удобным и актуальным объектом для исследования, а затем моделирования с использованием рекуррентных нейронных сетей (РНС) и последующего анализа полученных результатов.

Постановка задачи

Предметной областью веб-приложения является поведение нанороботов, в частности, проблема доставки лекарств. Язык программирования – javascript.

Целью моделирования поведения нанороботов, создания веб-приложения и взаимодействующего интерфейса между системой и пользователем является исследование данного поведения на примере виртуальных роботов, поиск существующих ограничений в отдельно взятой виртуальной среде и наблюдение за их движением.

Возможности пользователя в рамках веб-приложения:

- 1) проведение экспериментов с различными исходными и входными данными;
- 2) автоматический сбор статистики для дальнейшего анализа результатов;
- 3) программное определение роботов, успешно доставивших лекарство;
- 4) сохранение данных "мозга" робота с слоев нейронной сети, регулирующей его поведение для последующего изучения;
- 5) добавление роботов с вручную заданными характеристиками, в том числе загрузка существующего "мозга";
- 6) визуализация движения роботов в режиме реального времени;
- 7) отслеживание отдельно взятого робота;
- 8) возможность самостоятельно задать условия виртуальной среды.

Анализ предметной области

Узнать, результативен ли алгоритм поведения наноробота, возможно только с помощью наблюдения за этим роботом и подсчета количества точечных воздействий на зараженные клетки.

Проблема доставки лекарств имеет два основных аспекта: проблема энергетических затрат на движение и проблема разработки оптимального алгоритма для передвижения. Моделирование системы, на основе которой можно исследовать аспекты этой проблемы и провести их анализ, осуществимо с использованием РНС.

Разработка алгоритма поведения

Наноробот в разработанном приложении представлен в виде виртуального организма, состоящего из нейронной сети и находящегося в виртуальной среде. Среда, в которой находится робот, состоит из двух измерений, по которым робот может произвольно перемещаться. Веб-приложение в специальном поле создает группу небольших роботов разного цвета, каждый из которых контролируется РНС. Также в системе существуют частицы.

Частицы – это так называемые зараженные клетки, по достижении которых роботу начисляются очки и добавляется энергия. Роботы с наивысшими показателями поведения клонируются в соответствии с заданным промежутком времени. Робот-образец и его клоны имеют одинаковый цвет на момент появления, однако со временем их показатели, как и цвет, меняются. Сгенерированные частицы помещаются на поле случайным образом с промежутком, заданным вручную. По преобладающему цвету роботов можно визуально определить, алгоритм поведения какого из роботов оказался наиболее результативным.

Робот сканирует свое окружение на наличие других роботов или частиц углом, который задается программно, и эти данные подают в первый слой его нейронной сети.

Выходной уровень нейронной сети контролирует движение. Количество слоев и нейронов на каждом слое задается вручную.

Перемещение снижает уровень мощности роботов. Когда энергия заканчивается, робот умирает. Употребление частиц дает энергию. Когда у робота достаточно энергии, происходит клонирование. Так как в "мозге" нового робота уже имеются данные со слоев РНС прошлых версий, роботы медленно развиваются, а у роботов с неэффективными данными в слоях РНС заканчивается энергия, и они исчезают.

Разработка виртуальной среды и РНС

РНС – вид нейронных сетей, где связи между элементами образуют направленную последовательность (рис.1) [3,5,6]. Благодаря этому появляется возможность обрабатывать серии событий во времени или последовательные пространственные цепочки, а именно задавать поведение роботов и обеспечивать им возможность поиска оптимального алгоритма.

Каждый нейрон в ней взаимодействует сразу с набором из нескольких других нейронов. В многослойных нейронных сетях, подобных использованной в качестве "мозга" робота, данные из одного слоя попадают в соседние только после обработки в рамках предыдущего слоя и отбора тех

решений, которые этот слой выбрал из множества введённых в него данных.

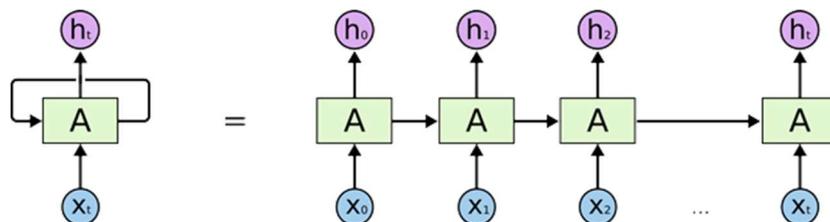


Рис. 1. Схема рекуррентной нейронной сети

На каждом цикле работы внутренний слой нейронов получает набор входных данных X и информацию о предыдущем состоянии внутреннего слоя A , на основании чего генерирует ответ h [4,7,8].

Разработка интерфейса

Интерфейс веб-приложения (рис.2), обеспечивающего возможность моделирования процесса эволюции, написан с использованием языка программирования javascript.

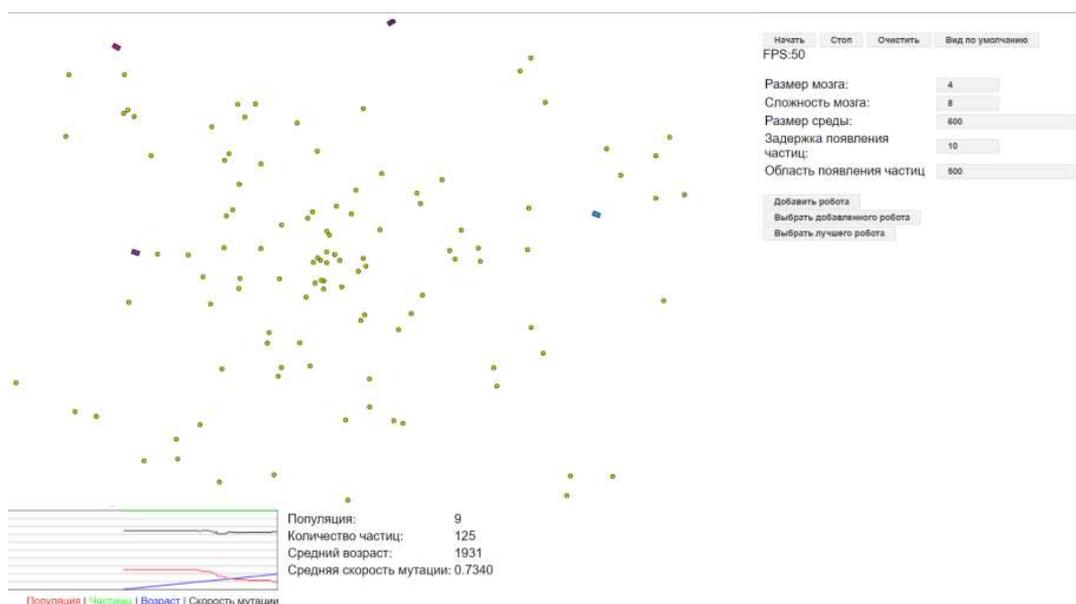


Рис. 2. Интерфейс веб-приложения

Вывод

При помощи веб-приложения, моделирующего поведение роботов для медицинских целей, у пользователя появилась возможность самостоятельно изучить проблему доставки лекарств на примере простейших роботов и

виртуальной среды. Также пользователь может проводить эксперименты на различных исходных и входных данных, чтобы получить больше информации для анализа.

Интерфейс помогает облегчить получение нужной информации в любой момент времени, а также визуализирует результаты работы РНС. Таким образом, приложение может использоваться для моделирования поведения нанороботов. Моделирование поведения нанороботов может использоваться для нахождения оптимального алгоритма доставки, что актуально для науки и имеет применение на практике.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Калан Р.* Основные концепции нейронных сетей. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 290 с.
2. Kohonen T. The self-organizing map // Proc. of the IEEE. – 1990. – V. 78. – № 9. – P. 1464–1480
3. *Хайкин С.* Нейронные сети: полный курс. Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.
4. *Дж., Блейкли Сандра.* Об интеллекте. — М.: Вильямс, 2007. — 240 с.
5. *Осипов В. Ю.* Ассоциативная интеллектуальная машина // Информационные технологии и вычислительные системы. 2010. № 2. С. 59–67.
6. Применение искусственного интеллекта в медицине: эффективная диагностика и создание новых лекарств // Новости. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://aiconference.com.ua/ru/news/primenenie-iskusstvennogo-inteUekta-v-meditsine-effektivnaya-diagnostika-i-sozdanie-novih-lekarstv-92604> (дата обращения:28.03.2019).
7. *Галушкин А.И.* Теория нейронных сетей. Серия «Нейрокомпьютеры и их применение» / А.И. Галушкин. М.: ИПРЖР, 2000.Кн.1.456с. Терехов В.А Нейросетевые системы управления. Серия «Нейрокомпьютеры и их применение» / В.А. Терехов, Д.В. Ефимов, И.Ю. Тюкин. М.: ИПРЖР, 2002. Кн. 8. 480 с.
8. *Еськов В.М., Еськов В.В., Филатова О.Е., Хадарцев А.А.* Особые свойства биосистем и их моделирование // Вестник новых медицинских технологий. 2011. Т. 18. №3. С.331-332.
9. *Еськов В.М., Буров И.В., Филатова О.Е., Хадарцев А.А.* Основы биоинформационного анализа динамики микрохаотического поведения биосистем // Вестник новых медицинских технологий. 2012. Т. 19.№1.С.15-18.

10. Хадарцев А.А., Яшин А.А., Еськов В.М., Агарков Н.М., Кобринский Б.А., Фролов М.В., Чухраев А.М., Гондарев С.Н., Хромушин В.А., Каменев Л.И., Валентинов Б.Г., Агаркова Д.И. Информационные технологии в медицине. Монография. Тула: ТулГУ, 2006. 272 с.

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@sfnedu.ru.

Александрова Ангелина Сергеевна – студентка группы КТбо4-8 кафедры Математического обеспечения и применения ЭВМ, Южного федерального университета, Россия, г. Таганрог, улица Энгельса, 1 347900, телефон: +7(8634) 37-16-73, email: avproskuryakov@sfnedu.ru, lisovonok@gmail.com.

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@sfnedu.ru.

Alexandrova Angelina Sergeevna – student of group K MSW 4-8 Department of Mathematical support and computer application, southern Federal University, Russia, Taganrog, Engels street, 1 347900, phone: +7(8634) 37-16-73, email: avproskuryakov@sfnedu.ru, lisovonok@gmail.com/

УДК 57.08+615.47+615.8

Проскуряков Александр Викторович

ВЕРИФИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ ФРАГМЕНТОВ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПО КОМПЬЮТЕРНО-ТОМОГРАФИЧЕСКИМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ

В данной статье описаны методология верификации состояния фрагментов биологических объектов по компьютерно-томографическим изображениям для диагностики заболеваний, описаны основные методы, лежащие в основе верификации по рентгеновским изображениям.

Безэталонный метод верификации, верификация, метод, эталон, статистика.

VERIFICATION OF FRAGMENTS OF BIOLOGICAL OBJECTS USING COMPUTED TOMOGRAPHY IMAGES

This article describes the methodology of verification of the state of fragments of biological objects by computer tomographic images for the diagnosis of diseases, describes the main methods underlying the verification of x-ray images.

Nonstandard method of verification, verification method, reference, statistics.

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:

- а) цифровая и плёночная рентгенография;
- б) компьютерная томография[1];
- в) магнитно-резонансная томография.

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, 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 [3], является недостаточная эффективность диагностики в соответствии вышеупомянутой технологической диагностической цепочкой, которая составляет порядка 70%. Столь низкий уро-

вень 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 докладе 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, диафаногамма);

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 при вынесении советующего решения при 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, представив 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 $h_i(r_k)$ по формуле 1.

$$h_i(r_k) = \frac{n_k}{n_i}, \quad (1)$$

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

$$M^*[Y] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i = \bar{Y}_{\text{cp}} \quad \text{и} \quad M^*[X] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = \bar{X}_{\text{cp}}. \quad (2)$$

3. Третий этап. Сравнение между собой дисперсий

$$D^*[X] = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_{\text{cp}})^2 \quad \text{и} \quad D^*[Y] = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_{\text{cp}})^2. \quad (3)$$

Оценку состояния лобной пазухи осуществим посредством отношений математических ожиданий объекта и эталона и с помощью вариационного коэффициента, определяемых отношением среднеквадратичных 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 [1–6].

Недостатком эталонного способа при автоматической диагностике рентгенографического изображения является качество изображения такого выбранного фрагмента снимка, на котором имеет место постоянное зна-

чение 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.

$$R(x, y) = \frac{\sum_{x',y'} (T(x',y') - I(x+x',y+y'))^2}{\sqrt{\sum_{x',y'} T(x',y')^2 * \sum_{x',y'} I(x+x',y+y')^2}}, \quad (4)$$

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 (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 [2,3,7–10].

Реализация. Безэталонный способ. Для реализации безэталонного способа при решении задачи анализа и обработки рентгенографического изображения определяем термин «изображение» как некий математический объект, обладающий определенными математическими свойствами. При проведении математических операций над изображением по аналогии с эталонным способом предполагаем, что оно существует в цифровой форме – «цифровое изображение», которое представляется дискретным массивом чисел, образующих матрицу элементов b_{ij} с параметрами (i, j) , где $1 \leq i \leq n$ и $1 \leq j \leq n$. Элементы b_{ij} являются квадратом (пикселем, апертурой), определяемым неравенством $i - 1 \leq x \leq i$ и $j - 1 \leq y \leq j$ (x и y – пространственные координаты непрерывного изображения). Тогда любой матрице $[b_{ij}]$ порядка $n \times n$ можно сопоставить изображение, значение яркости которого в квадрате b_{ij} равно постоянной величине \bar{b}_{ij} для каждой пары (i, j) . Элемент цифрового изображения можно представить в виде случайной величины $\bar{b}(i, j)$, а матрицу $n \times n$ как матрицу случайных величин $[\bar{b}(i, j)]$.

Так как числа b_{ij} можно принять за полноправных представителей случайной величины $\bar{b}(i, j)$, распространив их значение на площадь всего элемента, то обозначения матрицы типичного цифрового изображения будет иметь следующий вид:

$$B_{ij} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nn} \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Совокупность случайных величин яркостей элементов изображения порождает соответствующую ковариационную матрицу, устанавливающую статистические связи между элементами $\sum_B = M\{(B - \bar{B})(B - \bar{B})'\}$, где M – оператор математического ожидания, \bar{B} – соответствует среднему вектору $B = \{b_{11}, b_{12}, \dots, b_{ij}, \dots, b_{nn}\}$, $(B - \bar{B})$ – представляет матрицу столбец, а $(B - \bar{B})'$ – матрицу строку.

Полученная матрица содержит $n^2 \times n^2$ элементов, диагональные элементы являются дисперсиями отдельных случайных величин, а все

остальные элементы соответствуют ковариациям двух случайных величин b_{ij} , взятых при разных сочетаниях i и j .

Полезные свойства изображения могут быть выявлены при анализе автокорреляционной матрицы изображения, которую принято называть матрицей рассеяния, поскольку она характеризует рассеяние дисперсий элементов изображения:

$$S_B = \begin{bmatrix} M\{b_{11}^2\} & \dots & M\{b_{11}b_{nn}\} \\ \dots & \dots & \dots \\ M\{b_{nn}b_{11}\} & \dots & M\{b_{nn}^2\} \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Следовательно, используя средства и методы математической статистики и матричного счисления, можно описать все существенные свойства рентгенографических изображений и на основании данных свойств, с использованием соответствующих алгоритмов обработки, осуществить достоверный качественный анализ снимков с последующей диагностикой заболеваний. [2,3,6].

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 способов метода диагностики параназальных пазух при ЛОР-заболеваниях;

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 снимков с элементами автоматической обработки, что позволяет формализовать процедуру постановки диагноза;

4) получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012619118 [1,2];

5) результаты работы прошли апробацию на пяти 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. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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
5. 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.
6. 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 «Фунда-

ментальные и прикладные аспекты компьютерных технологий и информационной безопасности» (ФПАКТИБ'2018) 2018, С.461-465.

7. *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.
8. *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.
9. *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.

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@sfnu.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@sfnu.ru.

УДК 621.371

Кисель Наталья Николаевна, Алпатова Анна Витальевна,
Панычев Андрей Иванович

АЛГОРИТМ УЧЕТА ТОНКИХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ПРИБЛИЖЕННЫХ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЯ

В работе решена задача возбуждения однородной диэлектрической сферы, укрытой тонким покрытием. Решение получено путем комбинации точного метода собственных функций и приближенных граничных условий для тонкого покрытия. Электродинамические соотношения приведены для радиального элементарного электрического вибратора. Определены границы применимости данного подхода в зависимости от электрофизических параметров и толщины покрытия.

Метод собственных функций, приближенные граничные условия, тонкие покрытия.

Kisel Natalia Nikolayevna , Alpatova Anna Vitalevna,
Panychev Andrey Ivanovich

THE ALGORITHM FOR THE ACCOUNT OF THIN COATINGS BASED ON APPROXIMATE BOUNDARY CONDITIONS

The task of exciting a homogeneous dielectric sphere, covered with a thin coating, has been solved in the work. The solution was obtained by combining the exact eigenfunction method and approximate boundary conditions for describing a thin coating. Electromagnetic relations are given for a radial elementary electric vibrator. The limits of applicability of this approach are determined depending on the electrophysical parameters and the coating thickness.

Eigenfunctions method, approximate boundary conditions, thin coatings.

Введение

Рассмотрено решение модельной задачи возбуждения сферы с тонким покрытием для случая радиально расположенного элементарного электрического излучателя. Алгоритм основан на использовании метода собственных функций и приближенных граничных условий, описывающих область тонкого покрытия.

Основная часть

В свободном пространстве расположена однородная диэлектрическая сфера радиуса a , покрытая тонкой диэлектрической оболочкой толщиной $\tau = b - a$. Центр сферы совпадает с центром сферической системы координат.

Комплексная диэлектрическая и магнитная проницаемости сферы описываются следующими функциями

$$\varepsilon(r) = \begin{cases} \varepsilon_1, 0 < r < a; \\ \varepsilon_2, a \leq r \leq b; \end{cases} \quad \mu(r) = \begin{cases} \mu_1, 0 < r < a; \\ \mu_2, a \leq r \leq b. \end{cases}$$

Сторонний источник – радиальный элементарный электрический вибратор, расположенный в точке с координатами $(r_0, 0, 0)$. Необходимо определить напряженность электрического поля в любой точке пространства.

Рассмотрим решение задачи методом собственных функций с использованием приближенных граничных условий высшего порядка. Будем считать, что толщина покрытия τ мала по сравнению с длиной волны: $k\tau \ll 1$, $k = \omega\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}$.

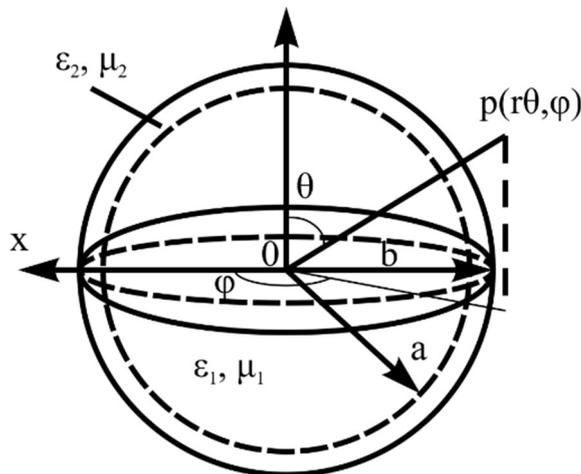


Рис.1. Постановка задачи

Составляющие векторов напряженности электрического и магнитного полей $H_{2\theta}^{\partial}, H_{2\varphi}^{\partial}, E_{2\theta}^M, E_{2\varphi}^M$ в диэлектрической оболочке при $a \leq r \leq b$ разложим в ряд Тейлора в окрестности точки a^+ , ограничившись двумя членами разложения

$$E_{2\theta, \varphi}^M(r, \theta, \varphi) \cong \sum_{n=0}^1 \frac{\partial^n}{\partial r^n} E_{2\theta, \varphi}^M(r, \theta, \varphi) \Big|_{r=a^+} \frac{(r - a^+)^n}{n!}; \quad (1)$$

$$H_{2\theta, \varphi}^{\partial}(r, \theta, \varphi) \cong \sum_{n=0}^1 \frac{\partial^n}{\partial r^n} H_{2\theta, \varphi}^{\partial}(r, \theta, \varphi) \Big|_{r=a^+} \frac{(r - a^+)^n}{n!};$$

где $a^+ = a + 0$.

Из ГУ равенства касательных составляющих векторов напряженности электрического и магнитного полей, выражения (1) можно записать для $r = b^- = b - 0$ в следующем виде:

$$E_{2\theta,\varphi}^M(b^-, \theta, \varphi) \cong E_{1\theta,\varphi}^M(a^-, \theta, \varphi) + \tau \frac{\partial}{\partial r} E_{1\theta,\varphi}^M(r, \theta, \varphi)|_{r=a^-} = E_{\theta,\varphi}^M(b^+, \theta, \varphi) \quad (2)$$

$$H_{2\theta,\varphi}^{\mathfrak{z}}(b^-, \theta, \varphi) \cong H_{1\theta,\varphi}^{\mathfrak{z}}(a^-, \theta, \varphi) + \tau \frac{\partial}{\partial r} H_{1\theta,\varphi}^{\mathfrak{z}}(r, \theta, \varphi)|_{r=a^-} = H_{\theta,\varphi}^{\mathfrak{z}}(b^+, \theta, \varphi).$$

где $E_{\theta,\varphi}(r, \theta, \varphi) = E_{\theta,\varphi}^{pac}(r, \theta, \varphi) + E_{\theta,\varphi}^{\Pi}(r, \theta, \varphi)$; $H_{\theta,\varphi}(r, \theta, \varphi) = H_{\theta,\varphi}^{pac} + H_{\theta,\varphi}^{\Pi}$ – составляющие векторов напряженности электрического и магнитного полных полей в свободном пространстве, равные сумме вторичной и первичной волн.

Неизвестные коэффициенты разложения полей определяются из граничных условий для касательных составляющих векторов напряженности электрического и магнитного полей:

$$\begin{aligned} \sum_{n=0}^{\infty} \sin \theta \cdot P'_n(\cos \theta)(2n+1)a_{1n} \Psi_n(k_1 a) &= \sum_{n=0}^{\infty} \sin \theta \cdot P'_n(\cos \theta)(2n+1) * \\ & * \left(\psi_n(kr_0) \xi_n^{(2)}(kb) + A_n^{\mathfrak{z}} \xi_n^{(2)}(kb) \right); \\ \sum_{n=0}^{\infty} \sin \theta P'_n(\cos \theta)(2n+1) * a_{1n} (\psi_n(k_1 a) + k_1(2b-a)\psi'_n(k_1 a)) &= \\ & = \sum_{n=0}^{\infty} \sin \theta P'_n(\cos \theta)(2n+1) * \left(\xi_n^{(2)}(kr_0) \Psi_n(kb) + A_n^{\mathfrak{z}} Z_n(kb) \right); \end{aligned}$$

и имеют вид

$$A_n^{\mathfrak{z}} = \xi_n^{(2)}(kr_0) \frac{\Psi_n(kb) D_n^{\mathfrak{z}} - \frac{1}{\varepsilon_1} \psi_n(kb) G_n^{\mathfrak{z}}}{\frac{1}{\varepsilon_1} \xi_n^{(2)}(kb) G_n^{\mathfrak{z}} - Z_n(kb) D_n^{\mathfrak{z}}};$$

$$a_{1n}^{\mathfrak{z}} = \frac{\xi_n^{(2)}(kb) A_n^{\mathfrak{z}} + \xi_n^{(2)}(kr_0) \psi_n(kb)}{D_n^{\mathfrak{z}}} \frac{1}{\varepsilon_1};$$

$$D_n^{\mathfrak{z}} = \psi_n(k_1 a) + k_1 \tau \psi'_n(k_1 a);$$

$$G_n^{\mathfrak{z}} = \psi_n(k_1 a) + k_1(2b-a)\psi'_n(k_1 a).$$

В результате получено решение задачи возбуждения диэлектрического шара, покрытого тонкой диэлектрической оболочкой методом собственных

функций с использованием приближенных граничных условий. В результате получены аналитические выражения для коэффициентов разложения полей.

Зависимости изменения погрешности приближенного расчета напряженностей электрического поля от реальной или мнимой составляющей диэлектрической проницаемости шара или покрытия достаточно сложны.

На рис.2 изображены в логарифмическом масштабе зависимости погрешности приближенной методики учета тонких оболочек по сравнению

с точной $\left| \frac{E_1(k\tau)}{E_2(k\tau)} \right|$ от электрической толщины покрытия, за точное решение

приняты результаты, полученные методом собственных функций для многослойной сферы. На рис.2 графики приводятся для структур со следующими геометрическими и электрофизическими параметрами: $ka=3$, $\varepsilon_1=2-i$, $\varepsilon_2=3-0.5i$ (кривая 1), $\varepsilon_2=6-0.5i$ (кривая 2), $\varepsilon_2=3-4i$ (кривая 3) и $\varepsilon_2=25-10i$ (кривая 4), E_1 и E_2 – вектор напряженности электрического поля, рассчитанные методом собственных функций с использованием точных и приближенных ГУ, сторонний источник – радиальный ЭЭВ. На рис.2 приводятся значения глубины проникновения δ в среду с параметрами оболочки. Из рисунка видно, что с увеличением глубины проникновения электромагнитного поля (ЭМП) в среду погрешность приближенной методики учета тонких покрытий уменьшается. Погрешность расчета составляет 0.2 дБ и меньше при толщине покрытия $k\tau \leq 0.4$ из диэлектрика с глубиной проникновения ЭМП $k\delta \geq 1.02$. Такая же погрешность расчета может быть достигнута при толщинах покрытия $k\tau \leq 0.25$ из диэлектрика с глубиной проникновения ЭМП $k\delta \geq 0.27$.

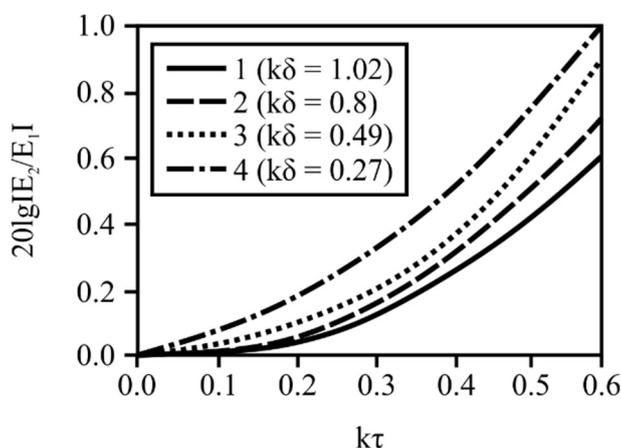


Рис.2 Зависимость погрешности решения в случае возбуждения

Выводы

Таким образом, получены аналитические выражения для коэффициентов разложения полей в случае возбуждения сферы с тонким покрытием радиальным диполем.

Анализ полученных результатов показал, что данный приближенный учет покрытия дает погрешность меньше 0,2 дБ если электрическая толщина покрытия $k\tau$ удовлетворяет условию $k\tau \leq k\delta/3$.

Расширить границы применимости данного подхода можно, если учитывать больше членов ряда разложения составляющих напряженности электрического и магнитного полей внутри тонкого покрытия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Kisel' V.N., Alpatova A.V., Kisel' N.N.* Combined utilization of eigenfunctions and integral equations to calculate fields inside inhomogeneous dielectric bodies// Proc. of Int. Conf. on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory (ММЕТ*2000), Kharkiv, Ukraine, 11-15 Sept. 2000. V.2. P.459-461.
2. *Марков Г. Т., Чаплин А. Ф.* Возбуждение электромагнитных волн. М.: Радио и связь, 1983.
3. *Кисель Н.Н., Алпатова А.В., Кисель В.Н.* Сочетание методов интегральных уравнений и собственных функций для расчета возбудителя кругового диэлектрического цилиндра с неоднородным включением // Антенны. 2001. Вып. 4 (50). с.54-60.
4. *Kisel N.N., Cheremisov V.A., Kisel D.V.* Effective combined method for calculation of circular excitation dielectric cylinder with a heterogeneous object 2017 Progress In Electromagnetics Research Symposium - Spring (PIERS) Year. 2017, p. 3276 – 3282.
5. *Kisel N.N., Cheremisov V.A., Kisel D.V.* A computational model of microwave imaging 2017 Second Russia and Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RPC) Year. 2017, p.104 – 107 IEEE Conferences.
6. *Alpatova A.V., Kisel' N.N.* Electromagnetic field calculation inside the dielectric sphere with inhomogeneous insertion IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium. 2001 Digest. Held in conjunction with: USNC/URSI National Radio Science Meeting (Cat. No.01CH37229) Year: 2001 , Volume: 1 Page s: 220 – 223.

7. *Kisel V.N., Alpatova A.V., Kisel N.N.* Combined utilization of eigenfunctions and integral equations to calculate the fields inside inhomogeneous dielectric bodies Conference Proceedings 2000 International Conference on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory (Cat. No.00EX413) Year: 2000 , Volume: 2 Page s: 459 – 461.

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.

Алпатова Анна Витальевна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник таганрогский научно-исследовательский институт, Россия, город Таганрог, ул. Седова, 3., телефон +7(8634)37-16-34.

Панычев Андрей Иванович – 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: ai-panychev@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.

Alpatova Anna Vitalevna – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Taganrog Research Institute, Russia, Taganrog, st. Sedova, 3, telephone ++7(8634)37-16-34

Panychev Andrey Ivanovich – 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: aipanychev@sfedu.ru

УДК 621.396

Хамед Махьюб, Кисель Наталья Николаевна

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МОДИФИЦИРОВАННОЙ МИКРОПОЛОСКОВОЙ АНТЕННЫ

В работе представлены результаты моделирования микрополосковых антенн с подложкой на основе метаматериала, состоящего из квадратных разомкнутых кольцевых резонаторов (SRR – split ring resonator). Комбинированная подложка на основе метаматериалов позволяют уменьшить геометрические размеры излучателей, расширить рабочую полосу частот и увеличить эффективность излучения. В работе также установлено соответствие между характеристиками SRR-метаматериала и однородным слоем с эффективными диэлектрической и магнитной проницаемостями, полученными через коэффициенты отражения и прохождения. Моделирование характеристик микрополосковой антенны выполнены с использованием программ FEKO и HFSS.

Микрополосковая антенна, метаматериал, SRR.

Hamed Ebrahim Abdo Mahyoub Mahyoub, Kisel Natalia Nikolayevna

STUDY OF THE CHARACTERISTICS OF A MODIFIED MICROSTRIP ANTENNA

The paper presents the simulation results of microstrip antennas with a substrate made on the basis of a metamaterial consisting of square split ring resonators (SRR - split ring resonator). Substrates of microstrip antennas made of metamaterials make it possible to reduce the geometrical dimensions of the emitters, to expand the working frequency band and the radiation efficiency. The correspondence between the characteristics of the SRR metamaterial and a homogeneous layer with effective dielectric and magnetic permeability obtained through the reflection and transmission coefficients is established in the work.. The microstrip antenna characteristics were simulated using the FEKO and HFSS programs.

Microstrip antenna, metamaterial, frequency range, SRR.

Введение

В настоящее время в антенной технике применение метаматериалов считаются перспективным для создания микрополосковых антенн с улуч-

шенными характеристиками. Уменьшение размеров антенн и увеличение направленности излучения при фиксированных размерах излучателей являются важной задачей при проектировании антенн. Одним из способов решения этой проблемы является использование слоя метаматериала, расположенного между излучателем и подложкой. Метаматериал представляет структуру из разомкнутых кольцевых резонаторов.

В работе приведены результаты численного исследования и показана эффективность использования метаматериалов в качестве подложки антенн с целью улучшения направленных свойств антенны и уменьшения габаритов антенны в области реализации отрицательных значений диэлектрической или магнитной проницаемостей метаматериала. В полосе частот, где подложка из SRR-элементов не имеет свойств метаматериала, ее присутствие практически не оказывает влияния на характеристики антенны.

Имеется ряд работ, в которых численно и экспериментально показано, что использование метаматериалов вблизи излучателей микроплосковых антенн волн позволяет увеличить коэффициент усиления антенны и в некоторых случаях сузить диаграмму направленности при фиксированных поперечных размерах антенны [1-10]. Так, например, в [2-5] показано, что использование метаматериала на основе квадратных разомкнутых кольцевых резонаторов, размещенного над антенной, позволяет получить существенное увеличение коэффициента усиления симметричной крестообразной антенны в области реализации отрицательных значений диэлектрической проницаемости.

Основная часть

Как известно, электрофизические характеристики материала определяются диэлектрической, магнитной проницаемостями и проводимостью. Расчет этих эффективных параметров материала (ϵ_{eff} и μ_{eff}) может быть выполнен на основе S-параметров упорядоченной структуры SRR-элементов (рис.1).

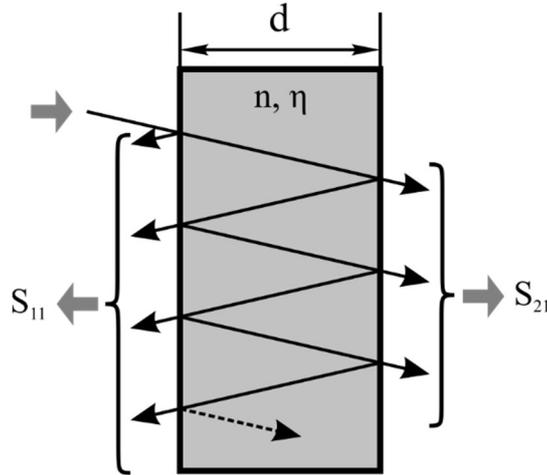


Рис. 1. К расчету S-параметров

На основе численно моделирования слоя метаматериала численно определяются через S_{11} и S_{21} показатель преломления n и импеданс W

$$W = \pm \sqrt{\frac{(1 + S_{11})^2 - S_{21}^2}{(1 - S_{11})^2 - S_{21}^2}}$$

$$n = \frac{1}{dk_0} \left[\left(\left[\ln\left(\frac{S_{21}}{1 - S_{11} \frac{W-1}{W+1}}\right) \right]'' + 2m\pi \right) - i \left[\ln\left(\frac{S_{21}}{1 - S_{11} \frac{W-1}{W+1}}\right) \right]' \right],$$

где $(\bullet)''$ представляет мнимую часть коэффициента преломления и $(\bullet)'$ вещественную составляющую коэффициента преломления; S_{11} и S_{21} – коэффициенты обратного отражения и прохождения соответственно; n – показатель преломления; W – полное сопротивление (импеданс); k_0 – волновое число; d – толщина метаматериала; m – целое число (связанное с периодичностью синусоидальной функции). Так как размеры элементов, образующих метаструктуру обычно составляют менее одной десятой длины волны в материале, то в первом приближении метаматериал можно заменить слоем с эффективными значениями диэлектрической ϵ_{eff} и магнитной μ_{eff} проницаемости в материале:

$$\epsilon_{eff} = \frac{n}{W}, \quad \mu_{eff} = W * n.$$

В работе представлена модель микрополосковой антенны с обычной подложкой и с подложкой из метаматериала на основе SRR-элементов (рис.2).

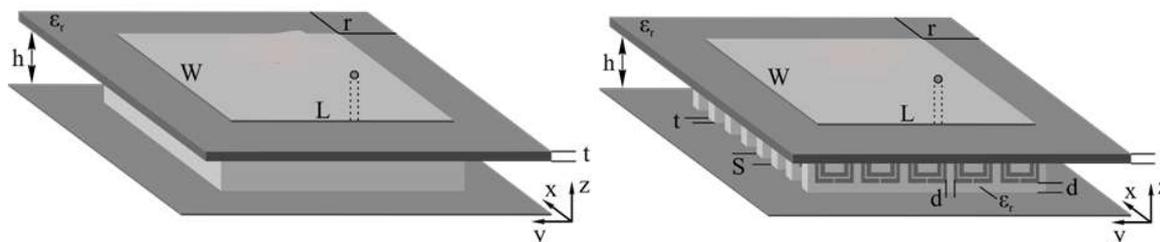
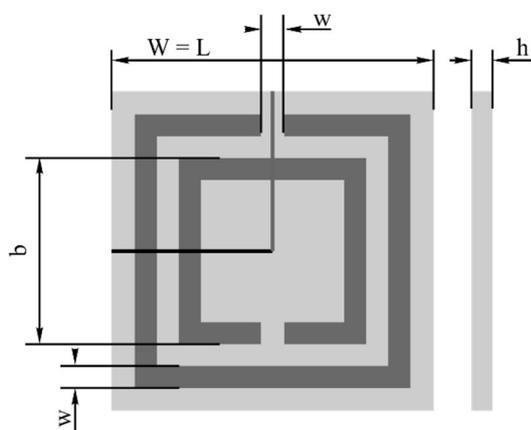


Рис. 2. Микрополосковая антенна, выполненная по стандартной технологии и из метаматериала

Микрополосковый излучатель представляет прямоугольную форму с коаксиальным возбуждением (сопротивление кабеля 50 Ом). Форма метаматериала и его размеры указаны на рис. 3. Слой метаматериала имеет высоту h и состоит из 8 блоков толщиной $t=1$ мм. На каждом блоке размещены по пять SRR-резонаторов, ориентированных перпендикулярно экрану антенны, расстояние между резонаторами $d=1$ мм, период повторения блоков $s=3$ мм.



параметр	Значение, мм
W	4
L	4
h	0,5
a	3,5
W	0,25
g	0,25
ϵ	2,2

Рис. 3. Структура квадратного резонатора с разрезным кольцом и его геометрические параметры

Для микрополосковой антенны была выполнена оптимизация размеров SRR-резонаторов, их положения относительно излучателя и период их повторения с точки зрения обеспечения минимума КСВ. Численные значе-

ния эффективных значений диэлектрической и магнитной проницаемостей приведены на рис.4.

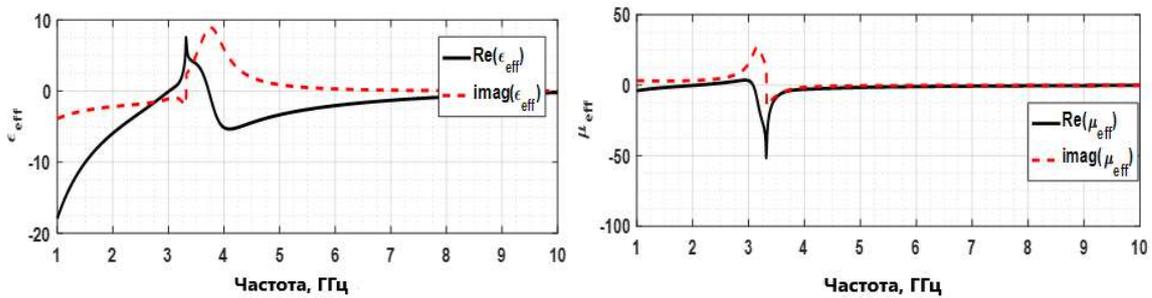


Рис.4 Частотная зависимость эффективных значений диэлектрической и магнитной проницаемостей слоя диэлектрика

Результаты моделирования характеристик антенны для коэффициента усиления и КСВ приведены на рис.5.

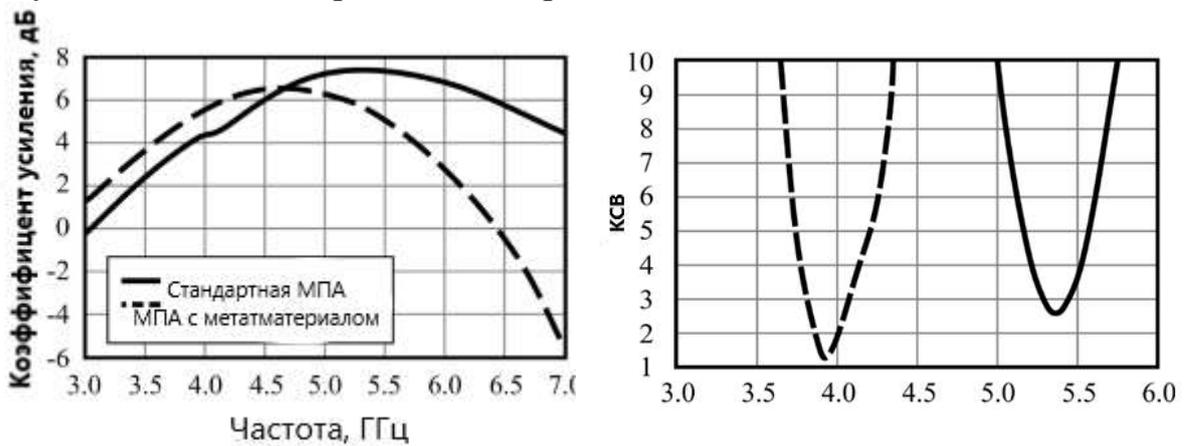


Рис.5 Частотная зависимость коэффициента усиления и КСВ антенны с подложкой из / без SRR метаматериала

Как видно из результатов расчета обычная микрополосковая антенна при отсутствии SRR-элементов имеет рабочую частоту в области 5,4 ГГц, замена диэлектрической подложки на слой метаматериала приводит к уменьшению резонансной частоты до 3,95 ГГц. Для этой области частот подложка из метаматериала дает отрицательные эффективные значения диэлектрической и магнитной проницаемостей (рис.4). Коэффициент усиления антенны практически не меняется, но геометрические размеры антенны могут быть уменьшены почти на 40% по сравнению со случаем микрополосковой антенны, построенной по стандартной технологии.

Выводы

Таким образом, показано, что подложка из SRR-метаматериала позволяет изменить резонансную частоту антенны в сторону ее уменьшения, при этом коэффициент усиления антенны практически не меняется. Дальнейшее управление резонансной частотой микрополосковой антенны можно выполнить путем размещения между кольцами SRR-элементов управляемых МЭМС-переключателей, включение/выключение которых будет приводить к возможности реализации управления резонансной частотой антенны.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Eleftheriades G. V., Balmain K. G.* Negative- Refraction Metamaterials – Fundamental Principles and Applications// John Wiley & Sons. Inc. 2005. ISBN 13: 978-0-471-60146-3.
2. *Musayev M.M., Kisel N.N.* Investigation of the electrical and magnetic properties of combined metamaterials//IEEE Conferences Progress In Electromagnetics Research Symposium - Spring (PIERS). 2017. P. 2963 – 2966.
3. *Hamed E. A. Mahyoub, Kisel N.N.* Design, optimization and simulation of a compact multi-layered microstrip antennas based on LTCC-technology in Feko// Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves (RSEMW). 2017. P. 175 – 176.
4. *Musayev M.M., Kisel N.N.* Lens research on the basis of the combined metamaterial// Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves (RSEMW). 2017. P.172 - 174.
5. *Kisel N.N., Cheremisov V.A., Derachitc D.S.* The modeling of characteristics of the patch antenna with non-uniform substrate metamaterial//IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS). 2016. P.1-3.
6. *Erdemli Y.E., Sertel K., Gilbert R.A., Wright D.E., Volakis J.L.* Frequency selective surfaces to enhance performance of broadband reconfigurable arrays// IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 50, pp.1716-1724, 2002.
7. *Pendry J.B., Holden A.J., Robins D.J., Stewart W.J.* Magnetism from conductors and enhanced nonlinear phenomena// IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 47, pp. 2075-2084, 1999.
8. *Kim J., Cho C.S., Lee J.W.* CPW bandstop filter using slot-type SRRs// Electronics Letters, Vol. 41, pp. 1333-1334, 2005.
9. *Gil I., Bonache J., Garcia-Garcia J., Falcone F., Martin F.* Metamaterials in microstrip technology for filter applications// Proceedings of Antennas and Propagation Society International Symposium, pp. 668-671, 2005.

10. *Gil I., Garcia-Garcia J., Bonache J., Martin F., Sorolla M., Marques R.* Varactor-loaded split ring resonators for tunable notch filters at microwave frequencies// Electronics Letters, Vol. 40, pp. 1347-1348, 2004.

Хамед Ебрахим Абдо Махьюб – аспирант, 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: eng.hamedebrahim@yandex.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.

Hamed Ebrahim Abdo Mahyoub – postgraduate 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: eng.hamedebrahim@yandex.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.

УДК 004.94

Шифрин Борис Маркович, Елисеев Игорь Владимирович

УДК 004.94

Шифрин Борис Маркович, Елисеев Игорь Владимирович

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЕДИНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО
ПРОСТРАНСТВА ПРЕДПРИЯТИЯ С ПОДДЕРЖКОЙ
ДИНАМИЧЕСКОЙ ЗАМЕНЫ СЛОЕВ**

Основной целью доклада является обоснование и разработка методологии замещения поколений слоев при минимизации разрушений связей между соседними слоями единого информационного пространства предприятия, что обусловлено крайней нестабильностью состояний ЕИП.

Единое информационное пространство предприятия, информационная система, жизненный цикл, граф переходов, иерархия слоев, смена поколений.

Shifrin Boris Markovich, Eliseev Igor Vladimirovich

**MODELS DEVELOPMENT OF SINGLE INFORMATION SPACE
OF THE ENTERPRISE SUPPORTS DYNAMIC LAYERS
REPLACEMENT**

The main purpose of the article is to justification and develop a methodology for the replacement of generations of layers while minimizing the destruction of links between adjacent layers of a single information space of the enterprise via extreme instability.

Single information space of the enterprise, information system, life cycle, transition graph, layer hierarchy, generation gap.

Введение

Сегодня одна из самых популярных тенденций развития информационных технологий – это стремление к объединению всех информационных ресурсов и систем с возможностью удаленной многопользовательской работы с данными. Подобная интеграция данных и программных средств их обработки в рамках одной компании образует единое информационное пространство (ЕИП) предприятия.

Теоретически, ЕИП предприятия предназначено для устранения дублирования информации за счет автоматической синхронизации баз данных различных информационных систем (ИС). Это позволит сократить организационные барьеры между различными структурными подразделениями за счет оперативного обмена электронными данными, а также сократить временные и трудовые затраты на бумажный документооборот. Таким обра-

зом, возможно повышение управляемости бизнеса за счет прозрачности операций с данными и контроля действий пользователей ЕИП в режиме онлайн.

В современной литературе [1-4] отмечается, что помимо технологической стороны создания ЕИП предприятия, существуют не менее важные аспекты этого явления: управленческий, организационный и финансовый. С управленческой стороны руководство предприятия должно быть не только заинтересовано в развертывании ЕИП, но и активно этому способствовать. В рамках организационного аспекта сотрудники предприятия, которые будут непосредственными пользователями единого информационного пространства, должны понимать цели и задачи его создания. И, наконец, как и любое масштабное мероприятие, проектирование, приобретение, наладка и запуск в действие программно-аппаратного обеспечения ЕИП требует соответствующего бюджета на финансовые затраты.

Основная часть

Универсальное ЕИП предприятия можно представить в виде иерархии множества n слоев $\{S\}=\{S_1, \dots, S_i, \dots, S_n\}$, обладающих накопленной информацией (уровнем знаний) $\{I\}=\{I_1, \dots, I_i, \dots, I_n\}$ и последовательно влияющих друг на друга (рис. 1).

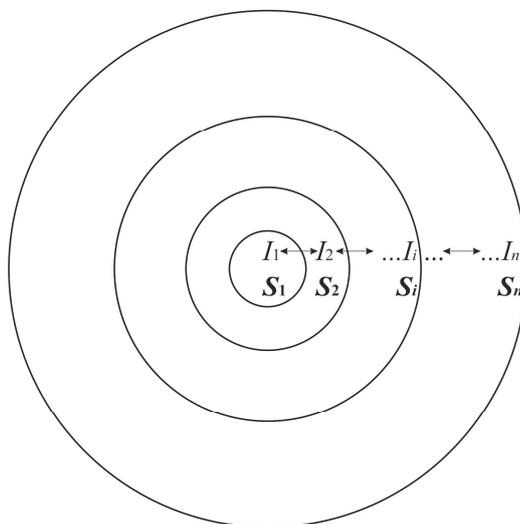


Рис. 1. Универсальное ЕИП предприятия

Таким образом, зависимость знаний верхнего уровня от знаний нижнего уровня можно формализовать с помощью функции преобразования Φ следующим образом:

$$I_i = \Phi_{i-1,i}(\{F_{i-1,i}\}, I_{i-1}), i = (2 \div n), \quad (1)$$

где $\{F\}$ – множество влияющих на преобразования факторов (например, топология и пропускная способность сетей передачи данных, техническая архитектура аппаратного обеспечения и т.д.), а зависимость знаний нижнего уровня от знаний верхнего уровня – следующим образом:

$$I_i = \varphi_{i+1,i}(\{F_{i+1,i}\}, I_{i+1}), i = (1 \div n-1). \quad (2)$$

Схематично жизненный цикл ИС слоя S_i можно представить следующим образом (рис. 2).

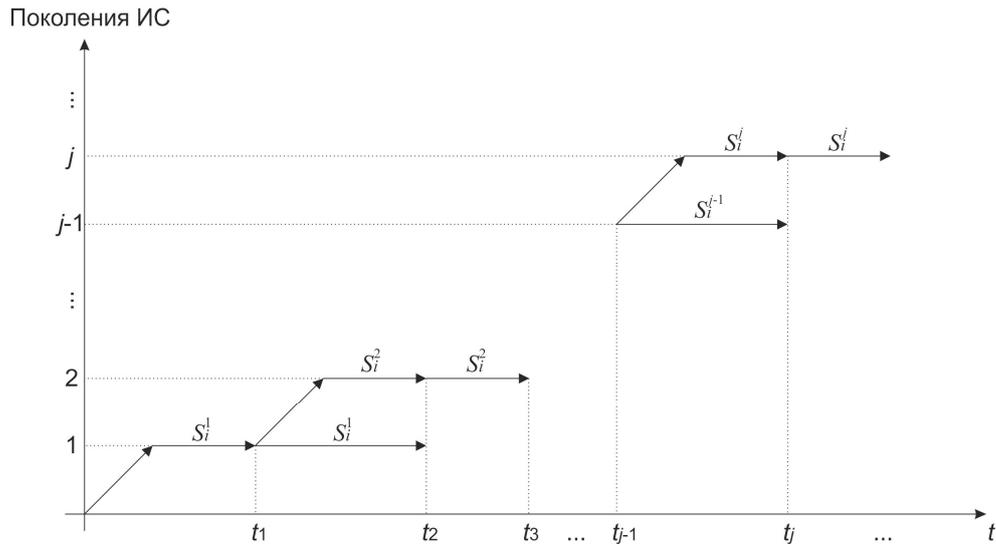


Рис. 2. Жизненный цикл ИС слоя S_i

К моменту t_1 система перестает модернизироваться, но накопленные за период ее эксплуатации знания востребованы, т.е. в эксплуатации до момента t_2 находятся сразу две системы, принадлежащие разным поколениям, первому и второму (S_i^1, S_i^2). Этап между t_2 и t_3 отображает ситуацию, когда после ввода в эксплуатацию нового поколения ИС предыдущее поколение полностью выводится из эксплуатации и т.д.

Используя автоматный подход [5-10], составим формальный граф переходов для слоя S_i . (рис. 3).

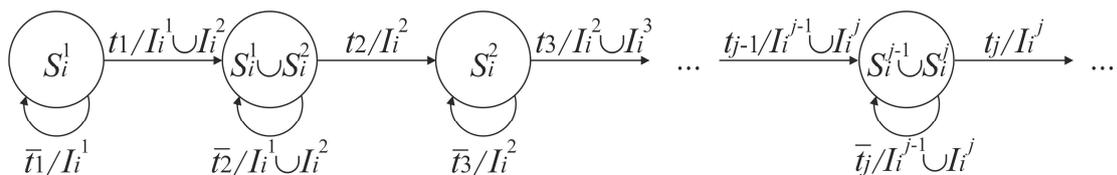


Рис. 3. Граф переходов для слоя S_i по поколениям

Вершинами графа (состояниями) являются поколения жизненного цикла ИС слоя $S_i(S_i^1, S_i^1 \cup S_i^2, S_i^2, \dots, S_i^{j-1} \cup S_i^j, \dots)$.

Дуги графа показывают, при каких условиях происходит смена состояний, а при каких – нет (так называемые петли). Рядом с дугами принято показывать, при каких входных воздействиях происходит данный переход, и какие при этом генерируются выходные сигналы.

Так, из рис. 3 видно, что до достижения момента времени t_1 (\bar{t}_1) используется ИС 1-го поколения с уровнем знаний I_i^1 , после достижения момента времени t_1 в эксплуатации будут находиться сразу две системы с накопленными знаниями $I_i^1 \cup I_i^2$, принадлежащие разным поколениям ($S_i^1 \cup S_i^2$), и т.д.

Теперь сформулируем **глобальный критерий минимизации разницы между переходами к другим слоям при смене поколений.**

Используя выражение (1), для множества поколений 1, 2, ..., j , ... получаем следующие зависимости знаний верхнего уровня от знаний нижнего уровня:

$$I_i^1 = \varphi_{i-1,i}^1(\{F_{i-1,i}^1\}, I_{i-1}^1), I_i^2 = \varphi_{i-1,i}^2(\{F_{i-1,i}^2\}, I_{i-1}^2), \dots, I_i^j = \varphi_{i-1,i}^j(\{F_{i-1,i}^j\}, I_{i-1}^j), \dots, i = (2 \div n).$$

Тогда множество целевых функций, минимизирующих ущерб от разрушения зависимостей знаний верхнего уровня от знаний нижнего уровня для n слоев, можно записать следующим образом:

$$d_{i-1,i}^{1,2}(\varphi_{i-1,i}^1, \varphi_{i-1,i}^2) \rightarrow \min, d_{i-1,i}^{2,3}(\varphi_{i-1,i}^2, \varphi_{i-1,i}^3) \rightarrow \min, \dots, \\ d_{i-1,i}^{j-1,j}(\varphi_{i-1,i}^{j-1}, \varphi_{i-1,i}^j) \rightarrow \min, \dots$$

Аналогично используя выражение (2), для множества поколений 1, 2, ..., j , ... получаем следующие зависимости знаний нижнего уровня от знаний верхнего уровня:

$$I_i^1 = \varphi_{i+1,i}^1(\{F_{i+1,i}^1\}, I_{i+1}^1), I_i^2 = \varphi_{i+1,i}^2(\{F_{i+1,i}^2\}, I_{i+1}^2), \dots, I_i^j = \varphi_{i+1,i}^j(\{F_{i+1,i}^j\}, I_{i+1}^j), i = (1 \div n-1).$$

Тогда множество целевых функций, минимизирующих ущерб от разрушения зависимостей знаний нижнего уровня от знаний верхнего уровня для n слоев, можно записать следующим образом:

$$d_{i+1,i}^{1,2}(\varphi_{i+1,i}^1, \varphi_{i+1,i}^2) \rightarrow \min, d_{i+1,i}^{2,3}(\varphi_{i+1,i}^2, \varphi_{i+1,i}^3) \rightarrow \min, \dots, \\ d_{i+1,i}^{j-1,j}(\varphi_{i+1,i}^{j-1}, \varphi_{i+1,i}^j) \rightarrow \min, \dots$$

Выводы

Серьезная проблема развития единого информационного пространства предприятия заключается в том, что состояние ЕИП крайне нестабильно, а влиять на это может множество факторов: смена поколений средств вычислительной техники; смена поколений средств разработки ИС; смена поколений разработчиков; изменение требований бизнеса; изменение законодательства страны и т.п.

С большой долей вероятности можно утверждать, что нестабильность ЕИП приводит к пересечению функциональности различных ИС на одном предприятии, и как следствие – к огромным потерям. В связи с этим суть предлагаемого исследования – разработка методологии замещения поколений слоев при минимизации разрушений связей между соседними слоями – представляется весьма актуальной.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Садыков А.М.* Проблемы создания и автоматизации управления единого информационного пространства предприятия. В сборнике: Инновации в технологиях и образовании. Сборник статей участников IX Международной научно-практической конференции. 2017. С. 162-164.
2. *Катасонова Г.Р., Сотников А.Д.* Использование методов формализации при организации единого информационного пространства предприятий. В сборнике: Компьютерная интеграция производства и ИППИ-технологии. Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции. Оренбургский государственный университет. 2017. С. 555-558.
3. *Кухаренко А.М., Анохина М.Е.* Роль единого информационного пространства предприятия в повышении эффективности бизнеса. В сборнике: Технологии информационного общества. Сборник трудов XII Международной отраслевой научно-технической конференции. 2018. С. 339-340.
4. *Лапина Т.И., Димов Э.М., Петрик Е.А., Лапин Д.В.* Управление доступом к информационным ресурсам в информационных системах. Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2018. Т. 6. № 4 (23). С. 523-534.
5. *Елисеев И.В.* Основные положения автоматного проектирования систем логического управления объектами лесопромышленного комплекса. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2007. № 178. С. 92.

6. *Елисеев И.В.* Основные положения автоматного проектирования систем логического управления объектами лесопромышленного комплекса. Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2007. №178. С. 92-95.
7. *Шифрин Б.М.* Применение SWITCH-технологии для разработки логической модели управления процессом сушки шпона. Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2008. № 185. С. 186-194.
8. *Шифрин Б.М.* Применение SWITCH-технологии для разработки логической модели управления процессом загрузки шпона. Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2009. № 186. С. 151-155.
9. *Шифрин Б.М., Елисеев И.В., Пендриков Е.С.* Синтез дискретных автоматов: учебно-методическое пособие. СПб: СПбГЛТУ, 2018. 36 с.
10. *Елисеев И.В., Шифрин Б.М., Соколова В.А.* Разработка логических систем управления технологическими процессами лесопиления пиломатериалов. Системы. Методы. Технологии. 2018. №4 (40). С. 157-162.

Борис Маркович Шифрин – кандидат технических наук, доцент кафедры математических методов в управлении СПбГЛТУ, Россия, город Санкт-Петербург, Институтский пер., д. 5, Литер У, 194021, телефон: +7 (812) 670-92-46, email: shifrinb@mail.ru.

Игорь Владимирович Елисеев – старший преподаватель кафедры математических методов в управлении СПбГЛТУ, Россия, город Санкт-Петербург, Институтский пер., д. 5, Литер У, 194021, телефон: +7 (812) 670-92-46, email: yeliseyef@yandex.ru.

Shifrin Boris Markovich – Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), associate professor of Mathematical Methods in Management Department, Saint-Petersburg State Forest Technical University, 194021, Russia, Saint-Petersburg, 5 Institutsky per. phone: +7 (921) 315-94-62, email: shifrinb@mail.ru.

Eliseev Igor Vladimirovich – Master of Technical Sciences, senior lecturer of Mathematical Methods in Management Department, Saint-Petersburg State Forest Technical University, 194021, Russia, Saint-Petersburg, 5 Institutsky per. phone: +7 (921) 315-94-62, email: shifrinb@mail.ru.

Жильникова Юлия Федоровна, Тютиков Владимир Валентинович

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИФРОВЫХ СЕЛЕКТИВНО-ИНВАРИАНТНЫХ САУ

Исследование посвящено сравнению эффективности цифровых селективно-инвариантных систем. При анализе результатов оценивалась сложность процедуры синтеза, качество компенсации постоянных и гармонических возмущений, чувствительность к вариациям параметров объекта управления и возмущающих воздействий.

Цифровая САУ, селективно-инвариантная система, синтез, эффективность.

Zhilnikova Yulia Fedorovna, Tyutikov Vladimir Valentinovich

ANALIZ OF THE EFFICIENCY OF DIGITAL SELECTIVE-INVARIANT SYSTEMS

The study is devoted to the comparison of the efficiency of digital selective-invariant systems. In the analysis of the results, the complexity of the synthesis procedure, the quality of compensation for constant and harmonic disturbances, the sensitivity to variations in the parameters of the control object and perturbing effects were estimated.

Digital ACS, selective-invariant system, synthesis, efficiency.

В последнее время возобновился интерес к синтезу селективно-инвариантных систем [1, 2]. Это связано в первую очередь с применением индивидуальных приводных устройств, упрощением или исключением кинематических передач между электродвигателем и рабочим органом, повышением требований к качеству управления технологическими объектами, а также с развитием аналитических методов синтеза и возросшими возможностями микропроцессорных средств управления.

В настоящем исследовании сравниваются цифровые варианты САУ, в основу которых положены два подхода к синтезу линейных систем управления электромеханическим объектом (рис. 1) [1, 2] селективно-инвариантных к комбинированному возмущающему воздействию вида $T(t) = T_0 + T_1 \sin(\omega t)$, где T_0 – постоянная составляющая, а T_1 и ω – амплитуда и частота гармонической составляющей возмущающего воздействия. Подходы интересны тем, что при их использовании не требуется из-

мерять возмущающие воздействия, однако необходимым условием является наличие информации о его модели.

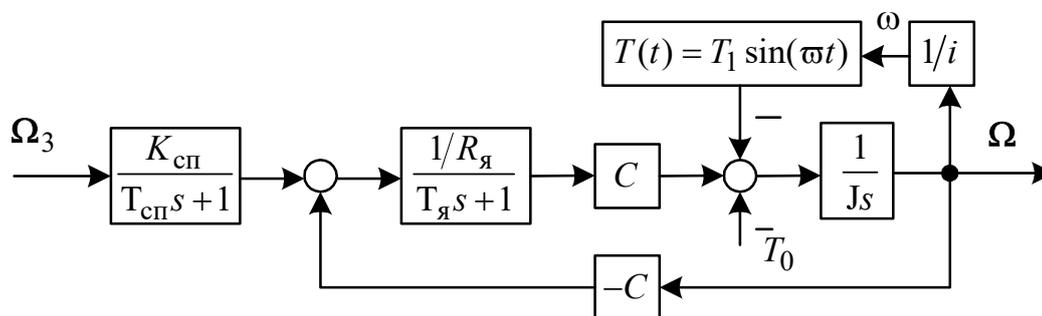


Рис. 1. Объект управления

На рис. 1: $K_{сп}$, $T_{сп}$ – коэффициент усиления и постоянная времени силового преобразователя; $R_я$, $T_я$, C , J , Ω_3 , Ω – сопротивление и постоянная времени якорной цепи, конструктивная постоянная и момент инерции, заданная и реальная частоты вращения ротора электродвигателя, i – передаточное отношение редуктора.

Задача в обоих случаях решается методом аналитического синтеза систем с управлением по выходу при использовании принципа внутренней модели возмущения. Это позволяет установить условия разрешимости задачи синтеза селективно-инвариантных систем управления, и обеспечить грубость свойства селективной инвариантности к вариациям параметров синтезируемой системы и возмущающего воздействия.

Особенностью подхода к синтезу селективно-инвариантных систем, изложенного в [1], является последовательный расчет основного $H(s) = R(s)/C(s)$ (внешнего, обеспечивающего технические требования к САУ) и вспомогательного $H_1(s) = R_1(s)$ (внутреннего) полиномиальных регуляторов (рис. 2), где $C(s)$, $R(s)$, $R_1(s)$ – полиномы соответствующих степеней. Значение параметра, определяющего быстродействие внутреннего контура управления, является результатом синтеза внешнего регулятора. Техническая реализуемость дифференцирующего регулятора $H_1(s)$ обеспечивалась добавлением в знаменатель передаточной функции малой постоянной времени T_μ .

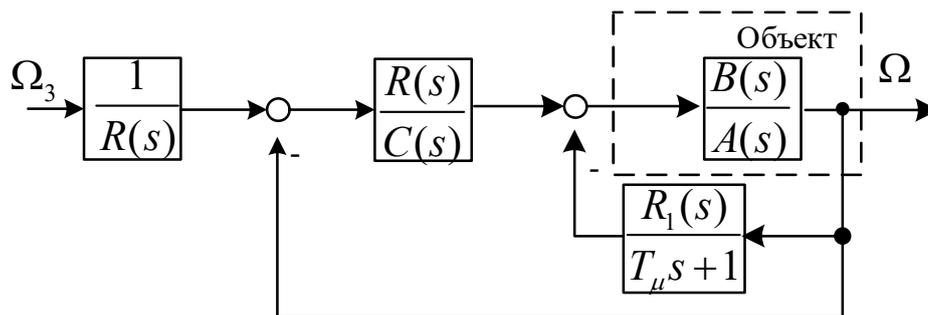


Рис. 2. Структура селективно-инвариантной САУ

Подход, изложенный в [2] предполагает реализацию управляющего устройства в виде одного динамического блока.

Математическая модель возмущения (внутренняя модель) при решении задачи синтеза, согласно теории $K(p)$ -изображений В. С. Кулебакина, принималась в виде $H(s) = s^2 + \omega^2$, где s – комплексная переменная Лапласа, ω – частота вращения рабочего органа электромеханической системы. При синтезе управляющего устройства не учитывалась малая постоянная времени $T_{\text{СП}}$ силового преобразователя.

Перевод регулятора в цифровую форму осуществлялся на основе замены оператора s конечными разностями в соответствии с формулами численного интегрирования:

- неявный и явный методы Эйлера (метод прямоугольников с избытком и с недостатком соответственно),
- билинейное преобразование Тастина (метод трапеций).

В ходе анализа результатов оценивалась сложность процедуры синтеза селективно-инвариантных систем, качество компенсации постоянных и гармонических возмущений, чувствительность к вариациям параметров объекта управления и возмущающих воздействий, к помехе в канале измерения.

Работа выполнена в рамках проектной части государственного задания Минобрнауки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Копылова Л.Г., Тарарыкин С.В. Компенсация гармонических возмущений момента нагрузки в следящих электро-механических системах и элементы структурной оптимизации регуляторов // Вестник ИГЭУ. – 2012. – Вып. 6. – С. 44–51.

2. *Гайдук А. Р.* Синтез селективно инвариантных систем управления // Вестник ИГЭУ. – 2017. – Вып. 1. – С. 46–54.

Жильникова Юлия Федоровна – магистрант кафедры «Электроника и микропроцессорные системы» Ивановского государственного энергетического университета, 153003, Россия, Иваново, ул. Рабфаковская, 34, телефон 8(4932)41-50-24.

Тютиков Владимир Валентинович – доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе Ивановского государственного энергетического университета, 153003, Россия, Иваново, ул. Рабфаковская, 34, телефон 8(4932)41-50-24.

Zhilnikova Yulia Fedorovna – master's student of the Department of electronics and microprocessor systems, Ivanovo state energy University, 153003, Russia, Ivanovo, rabfakovskaya str., 34, phone 8(4932)41-50-24

Tyutikov Vladimir Valentinovich – doctor of technical Sciences, Professor, Vice-rector for research, Ivanovo state energy University, 153003, Russia, Ivanovo, rabfakovskaya str., 34, phone 8(4932)41-50-24.

УДК 621.396

Бахчевников Валентин Владимирович

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННОГО РАССЕЙНИЯ ОТ ПОДСТИЛАЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В настоящее время контроль почвогрунтов бесконтактным способом является актуальной задачей. Проведение натурных экспериментов является экономически затратным мероприятием, что вынуждает разрабатывать имитационные модели. Известно множество методов, позволяющих рассчитывать рассеянное электромагнитное поле (ЭМП) слоистыми структурами с шероховатыми границами и залегающими объектами. Однако, до сих пор имеется потребность в модели, пригодной для быстрого инженерного моделирования прямой задачи подповерхностной радиолокации.

В рамках работы предложена имитационная модель, способная решать задачу получения реализации отраженного радиосигнала от подстилающей поверхности. Границы подстилающей поверхности представлены треугольными фацетами с известными радиолокационными характеристиками рассеяния.

Суммарное ЭМП представляется когерентной суперпозицией парциальных полей рассеяния на треугольных фацетах.

В работе представлены следующие результаты: 1) зависимости эффективной поверхности рассеяния (ЭПР) от угла излучения/приема и от частоты для верхней границы подстилающей поверхности; 2) комплексный коэффициент отражения от двухслойной распределенной цели с шероховатыми границами при разной средней толщине слоя; 3) зависимость коэффициента вариации амплитуды отраженного радиосигнала, полученного при зондировании грунтовых вод, залегающих на разной глубине.

Имитационная модель, физическая оптика, рассеяние радиоволн, подповерхностная радиолокация, подстилающая поверхность.

Bakhchevnikov Valentin Vladimirovich

RADAR SIGNAL SCATTERING BY UNDERLYING SURFACES SIMULATION

The wireless monitoring of soils is still of current interest. A conducting of the field-tests are heavy expensive, so that there is a need to develop simulation models. Many methods are known for calculations of electromagnetic fields (EMF), that scattered by complex multilayered structures. However, there is a need of the model up to now, for fast simulation of the direct subsurface sensing problem.

In this paper a simulation model is proposed. It is capable to simulate radar signal, reflected from underlying surface. The boundaries are presented by impedance triangles. Resulting EMF is a coherent superposition of partial fields scattering on triangle facets.

The paper deals with next results: 1) radar cross section (RSC) as function of sensing/receive angles and frequency for top boundary; 2) the complex reflection index for two-layered distributed aim with rough boundaries; 3) the variation coefficient for scattered radar signal amplitude from bedding of subsoil waters.

Simulation model, physical optics, radio wave scattering, subsurface sensing, underlying surface.

Введение

За последние несколько десятков лет интерес к комплексному мониторингу состояния почвогрунтов не утратил актуальности [1, 2]. В целях исследования информативных признаков в отраженном от подстилающей по-

верхности радиосигнале, необходимо проведение большого количества натуральных испытаний, что является довольно затратным мероприятием. В связи с этим на замену натурным испытаниям пришли компьютерные методы моделирования отраженного ЭМП. Известно множество методов расчета рассеянного ЭМП сложными объектами [3]. Методы вычислительной электродинамики можно разделить на два класса:

- 1) точные (низкочастотные);
- 2) приближенные (высокочастотные)

и два подкласса:

- 1) временные;
- 2) частотные.

Для волн достаточно высокой частоты можно использовать лучевую модель, значительно упрощающую задачу [4]. Низкочастотная аппроксимация также не является требовательной в плане вычислительных ресурсов [5]. Для области, в которой залегающие объекты или их компоненты имеют размер порядка длины зондирующей волны, требуется полноволновая модель [3].

Для небольших отражателей со слабым контрастом относительно среды, простейшим приближением полноволновой модели будет аппроксимация Борна [6]. Поскольку аппроксимация Борна основана на уравнениях Гельмгольца, она учитывает множество деталей рассеянной электромагнитной волны. Однако ее затруднительно использовать для слоистой среды, так как для этого необходимо вычислить функции Грина для специальной геометрии. В добавок к этому, аппроксимация Борна не работает с многократным рассеиванием в среде с множеством объектов. Отсюда следует невозможность моделирования резонансных эффектов.

Однако анализировать радиолокационные изображения для реальных сред достаточно трудоемко и точные решения в дифференциальных уравнениях (ДУ) ДУ, описывающие ЭМВ в таких средах зачастую не известны. В таких случаях отдается предпочтение численным методам.

Постановка задачи

Носитель радиолокатора подповерхностного зондирования (РППЗ) перемещается со скоростью на определенной высоте z_0 над объемно распределенной целью (ОРЦ). Основной лепесток диаграммы направленности антенны (ДНА) направлен в надир, ДНА имеет широкий основной лепесток в плоскости пролета. Излучаемый РППЗ сигнал представляет собой периодическую последовательность радиоимпульсов заданной длительности в

КВ диапазоне. Необходимо получить реализацию радиосигнала, отраженного от ОРЦ, в точке нахождения РППЗ. На рис. 1 представлена основная идея расчета в имитационной модели. Триангуляция производится методом Делоне [7].

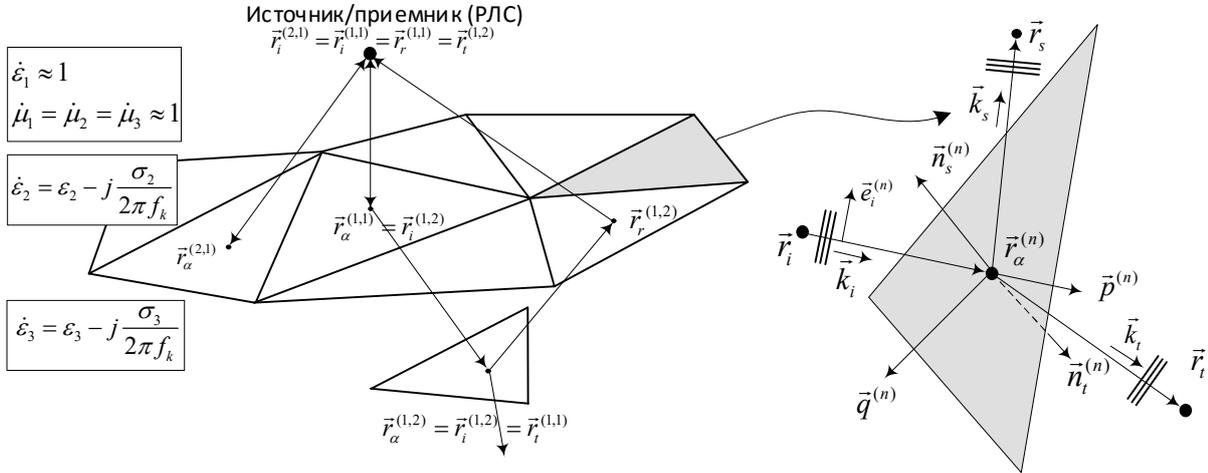


Рис. 1. Постановка задачи

Локальный базис векторов ($\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_a, \mathbf{r}_r, \mathbf{r}_t$): \mathbf{r}_i – радиус-вектор источника ЭМВ, \mathbf{r}_a – радиус-вектор facets, \mathbf{r}_r – радиус-вектор приемника ЭМВ при отражении, \mathbf{r}_t – радиус-вектор приемника ЭМВ при прохождении. $\{\vec{n}_s, \vec{p}, \vec{q}\}$ – локальный базис треугольного facets. \vec{e}_i – поляризация ЭМВ. В однослойном случае можно ограничиться только отражением от верхней границы, т.е. только векторами $\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_a$ и \mathbf{r}_r .

Имитационная модель

Выражение для полного отраженного $\mathbf{E}_s(\mathbf{r}_s)$ электрического поля (ЭП) в локальной точке приема \mathbf{r}_s базируется на интеграле Стреттона-Чу, который выводится из принципа Френеля [8]

$$\mathbf{E}_s(\mathbf{r}_s) = jk_i \sum_n \frac{E_i(\mathbf{r}_\alpha^{(n)})}{4\pi |\mathbf{r}_s - \mathbf{r}_\alpha^{(n)}|} \left[\mathbf{I} - \hat{\mathbf{k}}_s \hat{\mathbf{k}}_s \right] \left[\eta_i \hat{\mathbf{H}}_{\parallel}(\mathbf{r}_\alpha^{(n)}) + \hat{\mathbf{k}}_s \times \hat{\mathbf{E}}_{\parallel}(\mathbf{r}_\alpha^{(n)}) \right] \Phi_\alpha^{(n)}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_s), \quad (1)$$

где

$$\mathbf{E}_i(\mathbf{r}_\alpha^{(n)}) = \frac{\hat{\mathbf{e}}_i E_0}{4\pi |\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_\alpha^{(n)}|} e^{jk_i |\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_\alpha^{(n)}|}, \quad (2)$$

$E_i(\mathbf{r}_\alpha^{(n)})$ – напряженность падающего ЭП; $\hat{\mathbf{E}}_{\parallel}(\mathbf{r}_a), \hat{\mathbf{H}}_{\parallel}(\mathbf{r}_a)$ – напряженности локального тангенциального ЭМП, связаны с геометрическим расположением facets ($\mathbf{q}, \mathbf{p}, \mathbf{n}$) и коэффициентами Френеля ($R^{\text{TE}}, R^{\text{TM}}$); $\eta_i = \sqrt{\hat{\mu}_i / \hat{\epsilon}_i}$ – волновое сопротивление среды; $\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_s, \mathbf{r}_\alpha^{(n)}$ – радиус-векторы положения источника

ЭМП, n -го facets и приемника ЭМП; $\hat{\mathbf{k}}_i, \hat{\mathbf{k}}_s$ – волновые числа падающего и отраженного ЭМП; \mathbf{I} – единичный тензор. $\Phi_\alpha^{(n)}$ – фазовый коэффициент, который удобней описывать линейным приближением [9]. Выражение для прошедшего ЭП $\mathbf{E}_s(\mathbf{r}_t)$ отличается лишь наличием знака «минус» и то, что $\hat{\mathbf{k}}_s = \hat{\mathbf{k}}_i, \mathbf{r}_s = \mathbf{r}_t$.

Результаты моделирования

На рис. 2а представлены нормированные ЭПР от нормированной частоты a/λ (a – радиус сферы), полученные с помощью модели и по формулам из [10]. На рис. 2б представлены значения коэффициента вариации амплитуды отраженного радиосигнала, полученного при имитации зондирования грунтовых вод. Средняя глубина залегания грунтовых вод изменялась в пределах $\Delta h_0 = 0.25 \div 4$ м, полученные в ходе моделирования.

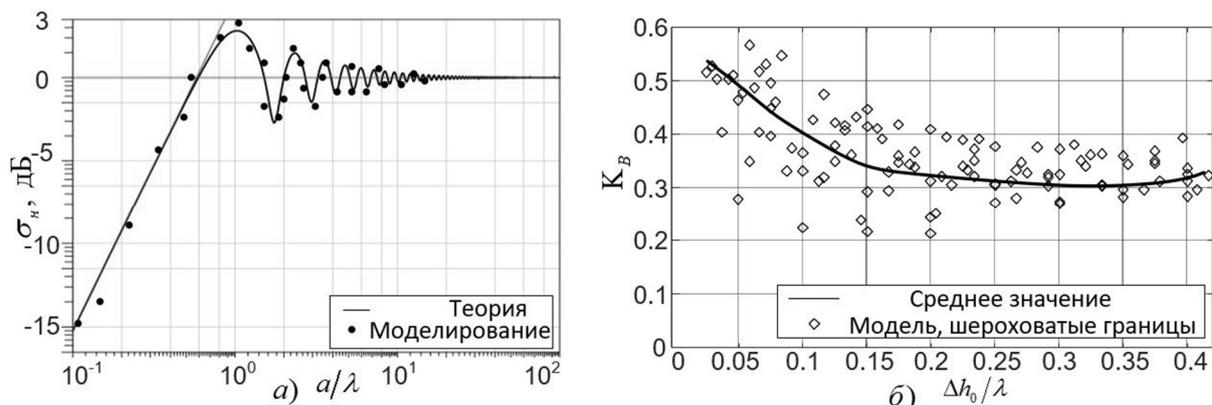


Рис. 2. Верификация: а) нормированная ЭПР для идеально проводящей сферы; б) значения коэффициента вариации амплитуды отраженного радиосигнала

Выводы

Результаты моделирования хорошо согласуются с теоретическими [10] и практическими данными [11]. Предложенная имитационная модель удобна для быстрого инженерного расчета характеристик радиолокационного сигнала, отраженного слоистыми структурами с неоднородностями и шероховатыми границами, при зондировании с летательного аппарата. Преимущества разработанной модели:

- 1) наглядность решения с возможностью демонстрации;
- 2) быстрота и простота вычислений для больших по площади целей;
- 3) расчет любого количества слоев;

- 4) возможность учета многократных переотражений между фацетами одной границы и между фацетами соседних границ слоев;
- 5) возможность учета затенения одних фацетов другими;
- 6) получение сразу ИХОП.

Так как разработанная имитационная модель прошла валидацию и верификацию, следовательно, ее можно использовать для апробирования новых алгоритмов обработки поверхностных и подповерхностных радиосигналов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Jayawickreme D. H., Jobbágy E. G., Jackson R. B.* Geophysical subsurface imaging for ecological applications //New Phytologist. – 2014. – Т. 201. – №. 4. – С. 1170-1175.
2. *Lobach V.T.* Radar measurements of layered medium parameters //Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenij. Radioelektronika 2003 45 (3), pp. 71-77.
3. *Saleh B.* (ed.). Introduction to subsurface imaging. – Cambridge University Press, 2011.
4. *Albert A., Mobley C. D.* An analytical model for subsurface irradiance and remote sensing reflectance in deep and shallow case-2 waters //Optics Express. – 2003. – Т. 11. – №. 22. – С. 2873-2890.
5. *Boissonnat J.D., Dyer R., Ghosh A.* Delaunay triangulation of manifolds //Foundations of Computational Mathematics. – 2018. – Т. 18. – №. 2. – С. 399-431.
6. *Gerekos C. et al.* A Coherent Multilayer Simulator of Radargrams Acquired by Radar Sounder Instruments //IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2018. – №. 99. – С. 1-17.
7. *Berquin Y., Herique A., Kofman W. and Heggy E.* Computing lowfrequency radar surface echoes for planetary radar using Huygens–Fresnel’s principle, Radio Sci., vol. 50, no. 10, pp. 1097–1109, 2015.
8. *Fuhs A.E., Fuhs A.* Radar cross section lectures. – American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1984. – С. 76-83.
9. Отчет по НИР «Модернизация действующего макета подповерхностного радиолокатора и проведение натуральных экспериментов по дистанционному зондированию грунтовых вод», х/д №11230, 2004г. руководитель Лобач В.Т.

Бахчевников Валентин Владимирович – аспирант, Южный Федеральный Университет, Россия, Таганрог, Некрасовский пер, 44, 347928, телефон: +79518289271, e-mail: bahchevnikov@sfedu.ru.

Bakhchevnikov Valentin Vladimirovich – Postgraduate student, Southern Federal University, Russia, Taganrog, Nekrasovsky, 44, 347928, phone: +79518289271, e-mail: bahchevnikov@sfedu.ru.

Жданова Елена Владимировна

**КОМПЬЮТЕРНЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В
ПРИКЛАДНОЙ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ СРЕДНЕГО ЗВЕНА
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ
АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ**

В докладе рассматриваются концептуальные особенности цифровых образовательных ресурсов и наиболее продуктивные компьютерные образовательные технологии в системе среднего профессионального образования на примере прикладной подготовки специалистов среднего звена по техническому обслуживанию авиационной техники. Выделяется деятельностный, практико-ориентированный и актуальный аспекты компьютерных образовательных технологий и их непосредственная роль в формировании образа профессионального «я» обучающихся.

Компьютерные образовательные технологии, цифровых образовательных ресурсов, ИКТ, практико-ориентированное обучение, среднее профессиональное образование

Zhdanova Elena Vladimirovna

**COMPUTER EDUCATIONAL TECHNOLOGIES APPLIED IN THE
PREPARATION OF MID-LEVEL PROFESSIONALS TO TECHNICAL
MAINTENANCE OF AVIATION EQUIPMENT**

The report examines the conceptual features of digital educational resources and the most productive computer educational technologies in the system of secondary vocational education on the example of applied training of middle-level specialists in

the maintenance of aviation equipment. The activity, practice-oriented and actual aspects of computer educational technologies and their direct role in the formation of the image of the professional "I" of students are highlighted.

Computer educational technologies, digital educational resources, ICT, practice-oriented training, secondary vocational education

Образовательные процессы сегодня постепенно переходят на основу компьютерных технологий, что обусловлено требованиями современного общества к конкурентноспособным специалистам, умеющим не только свободно владеть необходимыми информационно-компьютерными навыками, но и способным мобильно адаптироваться ко всем технологическим и цифровым изменениям в профессиональной области.

Еще некоторое время назад компьютерные образовательные ресурсы вызывали дискуссии и нерешительность в их глобальном применении [Волкова А.С.], так как, по мнению педагогов, «стирали границы между знанием и информацией» (Н.В.Громыко) [2]. Однако сегодня информационные технологии становятся повсеместной формой образовательного процесса (например, создание метаучебника). Исследователи отмечают, что «важнейшей предпосылкой внедрения современных ИКТ в практику общего образования» (а мы дополним и профессионального) являются «различные потребительские запросы» [3,65], то есть требования работодателя к компетенции предполагаемого будущего сотрудника предприятия.

В связи с этим одной из важнейших задач в развитии системы среднего профессионального образования является внедрение компьютерных образовательных технологий на всех этапах обучения.

Под понятием «компьютерные образовательные технологии» подразумеваются как цифровые образовательные ресурсы, так и новая образовательная модель (дистанционное обучение с помощью IT-технологий, контроль и оценка результатов обучения посредством тестовых программ, тренажеров, проектной деятельности) [4,64]. Также это понятие включает в себя все многообразие цифровых образовательных ресурсов (ЦОР) – это «представленные в цифровой форме фотографии, видеофрагменты, статические и динамические модели, объекты виртуальной реальности и интерактивного моделирования, картографические материалы, звукозаписи, символные объекты и деловая графика, текстовые документы и иные учебные материалы, необходимые для организации учебного процесса» [5]. Тем не менее, ЦОР сами по себе без педагогического воздействия и примера про-

фессионалов являются лишь вспомогательным материалом. Только в совокупности с педагогическими образовательными методами электронные и информационные технологии дают поистине достойные результаты.

Современный педагогический подход к развитию общих и профессиональных компетенций обучающихся в системе СПО требует особого внимания к самостоятельности и полному погружению в материал, чему способствует различные инновационные методы. Наиболее удачными в профобразовании можно считать: лекцию-визуализацию, которая реализуя принципы наглядности[6] и практико-ориентированности, приближает студентов к реальной действительности; метод проектов, основанный на проблемном обучении и нацеленный на «развитие познавательных навыков учащихся, умений самостоятельно конструировать свои знания, ориентироваться в информационном пространстве, развитие критического и творческого мышления» [7,120]. А цифровые образовательные ресурсы, как часть компьютерной образовательной технологии, позволяет воплотить в жизнь и презентовать самые смелые проекты современных студентов.

Это касается и подготовки специалистов по техническому обслуживанию авиационной техники в ГБПОУ РО «Таганрогский авиационный колледж имени В.М.Петлякова». Самолетостроение, как производственная область, само по себе относится к высоким технологиям, что выявляет острую необходимость внедрения информационно-технологического подхода к преподаванию знаний в этой отрасли, включающего в себя компьютерные образовательные средства.

Программа подготовки специалистов среднего звена по специальностям 24.02.01 Производство летательных аппаратов (углубленный уровень) и 25.02.01 Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей базируется уже в большей своей части на компьютерных образовательных технологиях на всех курсах обучения, что соответствует ФГОС СПО[8] и развитию соответствующих компетенций у будущих специалистов.

Преподаватели применяют на занятиях общеобразовательного и общенаучного цикла такие цифровые образовательные источники как, наборы ЦОР (электронные учебники, энциклопедии, коллекции презентаций и видеофайлов), информационные источники сложной структуры (виртуальные лаборатории, интерактивные модели). Практико-ориентированная направленность обучения насыщена программами-тренажерами, наборами компьютерных программ для обработки данных, включенных в професси-

ональные модули изучения специальности, с использованием 3D-моделирования.

Так, например, в Программе подготовки специалистов среднего звена по специальности 24.02.01 Производство летательных аппаратов предусмотрено изучение дисциплины «Информационные системы в технической подготовке производства» [9], направленное на развитие умений и навыков для управления данными NX (ранее «Unigraphics»), сохраненными в системе Teamcenter. В этом пакете масштабируемых программных решений для поддержки жизненного цикла изделий реализована возможность хранения и управления данными большинства современных САД-систем, включая Solid Edge, CATIA, SolidWorks, и др. Поэтому изучение данного курса и владение его основами выгодно выделяет студентов ГБПОУ РО «ТАВИАК» в условиях современного рынка труда.

Деятельностная постановка задачи перед обучающимися при проведении практических занятий обеспечивает инженерный подход к проблемам конструирования летательного аппарата. При этом студенты изучают как научные положения, изложенные в учебниках и лекциях, так и на практике самостоятельно организуют рабочий процесс, который реализуется при создании конкретных самолетных конструкций. При организации работ используется бригадный метод, что еще более приближает образовательный процесс к производственной действительности. В бригаде должно быть 4–7 человек с индивидуальным заданием каждому обучающемуся, ориентированным на долю ответственности за целостность выполнения всего проекта, что также отражает конвейерную систему создания деталей на производстве.

Наиболее продуктивным завершением проекта бригадной работы являются напечатанные на 3D-принтере модели деталей самолета, что позволяет обучающимся визуализировать результат своей деятельности

Подобная прикладная подготовка специалистов среднего звена по техническому обслуживанию летательных аппаратов гарантирует высокий уровень развития общих и профессиональных компетенций и их соответствие требованиям работодателя.

В целом же, применение компьютерных образовательных технологий, как инновационных прикладных методов обучения, обладает следующими важными концептуальными особенностями:

- выбор формы подачи информации всегда личностно-ориентирован;

- познавательная деятельность обучающихся носит активный характер;
- приоритетной в построении образовательного процесса является самостоятельная творческая деятельность студентов.

Ориентируясь на то, что «профессиональное образование необходимо рассматривать как формирование образа мира производства (в широком смысле) и образа своего положения в системе производства, своей профессиональной деятельности» [10,380], каждое профессиональное учебное заведение в системе СПО должно задействовать современные образовательные технологии и учитывать вектор развития производственной сферы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волкова А.С. ИКТ-инновации в современном образовании [Электронный ресурс]// <https://infourok.ru/iktinnovacii-v-sovremennom-obrazovanii-3288399.html>.
2. Громыко Н. В. Интернет и постмодернизм - их значение для современного образования // Альманах «Восток». Из выпуска: N 9\10(33\34), сентябрь-октябрь 2005 г. [Электронный ресурс]// <https://pl.b-ok.cc/book/3170855/c7e60d>.
3. Митрофанов К.Г., Зайцева О.В. Применение инновационных компьютерных технологий в сфере образования: основные аспекты и тенденции. Вестник, 2009, Выпуск 10(88), с.64-68.
4. Пащенко О.И. Информационные технологии в образовании: учебно-методическое пособие – Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. гос. ун-та, 2013 — 227 с.
5. Великанова М.А. Перспективные направления использования информационных и коммуникационных технологий в учебном процессе среднего профессионального образования (СПО) [Электронный ресурс]// <https://multiurok.ru/files/pierspiektivnyie-napravleniia-ispol-zovaniia-info.html>
6. Мешкова Н.С. Инновационные методы обучения - новые пути развития вузовского образования [Электронный ресурс]// <https://nsportal.ru/vuz/pedagogicheskie-nauki/library/2013/05/24/innovatsionnye-metody-obucheniya-novye-puti-razvitiya>.
7. Щукин Д.В. Метод проектов: педагогическая технология в образовательной среде высшей школы// Вестник Омского государственного педагогического университета. Гуманитарные исследования. 2015.№2(6), с. 120-122.

8. Федеральный государственный образовательный стандарт среднего профессионального образования по специальности 24.02.01 производство летательных аппаратов. <http://www.osu.ru/docs/fgos/spo/24.02.01.pdf>
9. Программе подготовки специалистов среднего звена по специальности 24.02.01 Производство летательных аппаратов[Электронный ресурс]// http://taviak.ru/Content/Programms_SSZ_2018/TAL.pdf
10. Цвык И.В. Компьютерные технологии в современном образовательном процессе: этический аспект// Образование в современном мире// Вестник РУДН. Серия: ФИЛОСОФИЯ, 2017.Выпуск 21(3), с. 379-388.

Жданова Елена Владимировна – Южный Федеральный Университет, Институт радиотехнических систем и управления, аспирант 2-го года обучения; г. Таганрог пер.Тургеневский д.44 347900; телефон 8-951-848-69-08; email: lendud@ mail.ru.

Zhdanova Elena Vladimirovna – Southern Federal University, Institute of radio engineering systems and management, 2nd year post-graduate student; Taganrog, 44 Turgenevsky lane; Phon: 8-951-848-69-08; email: lendud@ mail.ru.

УДК 621.396

Ильченко Андрей Вадимович

ОЦЕНКА ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ ЧАСТОТНО-МАНИПУЛИРОВАННОГО СИГНАЛА МЕТОДОМ ДРОБНОГО ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ

В работе рассмотрен метод оценки центральной частоты частотно-манипулированного сигнала с помощью дробного дифференцирования по Риману-Лиувиллю. Приведены результаты моделирования помехоустойчивости оценки центральной частоты метода с использованием дробного дифференцирования и метода с использованием преобразования Гильберта.

Частотно-манипулированный сигнал, оценка центральной частоты, дробная производная по Риману-Лиувиллю.

Ilchenko Andrey Vadimovich

THE ESTIMATE A CENTRAL FREQUENCY OF THE FREQUENCY-MANIPULATED SIGNAL WITH THE METHOD OF FRACTIONAL DIFFERENTIATION

The paper considers a method of estimating the Central frequency of a frequency-manipulated signal by means of a fractional Riemann-Liouville differentiation. The results of simulation of noise immunity of estimation of the Central frequency of the method using fractional differentiation and the method using the Hilbert transform are presented.

Frequency-manipulated signal, central frequency estimation, fractional Riemann-Liouville derivative.

Введение

Одним из условий эффективной работы радиотехнических систем является оперативное измерение частотных параметров, в частности, центральной (несущей) частоты сигналов, в реальном масштабе времени. Применение алгоритма дискретного преобразования Фурье не всегда эффективно ввиду высоких требований к скорости обработки больших объемов данных.

Таким образом, задача разработки алгоритма, обеспечивающего оценку центральной частоты в реальном масштабе времени за время наблюдения сигнала, является актуальной.

Постановка задачи

Пусть на входе радиоприемного устройства присутствует случайный процесс, представляющий собой аддитивную смесь полезного сигнала и гауссового шума, $x(t) = n(t) + s(t, l, \vec{a})$, где $n(t)$ – стационарная центрированная гауссова помеха, $s(t, l, \vec{a})$ – полезный сигнал, являющийся функцией информационного параметра l и вектора мешающих параметров \vec{a} . В качестве информационного параметра l выступает центральная частота частотно-манипулированного сигнала ω_0 .

По имеющейся реализации случайного процесса $x(t)$ на интервале наблюдения $t \in (0, T)$ необходимо получить оценку центральной частоты.

Метод решения

В настоящее время для оценки частотных параметров сигнала широко используется метод моментов [1], в соответствии с которым центральная частота определяется следующим образом:

$$\omega_0 = \frac{\int_0^\infty \omega S^2(\omega) d\omega}{\int_0^\infty S^2(\omega) d\omega}, \quad (1)$$

где $S(\omega)$ – спектральная плотность сигнала $x(t)$, ограниченного интервалом $(0, T)$.

Из теории сигналов [2-3] известно, что

$$\int_0^\infty \omega S^2(\omega) d\omega = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^\infty |\sqrt{j\omega} S(\omega)|^2 d\omega = \pi \int_0^T [D^{1/2} x(t)]^2 dt, \quad (2)$$

$$\int_0^\infty S^2(\omega) d\omega = \pi \int_0^T x^2(t) dt, \quad (3)$$

где $D^{1/2} x(t) = \mathbf{F}^{-1} \{ \sqrt{j\omega} \mathbf{F}[x(t)] \}$ – оператор дробного дифференцирования порядка 1/2; $\mathbf{F}, \mathbf{F}^{-1}$ – операторы прямого и обратного преобразования Фурье.

Подставив выражения (2) и (3) в (1), получим

$$\omega_0 = \frac{\int_0^T [D^{1/2} x(t)]^2 dt}{\int_0^T x^2(t) dt}, \quad (4)$$

В работах [4-6] был рассмотрен метод оценки центральной частоты с помощью дробного дифференцирования по Риману-Лиувиллю. Определение дробных производных по Риману-Лиувиллю приведено в [7]:

$$D^\alpha(t) = \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)} \frac{d}{dt} \int_0^t \frac{f(\tau)}{(t-\tau)^\alpha} d\tau, \quad (5)$$

где $0 < \alpha < 1$ – порядок производной; $\Gamma(x)$ – гамма функция; $f(\tau)$ – дифференцируемая функция.

Подынтегральное выражение в (5), зависящее от $(t-\tau)^\alpha$, можно рассматривать как свертку сигнала $x(t)$ с импульсной характеристикой $h(t) = 1/t^\alpha$. Тогда при $\alpha = 1/2$ из (5) получим

$$D^{1/2}(t) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{d}{dt} \int_0^t \frac{f(\tau)}{\sqrt{(t-\tau)}} d\tau, \quad (6)$$

В пакете MatLab было проведено моделирование, направленное на исследование среднеквадратического отклонения $\sigma_{\hat{f}_0}$ оценки центральной частоты \hat{f}_0 частотно-манипулированного сигнала по алгоритму (4) при различном отношении сигнал/шум q , значение которого определялось выражением

$$q = \sqrt{\frac{2E}{N_0}}, \quad (7)$$

где E – энергия сигнала; N_0 – спектральная плотность мощности гауссового шума.

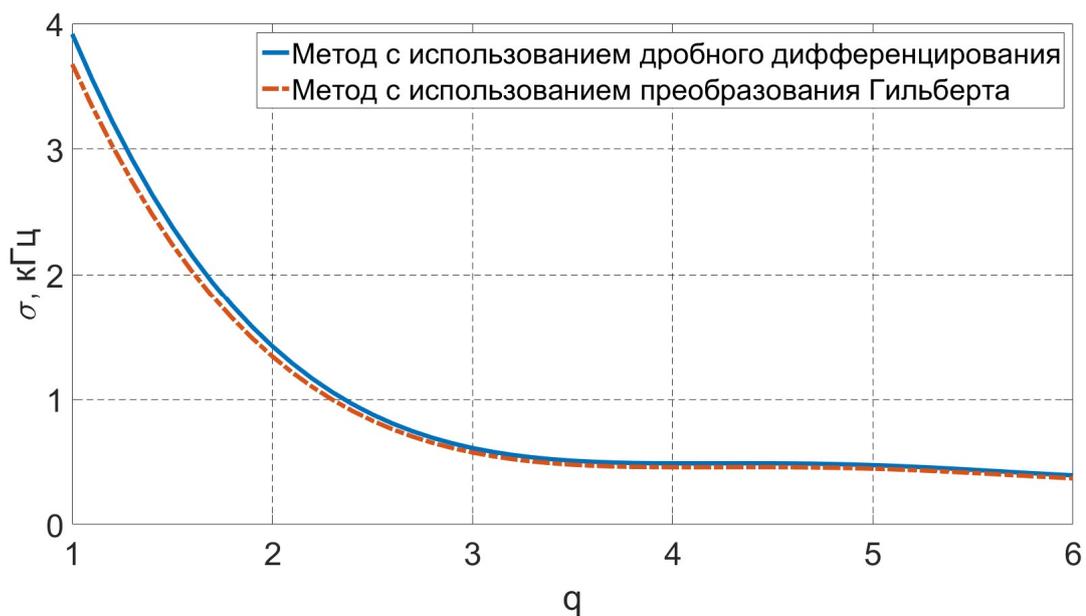
Дробная производная определялась по алгоритму (6). Центральная частота была выбрана равной 1МГц, девиация частоты – 100кГц, частота дискретизации 20МГц. Вероятностные характеристики модулирующего кода P_1 P_2 , то есть вероятность приема логической «1» или логического «0», были приняты равными. Объем выборки 1000 вариант.

На рис.1 приведены результаты моделирования помехоустойчивости оценки центральной частоты по методу с использованием дробного дифференцирования и по методу с использованием преобразования Гильберта [8-10], алгоритм которого является оптимальным и имеет следующий вид

$$\omega_0 = \frac{\int_0^T [x(t)\hat{x}'(t) - x'(t)\hat{x}(t)]dt}{2\int_0^T x^2(t)dt}, \quad (8)$$

где $\hat{x}(t) = \mathbf{H}[x(t)]$ – сопряженный по Гильберту сигнал; $\hat{x}'(t)$ – производная сопряженного по Гильберту сигнала $\hat{x}(t)$; $x'(t)$ – производная сигнала $x(t)$.

Моделирование показало, метод дробного дифференцирования уступает оптимальному (с использованием преобразования Гильберта). СКО оценки при $q = 1$ составила 0,024% относительно несущей частоты, а при $q \geq 3$ не более 0,0036%.



Заключение

Таким образом, метод оценки центральной частоты с использованием дробного дифференцирования позволяет в реальном масштабе времени без использования спектрального анализа формировать оценку центральной частоты частотно-манипулированных сигналов. При этом точность рассмотренного метода сравнима с точностью оптимального метода с применением преобразования Гильберта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Pisarenko V.F.* The retrieval of harmonics from a covariance function. *Geophys J. Rob. Astron. Soc.* 1973, p.347-366;
2. *Гоноровский И.С.* Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Радио и связь – 1986.
3. *Френкс Л.* Теория сигналов/ Перевод с англ. под ред. Д.Е. Вакмана. – М.:Сов.радио. – 1974.
4. *Захарченко В.Д., Коваленко И.Г.* Оценка радиальной скорости объектов методом дробного дифференцирования доплеровского сигнала РЛС // *Microwave & Telecommunication Technology* / Севастополь. – 2013.
5. *Захарченко В.Д., Брыжин А.А.* Использование дробного дифференцирования в задачах цифровой обработки доплеровских сигналов при оценке центра тяжести спектра // 3-я Международная Конференция DSPA-2000 / Волгоград – 2001.
6. *Казакова Е.А.* Применение дробнодифференцирующего фильтра для сверхбыстрой оценки параметров движения опасных для Земли астероидов // *Человек и окружающая среда* / Вестник ВолГУ – 2015.
7. *Самко С.Г., Килбас А.А, Маричев О.И.* Интегралы и производные дробного порядка и некоторые их приложения. Минск: Наука и техника – 1987.
8. *Pfeifer L.L.* Multiplication reduction in short-term autocorrelation. *IEEE Trans. Audio Electroacoust.* Vol.AU-21. 1973, p.556-558;
9. *Sapiano P.C., Martin J.D.* Statistical performance of the order phase difference digital instantaneous frequency estimator/ *Electron. Jett.* 1966/ Т.32, N18.P.1657-1658.
10. *Sjoberg S.* Computationally efficient estimation of the mean frequency for real-valued signals. *ASSP Spectrum estimation workshop I, Tampa, Fla,* 1983.

Ильченко Андрей Вадимович – студент, Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета; Россия, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; email: andrey.ilchenko23@yandex.ru.

Ilchenko Andrey Vadimovich – student, Institute of Radio Engineering Systems and Control, Southern Federal University; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, Russia; email: andrey.ilchenko23@yandex.ru.

УДК 681.51

Aline Ingabire

THE EFFECT OF WIND ON UNMANNED AERIAL VEHICLES

The wind affects both the longitudinal and the lateral variables of the Unmanned Aerial Vehicle (UAV) contributing to its nonlinear and due to such external disturbances the UAV can fail its mission. Therefore, this paper discusses wind effects on UAV motion.

Unmanned aerial vehicle, wind disturbances, longitudinal, lateral.

Ингабире Алин

ВЛИЯНИЕ ВЕТРА НА БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ

Ветер воздействует как на продольные, так и на боковые переменные беспилотного летательного аппарата (БПЛА), способствуя его нелинейности, и из-за таких внешних возмущений БПЛА может не справиться со своей задачей. Поэтому в данной статье рассматривается влияние ветра на движение БПЛА.

Беспилотный летательный аппарат, ветровые возмущения, продольный, боковой.

Introduction

Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) are playing a very important role in a large number of military and civilian applications since they can fly longer, faster and higher without putting people's lives in danger.

Fixed-wing UAVs are considered to have one of the most efficient aerodynamic structures [1]. Nevertheless, due to the fact that flying wings are highly sensitive to control inputs, it is difficult to design robust controller for fixed-wing UAV. The main drawback of fixed-wing UAVs is that, they don't have the ability to hover in one spot, which rules them out for any aerial photography work.

Civilian UAVs applications in different industries include: surveillance, filming, agriculture, construction, mapping, crop spraying, sports, entertainment event coverage, scientific research and exploration, emergency services, delivering goods, disaster response, etc. [2-4].

The small size and lightweight of fixed-wing UAVs can cause them to change the direction under wind disturbances. Therefore, when operating autonomous fixed-wing UAVs, it is mandatory to deal with the effects of wind that causes them to deviate in a certain direction and to operate in such environments in a safe and controlled manner [5]. It is also very essential to understand the varied wind conditions affecting position and trajectory tracking [6]. Mainly, flying in strong winds is one of the great limiting factors of fixed-wing UAVs since wind can cause them to deviate from their desired trajectories, likely leading to crashes.

The most troublesome wind conditions for fixed-wing UAVs are gusts of wind [7]. Another dangerous wind incident is wind shear (fig. 1), where there is a sudden change in headwind or tailwind resulting in changes in the lift to the UAV.

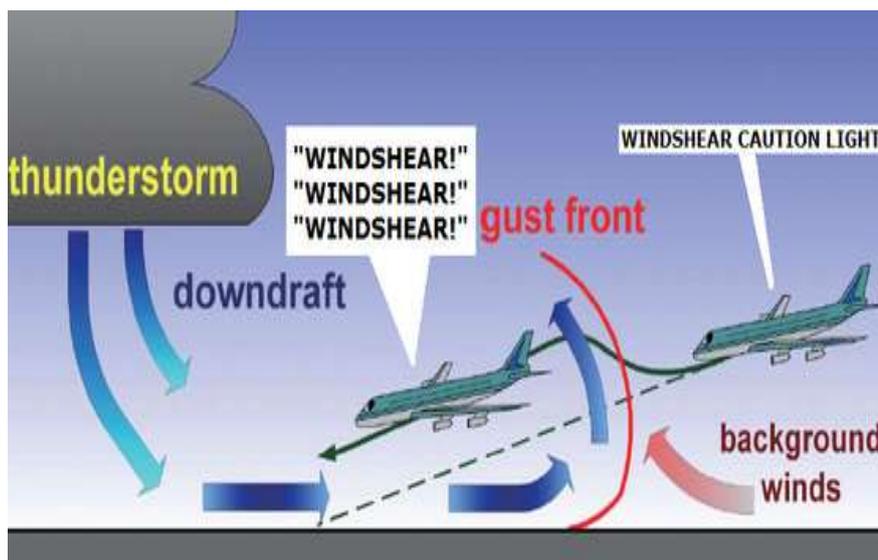


Fig.1. Wind shear

In order to avoid such undesirable situations, the control system must provide more control effort to perform particular flight maneuvers such as crosswind takeoff or landing [8].

There are two standard techniques to handle steady crosswinds [9].

- **Crab.** It balances the crosswind component by engine thrust pointing the nose of the fixed-wing UAV into the wind;

- **Sideslip.** It consists in maintaining the fixed-wing UAV heading aligned with the inertial track and correcting for wind drift with a slight bank angle (Fig.2).

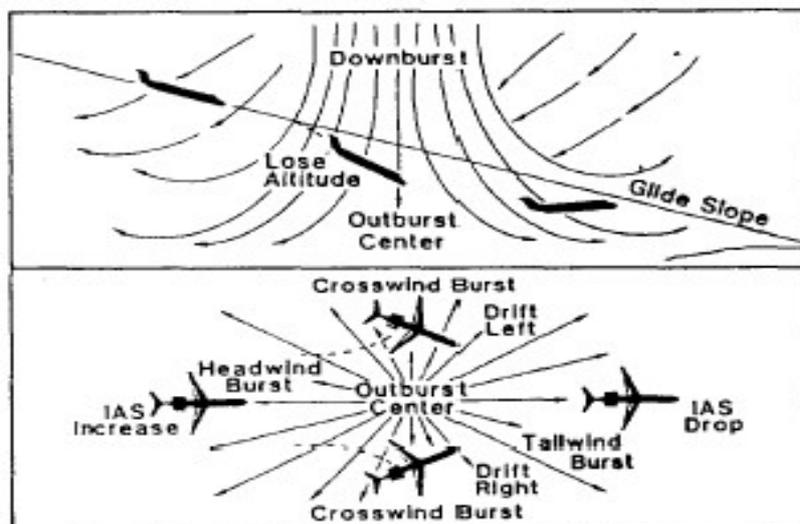


Fig.2. Crosswinds

During crosswind maneuvers, both rudder and aileron inputs are usually required. Moreover, during the landing approach, some critical flight conditions require maximum control power to consider for heavy crosswinds.

The best method to fly in the presence of wind is flying into direction of wind [10].

Fixed-wing UAV equations of motion

In order to describe the behavior of the fixed-wing UAV when flying in windy conditions, the mathematical model needs to be modified so that the wind will be incorporated in the equations of motion.

If the atmosphere is at rest, the ground speed V_g is equal to the airspeed V_a [11]. But, aircraft generally fly in the presence of wind; hence, this lead to the following equation

$$V_g = V_a + V_w, \quad (1)$$

where V_w is the wind velocity vector.

The aerodynamic forces and moments acting on the aircraft are dependent mainly on airspeed V_a , angle of attack α and side slip angle β . This implies that

$$\begin{aligned} V_a &= \sqrt{u^2 + v^2 + w^2}, \\ \alpha &= \arctan \frac{w}{u}; \\ \beta &= \arcsin \frac{v}{V_a}. \end{aligned} \quad (2)$$

The equations of motion can be separated into a longitudinal and a lateral-directional. And both longitudinal and lateral fixed-wing UAV dynamics are sensitive to wind disturbances.

Longitudinal variables

The longitudinal variables are represented by $\dot{X}_{long} = [x, z, u, w, \theta, q]^T$.

By replacing u, w by polar inertial components V_a, γ , by expressing the forces in the wind axes direction, T, D, L instead of X_b, Z_b , and by neglecting the range and the altitude and replacing θ by the angle of attack $\alpha = \theta - \gamma$ (Fig.3), it gives

$$\begin{aligned} \dot{x} &= V_a \cos \psi \cos \gamma + w_x, \\ \dot{z} &= V_a \sin \gamma + w_z, \\ \dot{V}_a &= \frac{1}{m} [T \cos \alpha - D - mg \sin \gamma], \\ \dot{\gamma} &= \frac{1}{m V_a} [T \sin \alpha + L - mg \cos \gamma], \\ \dot{\alpha} = \dot{\theta} - \dot{\gamma} &= q - \frac{1}{m V_a} [T \sin \alpha + L - mg \cos \gamma], \\ \dot{q} &= \frac{M(\delta_e)}{I_{yy}}, \end{aligned} \quad (3)$$

where γ is the air mass referenced flight path angle; w_x and w_z are the north and altitude components of the wind.

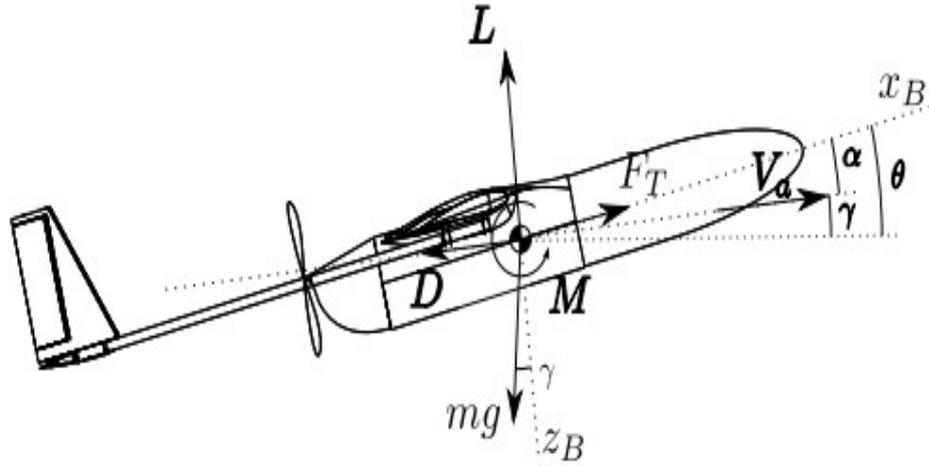


Fig. 3. Forces, moments and angles

Lateral-directional variables

The lateral-directional vector is composed of six variables $\dot{X}_{lat} = [y, v, \phi, \psi, p, r]^T$. With this, by introducing the wind parameters in nonlinear equations and by replacing the body components of the velocity v by polar inertial component β , it yields

$$\begin{aligned}
 \dot{y} &= V_a \sin \psi \cos \gamma + w_y, \\
 \dot{\beta} &= -r + \frac{1}{v_a} [g \sin \phi \cos \theta + \frac{Y_b}{m}], \\
 \dot{\phi} &= p + r \tan \theta \cos \psi, \\
 \dot{\psi} &= \frac{g}{V_a} \tan \phi, \\
 \dot{\psi} &= \frac{g}{V_a} \tan \phi, \\
 \dot{p} &= \frac{I_{zz} \bar{L}}{I_{xx} I_{zz} - I_{xz}^2} (\delta_a), \\
 \dot{r} &= \frac{I_{xx} N}{I_{xx} I_{zz} - I_{xz}^2} (\delta_r),
 \end{aligned} \tag{4}$$

where w_y is wind direction; Y_b , \bar{L} and N are the aerodynamic side force, rolling, and yawing moment respectively. The aerodynamic forces and moments are computed through their non-dimensional coefficients as

$$Y_b = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_y; \bar{L} = \frac{1}{2} \rho V^2 S b C_l; N = \frac{1}{2} \rho V^2 S b C_n. \tag{5}$$

Nomenclature

x, y, z	Positions components in geographical coordinate system
u, v, w	Velocity components in body frame

p, q, r	Rolling, pitching and yawing moments in body frame
ϕ, θ, ψ	Euler angles including pitch, roll and yaw respectively
X_b, Y_b, Z_b	Aerodynamic forces along X, Y and Z axis
L, M, N	Moments along X, Y and Z axis
$\delta_e, \delta_a, \delta_r, \delta_t$	Control surfaces: elevator, aileron, rudder and throttle
$I_{xx}, I_{xz}, I_{yy}, I_{zz}$	Products of moment inertia about body fixed X, Y and Z axis
C_y, C_l, C_n	Sideforce, rolling and yawing moment coefficients
g	Acceleration due to gravity in X, Y and Z axis
m	Vehicle weight
ρ	Air density
S	Wing area
b	Wing span

Conclusion

In this paper an analysis of how wind affects the dynamics of fixed-wing UAV has been provided. Moreover, the mathematical model of the fixed-wing UAV has been extended so that the effects of the wind on the fixed-wing UAV performance were included.

REFERENCES

1. *Valavanis K. P., Vachtsevanos G. J.* Handbook of unmanned aerial vehicles // Springer, 2015.
2. *Honrado J., Solpico D. B., Favila C., Tongson E., Tangonan G. L., Libatique N. J.* UAV imaging with low-cost multispectral imaging system for precision agriculture applications // 2017 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC) ©IEEE, 2017. © pp. 1-7.
3. *Kaleem Z., Rehmani M. H., Ahmed E., Jamalipour A., Rodrigues J. J., Moustafa H., Guibene W.* Amateur drone surveillance: Applications, architectures, enabling technologies, and public safety issues: Part 1 // IEEE Communications Magazine. © 2018. © vol. 56, № 1. © pp. 14-15.
4. *Faiçal B. S., Pessin G., Filho G. P., Carvalho A. C., Gomes P. H., Ueyama J.* Fine-tuning of UAV control rules for spraying pesticides on crop fields: An approach for dynamic environments // International Journal on Artificial Intelligence Tools. © 2016. © vol. 25, № 01. © pp. 1660003.

5. *Liu C., McAree O., Chen W.-H.* Path following for small UAVs in the presence of wind disturbance // Proceedings of 2012 UKACC International Conference on Control [IEEE], 2012. [pp. 613-618.
6. *Rodríguez L., Cobano J. A., Ollero A.* Smooth trajectory generation for wind field exploitation with a small UAS // 2017 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS) [IEEE], 2017. [pp. 1241-1249.
7. *Brezoescu A., Espinoza T., Castillo P., Lozano R.* Adaptive trajectory following for a fixed-wing UAV in presence of crosswind // Journal of Intelligent & Robotic Systems. [2013. [vol. 69, № 1-4. [pp. 257-271.
8. *Riseborough P.* Automatic take-off and landing control for small UAVs // 2004 5th Asian Control Conference (IEEE Cat. No. 04EX904). [vol. 2 [IEEE], 2004. [pp. 754-762.
9. *Al Masri M., Dbeis S., Al Saba M.* Autolanding a power-off uav using on-line optimization and slip maneuvers // Journal of Intelligent & Robotic Systems. [2017. [vol. 86, № 2. [pp. 255-276.
10. *Biradar A.S.* Wind estimation and effects of wind on waypoint navigation of UAVs // Arizona State University, 2014.
11. *Poksawat P.* Control system for fixed-wing unmanned aerial vehicles: automatic tuning, gain scheduling, and turbulence mitigation //. [2018.

Ингабире Алин – аспирантка Южного Федерального Университета, Кафедра синергетики и процессов управления, Россия, город Таганрог, ул. Чехова, 2, корпус «И», 347922, телефон: +7(9381) 06-92-81, e-mail: alineingabire0021@gmail.com.

Ingabire Aline – Ph.D. Candidate, Dept. of Synergetics and Control Processes, Southern Federal University, 347922, Russia, Taganrog, 2 Chekhov street, building "I", phone: +7 (9381) 06-92-81, email: alineingabire0021@gmail.com.

Корогодова Ирина Викторовна

**ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
РАЦИОНАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ БЕСПИЛОТНОГО
ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА**

Приведен общий обзор конструкции и технологии спроектированного беспилотного летательного аппарата типа «летающее крыло», описано применение данного типа беспилотного летательного аппарата в учебно-тренировочных целях.

Беспилотный летательный аппарат, летающее крыло, «тянущий винт», винглет, технологичность, конструкционный материал.

Korogodova Irina Viktorovna

**FEATURES OF TECHNOLOGY OF MAKING RATIONAL
CONSTRUCTIONS FROM COMPOSITE MATERIALS FOR
UNMANNED AERIAL VEHICLES**

A General overview of the design and technology of the designed unmanned aerial vehicle of the "flying wing" type is given, the application of this type of unmanned aerial vehicle for training purposes is described.

Unmanned aerial vehicle, flying wing, "pulling screw", winglet, manufacturability, structural material.

Применение беспилотных летательных аппаратов в современном мире давно стало не только развлечением для любителей авиамodelистов, но и необходимостью во многих сферах, главным образом осуществляющих контроль, начиная от военного использования до проведения мониторинговых работ в сельском хозяйстве и поддержания порядка на автомобильных дорогах.

Активное развитие и применение БПЛА вызвало необходимость в специалистах, умеющих ими управлять. Обучение, как правило, проходит в два этапа: первый обучение на симуляторах полета; второй непосредственно обучение управлением беспилотным аппаратом через очки First Person View (FPV) дословный перевод «Вид от первого лица» и дистанционный пульт управления.

В данный момент в качестве обучающего аппарата чаще всего применяют беспилотные мультикоптеры они более доступны в ценовой политике, а также, например, квадрокоптеры имеют более стабильный полет в отличие от радиоуправляемых вертолетов. [1]

Во многих вузах РФ успешно проектируют и собирают беспилотные летательные аппараты различного назначения. Нами также разработан аппарат, который может осуществлять аэрофотосъемку, вторая и не менее важная функция, по мнению разработчиков, это использование беспилотника для обучения операторов по управлению летательными аппаратами данного типа.

Учитывая второе назначение, разработчиками был сделан акцент на дешевизне изготовления и сборки, т. к. при обучении нередко БПЛА получают серьёзные повреждения и их восстановление обходится в крупные суммы.

Монокорковая конструкция позволяет разместить во внутреннем пространстве достаточное количество оборудования не только для осуществления полета, но и для выполнения других функций аппаратом. Кроме того, данный тип конструкции достаточно прост в изготовлении. Оснастка для сборки элементов конструкции изготовлена из КМКС и пенопласта на основе математической модели при помощи 3D принтера и станка ЧПУ.

В большинстве случаев материалы, используемые в конструкциях беспилотников это тканевое углеволокно, которое приобретает заданные формы и полимеризуется при помощи, безусловно, наиболее эффективного, но всё ещё дорогого технологического процесса вакуумной инфузии.

Для изготовления нашего летательного аппарата мы применяем значительно более дешёвые конструкционные материалы, заготовки из стеклопластика и пенопласта.

Ниже в табл. 1 [2] приведены сравнительные характеристики цен на некоторые конструкционные материалы и комплектующие из углеволокна и стеклопластика для авиамodelьного спорта на 2019 год.

Компоновка БПЛА представляет собой достаточно популярную для данного типа летательных аппаратов аэродинамическую схему «Летающее крыло». Двигатель расположен в носовой части фюзеляжа на пилоне. Управляющими поверхностями ЛА являются элевоны и законцовками крыла.

Таблица 1

Углепластик	Стекловолокно
-------------	---------------

материал или комплектующее	цена, руб.	материал или комплектующее	цена, руб.
Пултрузионные карбоновые детали Трубка 6,0 х 4,0 х 1150; 24гр.	337	Стеклопластиковая трубка 6х5х1000; 16,5 гр	207
Пластина углепластиковая 3К 1,5х250х500; 300гр	3995	Стеклоткань 0,1 мм "Aeroglass" 110 г/м кв (КНР), ширина 1000 мм	300
Балка F-1-A высококомодульная ТЕХТРЕМ 80 13-14 гр. ; L=810 мм (16 мм х 6,8мм)	4037	Пенопласт Rohacell RHC.31 (Германия), 30,0 х 100 х 1250 мм	2533
Лавсан металлизированный 10 мк ширина 1050 мм	105		

К особенностям компоновки относятся следующие моменты. Классическая схема расположения двигателя в беспилотной авиации «толкающий винт» заменена на «тянущий винт» для более эффективной работы рулевых поверхностей на малых скоростях. Как было сказано выше управление аппаратом осуществляется, в том числе и при помощи законцовок крыла, которые представляют собой «раскладывающиеся» винглеты. Это относительно новая разновидность давно используемых фирмой Боинг законцовок крыла. «Раскладывающиеся» винглеты фиксируются в поднятом состоянии перпендикулярно крылу при рулении и взлете-посадке, а в полете они опускаются в единую плоскость с крылом самолета. Применение данного вида винглет имеет ряд преимуществ перед ранее используемыми, это в первую очередь увеличение удлинения крыла в полете и уменьшение занимаемой площади при обеспечении стоянки и хранении, осуществление контроля по рысканью, аэродинамическое торможение без потери эффективности работы элевонов.[3]

Программное обеспечение, руководящее функционированием летательного аппарата российского производства. Проведение аэрофотосъемки, осуществляется при помощи оборудования модульного типа «Plug and

Play» (PnP). Для управления полетом, использованы широко применяемые полетные контроллеры, что также сказывается на стоимости БПЛА.

Как считают специалисты, проводящие анализ развития самолетов (беспилотников) схемы типа «летающее крыло»: при достоинстве внешней геометрической формы перед другими типами БПЛА примененная схема уступает по некоторым характеристикам аппаратам, имеющим нормальную аэродинамическую схему. Главным недостатком схемы БПЛА «летающее крыло», по мнению авиационных специалистов, является небольшое удаление плоскостей управления от центра масс, что обуславливает их низкую эффективность, делает беспилотник очень неустойчивым, рыскающим в полете. [4]

Применением «раскладывающихся» винглет увеличит путевую устойчивость, а применение недорогих материалов сделает БПЛА более доступным для коммерческого и учебно-тренировочного использования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Носов А.В.* Общий обзор беспилотного летательного аппарата типа «Летающее крыло»: <https://russiandrone.ru/publications> // Статья. – Иркутский национальный исследовательский технический университет, 27.10.2018.
2. Материалы и комплектующие для авиамodelьного спорта на 2019 год // Прайс 2019 // Таганрог (дата обращения 21.01.2019).
3. United States Patent № US 8,651,431 B1 // AIRCRAFT WITH MOVABLE WINGLETS AND METHOD OF CONTROL // The Boeing Company, Chicago, IL (US) // Date of Patent: Feb. 18, 2014.
4. *Govorkov A.S.* Technique of designing of the product of aviation technics with maintenance of the set criteria of adaptability to manufacture // Journal of International Scientific Publications: Materials, Methods & Technologies. 2011. Т. 5, № 3. С. 156–161.

Корогодова Ирина Викторовна – аспирант 2-го года обучения, кафедра летательных аппаратов Институт радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, переулок Тургеневский 44, 347900, телефон +7 (8634) 37-16-97, email: la.sfedu.ru@yandex.ru.

Korogodov Irina Viktorovna – post-graduate student 2-year student, Department of aircraft Institute of radio systems and management, southern Federal University, Rus-

sia, Taganrog, street Turgenevskaya 44, 347900, tel: +7 (8634) 37-16-97, email: la.sfedu.ru@yandex.ru.

УДК 528.944: 332.3

Позднякова Виктория Олеговна

ОБЗОР ВОЗМОЖНОСТЕЙ ВНЕДРЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПРОБЛЕМАМ ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВА И КАДАСТРА

Цель исследования состоит в обзоре возможностей внедрения и применения ГИС-технологий при осуществлении научных исследований по проблемам землеустройства и кадастра. В докладе приведены проблемы из различных областей землеустройства и кадастра, таких как природопользование, мониторинг экологических процессов и кадастровая оценка объектов недвижимости. Также указываются способы использования геоинформационных технологий для решения приведённых проблем. В результате обзора был сделан вывод о целесообразности расширения спектра научных исследований, проводимых с применением ГИС-технологий.

Геоинформационная система, дистанционное зондирование, недропользование, электронный атлас, кадастровая оценка.

Pozdnyakova Victoria Olegovna

THE FEASIBILITY OF GIS-TECHNOLOGIES DEPLOYMENT AND USE IN THE COURSE OF SCIENTIFIC STUDIES ON LAND PLANNING AND LAND REGISTRY CONCERNS REVIEW

The goal of research consists in the feasibility of GIS-technologies deployment and use in the course of scientific studies on land planning and land registry concerns. The paper encompasses concerns from different fields of land planning and land registry, such as management of natural resources, ecological processes monitoring and cadastral valuation of real estate properties. There are also specified the utilization of geoinformation technologies for the described problems solving. In consequence of the

review, the conclusion about the practicability of scientific studies, pursued using GIS-technologies, has been drawn.

Geographic information system, remote sensing, subsurface resources management, electronic atlas, cadastral valuation.

Введение

Геоинформационные системы и технологии уже давно прочно обосновались в жизни современного общества.

В самом общем понимании ГИС представляют собой инструментарий для обработки, анализа, моделирования и хранения данных, описывающих свойства точно определённых пунктов на поверхности Земли [1, с. 1037]. Их основные достоинства: возможность обработки больших объёмов данных; визуализация представления информации; автоматизированный процесс создания тематических карт; гибкость системы и простота внесения изменений; высокая точность карт, особенно полученных в следствие использования систем глобального позиционирования; реализация диалоговых справочно-консультативных систем; надёжность хранения данных, а также удобство работы с ними.

Выбранная тема является актуальной и практически значимой, так как применение ГИС-технологий при проведении землеустроительных и кадастровых работ значительно влияет на социально-экономическую сферу жизни общества путём формирования научно-методической основы эффективного использования земель и расположенных на них объектов недвижимости. Ряд преимуществ ГИС перед иными технологиями сделал их неотъемлемым элементом при проведении исследований, касающихся земли, экологии и природопользования.

Использование ГИС-технологий при осуществлении научных исследований в области землеустройства и кадастра

Одной из важных проблем является ухудшение состояния природных ресурсов и их истощение в результате интенсивного их использования, а также загрязнения окружающей среды. Собственники земельных участков, землепользователи, землевладельцы и арендаторы земельных участков должны работать над воспроизведением плодородия земель сельскохозяйственного назначения, защитой почв от различных видов эрозии, а также от зарастания деревьями, кустарниками и сорными растениями [2]. В Российской Федерации борьба с данными негативными процессами осложняется фрагментарностью земельного кадастра: в Едином государственном ре-

едре земель содержатся сведения лишь о 10% законно используемых земельных участков [3, с. 94]. Таким образом, затруднительным становится мониторинг влияния землеустроительных работ на окружающую природную среду и на состояние почв. Это, в свою очередь, сказывается на качестве охраны земель от загрязнения, истощения, деградации, порчи, уничтожения, а также на степени восстановления плодородия почв и улучшения земель.

Для устранения приведённой выше проблемы может послужить метод дистанционного зондирования поверхности Земли. Он основывается на измерении свойств объектов земной поверхности с использованием данных, полученных на расстоянии при помощи атмосферных летательных аппаратов и искусственных спутников Земли визуально или посредством регистрации и дальнейшего анализа отраженного или собственного электромагнитного излучения, а также прочих земных физических полей. Данный метод позволяет решить ряд задач: мониторинг источников и факторов антропогенного воздействия; отслеживание состояния природной среды и происходящих в ней антропогенных процессов; оценка реального состояния окружающей среды; прогнозирование и оценка изменения состояния экологии, обусловленного антропогенным воздействием [4].

Данные, полученные с помощью метода дистанционного зондирования, являются одним из источников, обеспечивающих ГИС пространственной информацией. С помощью дистанционного зондирования земной поверхности можно отслеживать, какими культурами засеваются те или иные участки, и не допускают ли владельцы или арендаторы участков зарастание их ненужной флорой, а с помощью ГИС – ежегодно наблюдать, не вредят ли действия землепользователя состоянию почвы.

Такая сфера человеческой деятельности, как недропользование, сталкивается с проблемой в области информационно-аналитического обеспечения производственной деятельности. Это связано с необходимостью обработки большого объёма геоинформации, а также с отсутствием комплексного подхода к формализации и автоматизации информационных процессов контроля, планирования, разработки программ. Геоинформационные технологии позволяют ускорить деятельность в данной сфере, сделать её эффективнее и прозрачнее. Сейчас актуальна разработка и внедрение ГИС для оперативной универсализации материалов, полученных в результате геологоразведочных работ и выдачи информации для научного анализа [5].

ГИС находят применение в мониторинге и исследовании экологических процессов в различных регионах. Они актуальны для анализа изменений климата и погоды в течение длительного временного периода, чрезвычайных явлений природного и антропогенного характера, оценки и прогнозирования экологических и социально-экономических рисков и т.д. Для реализации перечисленных выше исследований используются региональные электронные эколого-географические атласы, рассматриваемые как системы или полнофункциональные картографические сервисы, включающие картографическую или иную пространственную информацию, либо состоящие из большого количества тем и слоёв [6].

В таком разрезе геоинформационная система представляет собой систематизированный банк данных, в котором собрана информация об определённом регионе за период с начала существования данной системы до наших дней. Такая система постоянно обновляется, но в то же время имеет возможность хранить и анализировать накопленные данные и на основании этого прогнозировать будущие изменения.

Отдельным достоинством электронного атласа следует выделить его «облачную» инфраструктуру (при наличии таковой). Она способствует расширению функциональных возможностей атласа, а также возможностей пользователей при обмене ссылками на готовые веб-ресурсы, сервисы, приложения и пр. Полезным качеством такого сервиса является возможность пользователей дополнять атлас информацией различного вида представления: текстовой, графической, аудио- и видеофайлами. В качестве примера выступает Европейский Атлас морей (о морях и прибрежных районах) [7]. Актуальна и интерактивность электронных атласов, что позволяет пользователям обращаться к системе путём запросов.

Другим важным исследованием, в реализации которого используются ГИС-технологии, является кадастровая оценка недвижимости. При этом определяется рыночная стоимость данного объекта, если в нормативно-правовом акте, регулирующем оценку данного объекта не указано иное. Под рыночной стоимостью объекта оценки понимается наиболее вероятная цена, по которой данный объект оценки может быть отчужден на открытом рынке в условиях конкуренции, когда стороны сделки действуют разумно, располагая всей необходимой информацией, а на величине цены сделки не отражаются какие-либо чрезвычайные обстоятельства [8].

На рыночную стоимость могут повлиять следующие факторы: местоположение объекта недвижимости; его тип землепользования; рыночная

конкурентоспособность; возможные варианты застройки; финансовая оценка возможной прибыли; индивидуальные особенности объектов оценки [9].

При таком обилии параметров становится затруднительным учёт всех из них. В данном случае актуальным будет применение геоинформационной системы в сочетании с нейронной картой Кохонена, отображающей n-мерное признаковое пространство в 2-мерное графическое отображение. Это позволяет учесть динамику рынка недвижимости и отразить имеющиеся закономерности в условиях отсутствия репрезентативных данных. Обучение карты производится методом приближений по определённому алгоритму, в результате чего строится карта. В ней походящим объектам исходного пространства соответствуют соседние узлы. Происходит группировка похожих объектов исходного пространства. Карта Кохонена становится одним из информационных слоёв в географической информационной карте. После этого построенная карта анализируется и делается вывод о значимости характеристик в ценообразовании объектов недвижимости [10].

Использование ГИС с подобным дополнением значительно облегчает задачу проведения кадастровой оценки объектов недвижимости, позволяя при этом учесть все необходимые параметры ценообразования. Это, в свою очередь, повышает вероятность того, что анализ наиболее эффективного использования объектов недвижимости будет проведён максимально точно.

Выводы

Использование геоинформационных систем особенно важно для мониторинга, контроля и прогнозирования состояния природной среды. Такой подход к защите и охране земель от истощения мог бы значительно повысить урожайность грунтов, а также снизить количество деградировавших почв, нуждающихся в консервации. Также данные технологии применимы в недропользования. Они способствуют переходу производственной деятельности в этой сфере на качественно новый уровень. ГИС применяются и для создания электронных атласов, которые актуальны не только для узкопрофильных специалистов в области экологии, геологии, природопользования и пр., но и для широких слоёв населения, желающих расширить свой кругозор. Учёт большого числа параметров при кадастровой оценке объектов недвижимости с помощью геоинформационных технологий упрощается и становится более точным и эффективным. Таким образом, есть основания предполагать, что в дальнейшем научные исследования с использо-

ванием ГИС-технологий будут всё активнее проводиться в различных сферах человеческой деятельности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Goodchild M.F.* Geographic information systems and science: today and tomorrow // *Procedia Earth and Planetary Science*. – 2009. – № 1. – P. 1037–1043.
2. Земельный кодекс Российской Федерации от 25.10.2001 № 136-ФЗ (ред. от 25.12.2018) // СЗ РФ. 2001. № 44. Ст. 13.
3. *Аксёнова Е.Г., Гаранова М.В.* Актуальные проблемы землеустройства и кадастра // *Экономика и экология территориальных образований*. – 2017. – № 1. – С. 93–95. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/aktualnye-problemy-zemleustroystva-i-kadastra> (дата обращения: 30.03.2019).
4. *Киселевская К.Е.* Применения метода дистанционного зондирования Земли для экологического мониторинга // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2009. – № 1. – С. 188–190. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniya-metoda-distantsionnogo-zondirovaniya-zemli-dlya-ekologicheskogo-monitoringa> (дата обращения: 30.03.2019).
5. *Сапьяник С.В.* Геоинформационные ресурсы на службе недропользования // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. – 2010. – № 1-3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/geoinformatsionnye-resursy-na-sluzhbe-ne-dropolzovaniya> (дата обращения: 30.03.2019).
6. *Токарчук С.М., Токарчук О.В., Трофимчук Е.В.* Методические основы создания региональных электронных эколого-географических атласов // *Псковский региональный журнал*. – 2015. – № 22. – С. 95–110. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodicheskie-osnovy-sozdaniya-regionalnyh-elektronnyh-ekologo-geograficheskikh-atlasov> (дата обращения: 30.03.2019).
7. *European Atlas of the Seas: learn more about seas and coasts* URL: http://ec.europa.eu/maritimeaffairs/atlas/index_en.htm (дата обращения 10.03.2019).
8. Федеральный закон от 29.07.1998 № 135-ФЗ (ред. от 03.08.2018) «Об оценочной деятельности в Российской Федерации».
9. *Крутеева О.В.* Учёт индивидуальных особенностей земельных участков при оценке земель // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. – 2016. – № 1-6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/uchet-individualnyh-osobennostey-zemelnyh-uchastkov-pri-otsenke-zemel> (дата обращения: 30.03.2019).

10. Суховский С.Ф., Петкова Н.В. Нейронные карты Кохонена и возможности ГИС-технологий в оценке недвижимости // Экология, экономика, информатика. Сборник статей: в 3 т. – 2015. – С. 291–293.

Позднякова Виктория Олеговна – студентка кафедры информационных измерительных технологий и систем Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, ул. Шевченко, 2, тел.: +7 (8634) 37-17-67, email: pozdnyakova.vika2011@yandex.ru.

Pozdnyakova Victoria Olegovna – a student of the Department of Information Measuring Technologies and Systems Southern Federal University, 347900, Russia, Taganrog, 2 Shevchenko street, phone: +7 (8634) 37-17-67, email: pozdnyakova.vika2011@yandex.ru.

УДК 681.3.06

Приказнова Анна Евгеньевна

АНАЛИЗ ОРГАНИЗАЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ВЕДЕНИЯ КАДАСТРА ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАН

Цель исследования заключается в анализе кадастровых систем зарубежных стран. В ходе исследования делаем вывод, что сведения, получаемые вследствие проведения земельного кадастра, неразрывно связаны с понятиями учета, оценки стоимости земельных ресурсов, оценки состояния и возможности использования по тому или иному назначению, а также приводим различия в понятиях земельного кадастра, его организационной структуре, содержании и способах ведения.

Земельный кадастр, мировые кадастровые системы, регистрация земельных участков.

Prikaznova Anna Evgenievna

ANALYSIS OF THE ORGANIZATION AND TECHNOLOGY OF CADASTRE OF FOREIGN COUNTRIES

The purpose of the study is to analyze the cadastral systems of foreign countries. In the course of the study, we conclude that the information obtained as a result of the

land cadastre is inextricably linked to the concepts of accounting, valuation of land resources, assessment of the state and the possibility of use for a particular purpose, as well as provide differences in the concepts of land cadastre, its organizational structure, content and methods of maintenance.

Land cadastre, world cadastral systems, land registration.

Введение

На сегодняшний день тема «Организации и технологии ведения кадастра» достаточно актуальна. Это связано с тем, что сведения кадастрового учета в большинстве стран мира оказывают большое влияние на общую землеустроительную политику страны, поэтому максимально точные сведения о размерах и состоянии земельных ресурсов чрезвычайно важны, а отсюда повышенное внимание к кадастровому учету.

Основная часть

Правовое регулирование ведения кадастрового учета во многих государствах отличается, но принципиально системы можно разделить на несколько основных типов:

- наполеоновская;
- немецкая;
- англоязычная;
- скандинавская.

	Наполеоновская Система	Немецкая система	Англоязычная система	Кадастр Северной Европы	РФ
Основное ведомство, осуществляющее кадастровую деятельность	Министерство финансов и экономики	Австрия: обслуживаются окружными судами, 41 кадастровым управлением на местах	Земельный регистр. Бюро земельного управления	Централизованный государственный орган, провинциальные чиновники.	Росреестр

тель- ность					
Обь- ект	Реестр прав и кадастро- вые карты	Поземельные книги и ка- дастр	Отсутствует единство ве- дения кадаст- ровых систем	Кадастр	Государ- ственный кадастро- вый учет
Цель	учет и сбор сведений для расчета налогов, формирую- щихся по земельным участкам	определение и установление прав на от- дельные зе- мельные участ- ки.	сбор и актуа- лизация ин- формации о земле иной недвижимо- сти для их оценки и об- ложения налогом.	идентифика- ция каждого конкретного участка и контроль	системати- зация ра- боты по управле- нию, охране и регистра- ции прав на землю, деятельно- сти по зем- лепользо- ванию, земле- устрой- ству, вла- дением и распоря- жением землей.

Таким образом, в данной работе мною проанализированы кадастровые системы различных стран, выявлены характерные их особенности, а также общие свойства, присущие всем системам. Результат моего анализа в виде таблицы. Как видно из таблицы в современном мире, в отдельных странах и сообществах, огромное значение имеет соотношение между земельной собственностью и экономическим развитием. В этой связи знание реальной собственности и географических, топографических условий местности играет большую роль для процесса перспективного развития стран и сообществ.

Несмотря на различия кадастровых информационных систем, в том числе содержащихся в них данных, они используются с целью налогооб-

ложения, а также для информационного обеспечения органов управления необходимой информацией.

Кадастр в России

Кадастровая система Российской Федерации с 1 января 2017 года представляет собой Единый государственный реестр недвижимости. ЕГРН - это Федеральный государственный информационный ресурс. Он выполняет следующие функции: государственная регистрация прав на недвижимое имущество и сделок с ним, государственный кадастровый учет недвижимого имущества, ведение государственного реестра недвижимости, предоставление сведений, содержащихся в едином государственном реестре недвижимости. Ведение ЕГРН осуществляет Росреестр и подведомственная ему Федеральная Кадастровая Палата Росреестра. Территориальные органы Росреестра и филиалы ФГБУ ФКП Росреестра расположены в каждом субъекте РФ. Их деятельность регламентирована едиными правилами, установленными ФЗ «О государственной регистрации недвижимости» от 13.07.2015 №218-ФЗ

Выводы

Таким образом, в данной работе мною проанализированы кадастровые системы различных стран, выявлены характерные их особенности, а также общие свойства, присущие всем системам. Результат моего анализа представлен в виде таблицы. Как видно из таблицы в современном мире, в отдельных странах и сообществах, огромное значение имеет соотношение между земельной собственностью и экономическим развитием. В этой связи знание реальной собственности и географических, топографических условий местности играет большую роль для процесса перспективного развития стран и сообществ.

Несмотря на различия кадастровых информационных систем, в том числе содержащихся в них данных, они используются с целью налогообложения, а также для информационного обеспечения органов управления необходимой информацией.

Земельный кадастр за рубежом, включает в себя не только технические действия, но и определенный земельно-кадастровый процесс, связанный с регистрацией земельных участков и иных объектов недвижимого имущества и сделок с ним. Также подводя итог исследования можно прийти к выводу, что надежность кадастровой системы Российской Федерации обеспечивается наличием единого уполномоченного органа власти, который осуществляет регистрацию прав и кадастровый учет.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Базавлук В.А.* Земельные отношения и землеустройство: учебное пособие / В.А. Базавлук, А.В. Базавлук, С.В. Серяков. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. - 246 с.
2. *Волкова С.Н.* Управление земельными ресурсами, земельный кадастр, землеустройство и оценка земель (зарубежный опыт) / С.Н. Волкова, В.С. Кислова. - М.: Технология ЦД, 2003. - 378 с.
3. Кадастр за рубежом URL: <http://zembr.ru/index.php/stati/kadastr/263-kadastr-zarubezhom> (дата обращения: 26.03.2019)
4. *Вараксин Г.С., Мезина А.Д.* Землеустройство, кадастр и мониторинг земель Вестник КрасГАУ. 2012. № 10 с.63-66
5. *Хабарова И.А., Хабаров Д.А., Дерябина О.П.* Кадастровые и регистрационные системы в России и за рубежом Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral» №4 2018 с.120-128
6. *Хабарова И.А., Хабаров Д.А., Чугунов В.А., Кожевников В.А.* Анализ нормативно – правового регулирования кадастровых работ «Московский экономический журнал» №4/2018. 2018. – 13 с.
7. *Хабарова И.А., Дручинин С.С.* О толковании понятия «кадастр»// Сборник Славянский форум, № 1 2017, с.274-282.
8. Земельный кадастр за рубежом URL: <http://oplib.ru/random/view/646411> (дата обращения: 29.03.2019).
9. Кадастровые системы Западной Европы URL: https://studwood.ru/1788821/agropromyshlennost/kadaastrovye_sistemy_zapadnoy_evropy (дата обращения: 29.03.2019).
10. Земельное отношение и кадастры в Древнее время URL: <https://cyberpedia.su/13xe38b.html> (дата обращения: 16.03.2019).
11. Классификация кадастров. Зарубежный опыт ведения кадастра-2 часа <http://e.120-bal.ru/geografiya/30037/index.html> (дата обращения: 4.04.2019).

Приказнова Анна Евгеньевна – студент группы ЭПб03-5 ИНЭП, Южного Федерального Университета, Россия, город Таганрог, улица Шевченко 2, , телефон: +7 (951) 523-40-65, email: prikaznova@sfedu.ru.

Prikaznova Anna Evgenievna– student of EPB group o 3-5 INEP, Southern Federal University, Russia, Taganrog, Shevchenko street 2, , phone: +7 (951) 523-40-65, email: prikaznova@sfedu.ru.

УДК 681.3.06.

Репенко Екатерина Александровна

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Туризм является одной из традиционных областей применения геоинформационных технологий. В нашей стране их обычно используют для подготовки туристских карт, буклетов и другой электронной и печатной продукции, содержащей карты и схемы.

Целью является исследование структурных элементов и создание геоинформационной системы для развития туризма в Ростовской области.

Задачами, поставленными в докладе являются обзор существующих программных средств для решения задач туризма; разработка интерактивной карты; создание базы данных об туристических объектах и их туристическом потенциале.

Выводы: для того, чтобы ГИС была эффективным средством для управления туризмом она должна иметь открытый доступ и постоянно обновляться.

Геоинформационная система (ГИС), рекреационные ресурсы, туризм, Ростовская область.

Repenko Ekaterina Alexandrovna

GEOINFORMATION SYSTEM OF TOURISM AND RECREATION RESOURCES OF THE ROSTOV REGION STRUCTURE RESEARCH AND DESIGN

Tourism is one of the traditional applications of geoinformation technologies. In our country, they are usually used for the preparation of tourist maps, booklets and other electronic and printed products containing maps and charts.

Goal : creation of geoinformation system for tourism development in Rostov region.

Tasks:

- analysis of the existing systems;*
- development of an interactive map;*

- *creation of a database on tourist sites and their tourism potential.*

Conclusions: for GIS to be an effective tool for tourism management, it needs to be accessible and continuously updated.

Geoinformation system(GIS), recreational resources, tourism, Rostov region.

Введение

Использование ГИС для развития туризма актуально при анализе возможностей рекреационно-курортного и туристского комплекса региона и служит источником получения достоверной информации специалистам в вопросах принятия решений и организации сферы туризма.

Цель исследования заключается в разработке геоинформационной системы для управления туризмом в Ростовской области.

Объект исследования – рекреационно-курортный и туристский комплекс Ростовской области.

Предмет исследования – картографирование сферы туризма региона.

Ростовская область обладает умеренно-континентальным климатом, богатой историей, разнообразным ландшафтом, а также многообразной флорой и фауной. Площадь природно-заповедной зоны составляет более 10% от общей площади области. К водным ресурсам Ростовской области относится река Дон, Таганрогский залив Азовского моря, 250 пойменных озера, а также известное Цимлянское водохранилище. На территории области имеется заповедник общегосударственного значения «Донской», Государственный биосферный заповедник «Ростовский», 14 орнитологических зон, а также многочисленные памятники природы местного и регионального значения. Все это в совокупности делает Донской край очень привлекательным для развития рекреационного туризма. [1]

Геоинформационные технологии позволяют путешествовать с комфортом, быстро находить актуальную информацию об культурно-исторических и природных объектах, гостиницах, и массовых мероприятиях.

Также ГИС в туристическо-рекреационном комплексе используется для:

- территориального планирования парков, спортивных объектов, зон отдыха и пр.;
- составления карт, атласов, путеводителей, информационных материалов для туристов;

- проектирования инженерной и транспортной инфраструктуры туристических зон;
- управления и мониторинга состояния туристических зон, управления в чрезвычайных ситуациях и обеспечение безопасности;
- инвентаризация и паспортизация объектов паркового хозяйства;
- экологический мониторинг.

Геоинформационное обеспечение для развития туризма – это создание геоинформационной системы, включающей в себя интерактивную карту, а также базу данных о туристических объектах и их туристическом потенциале. [2]

Для того, чтобы ГИС была эффективным средством для развития туризма она должна быстро и оптимально решать возникающие проблемы на основе анализа и прогноза. Она должна быть интерактивна, то есть иметь действующие ссылки, оперативное обновление информации и выполнять аналитические функции. На интерактивной карте региональной ГИС можно отображать приоритетные туристские районы для развития туризма, осуществлять туристскую специализацию

- быстрый и ведомственно распределенный доступ к картографической и атрибутивной информации;
- возможность корректировки и обновления информации [3,4].

Анализ ГИС, разработанных в различных регионах страны, убедительно показывает, что в России в среде географической науки оформилась и получила широкое развитие научно-практическая деятельность по использованию геоинформационных систем в туризме с целью его планирования и мониторинга. [5]

Изучение имеющихся ГИС таких, как «ГИС-Туризм» в Кировской области, Загатайский заповедник в Азербайджанской Республике, Национальный парк «Куршская коса», историко-культурная геоинформационная система Болгарского городища, ГИС «Чемал» показывают, что подходы к созданию туристической ГИС различны.

По Ростовской области тоже создана геоинформационная система <https://gisro.donland.ru/#>, которая была взята за основу при разработке моей системы. Но действующая система не отражает наглядно где находится тот или иной объект. В среде AutoCAD 2016 была разработана карта Ростовской области с добавлением на нее ссылок на крупные туристско-рекреационные ресурсы региона. На рис. 1 представлена разрабатываемая система с активными ссылками на различные туристические объекты.

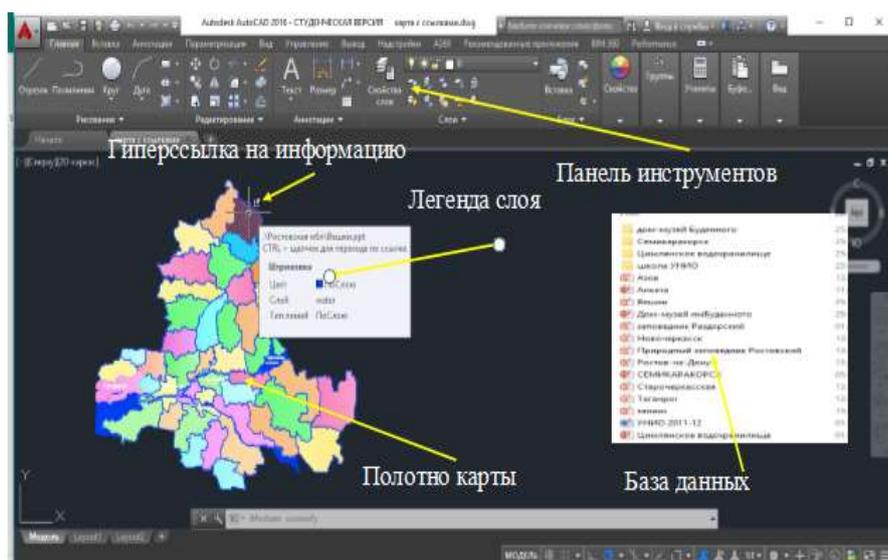


Рис.1. Туристско-рекреационная система Ростовской области

В дальнейшем планируется создание различных тематических слоев:

- «Схема железных и автомобильных дорог»;
- «Схема пляжей и мест отдыха на побережье рек и водоемов»;
- «Памятники природы»;
- «Рекреационные объекты»;
- «Заповедники, заказники и национальные парки на территории области»;
- «Историко-культурные и архитектурные достопримечательности»

а также отели, гостевые дома и места общественного питания. [3]

На основании статьи Макаров В.З // К созданию географической информационной системы "Рекреация и туризм в Саратовской области" была разработана схема организации туристско-рекреационной ГИС рис. 2 [3].



Рис. 2. Схема организации туристско-рекреационной ГИС

В статье Ушаковой Е.О «Эффективность внедрения геоинформационных систем управления региональными ресурсами развития туризма» подробно рассматриваются актуальные проблемы при создании геоинформационной системы для развития туризма такие как:

- сбор информации и оценка туристских ресурсов и объектов;
- туристское районирование;
- паспортизация туристских территорий;
- формирование баз и банков данных;
- определение туристской специализации территории [4].

Вывод. Туристско-рекреационная структура ГИС Ростовской области будет источником распространения объективной, полной и достоверной информации о туристско-рекреационном потенциале региона. Она позволит быстро и эффективно решать задачи, связанные с туризмом, но для этого она должна быть в открытом доступе и постоянно обновляться. Что поспособствует повышению конкурентоспособности и позволит вывести туризм Ростовской области на более высокий уровень

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бадалянец С.В. К вопросу о туристическом потенциале Ростовской области// Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №4(2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/59E VN417.pdf> (доступ свободный) <https://cyberleninka.ru/article/v/k-voprosu-o-turistskom-potentsiale-rostovskoy-oblasti> (дата обращения 29.03.2019).

2. *Барлиани И.Я.* Использование геоинформационных систем в туристическом бизнесе. <https://cyberleninka.ru/article/v/ispolzovanie-geoinformatsionnyh-sistem-v-turisticheskom-biznese> (дата обращения 29.03.2019).
3. *Макаров В.З.* К созданию географической информационной системы "Рекреация и туризм в Саратовской области". http://ogis.sgu.ru/ogis/gis_otd/publ2.htm (дата обращения 29.03.2019).
4. *Ушакова Е.О.* Эффективность внедрения геоинформационных систем управления региональными ресурсами развития туризма. <https://cyberleninka.ru/article/v/effektivnost-vnedreniya-geoinformatsionnyh-sistem-upravleniya-regionalnymi-resursami-razvitiya-turizma> (дата обращения 29.03.2019).
5. *Вишневецкая Е.В.* Актуальные проблемы использования гис в развитии регионального туризма белгородской области. Журнал Фундаментальные исследования. – 2012. – № 3 – С. 177-180 <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=29362> (дата обращения 29.03.2019).
6. *Ротанов А.Ю.* Электронный путеводитель по Новосибирскому зоопарку «Зоопарк Нск». Журнал ArcReview ГИС в горном деле и геологии № 3 (74) за 2015 год https://www.esri-cis.ru/news/arcreview/detail.php?ID=22435&SECTION_ID=1081 (дата обращения 29.03.2019).
7. *Чернова И.Ю.* Создание историко-культурной геоинформационной системы Болгарского городища. Журнал ArcReview ГИС: Теория и практика. ArcGIS 10.1 №3 (62) за 2012 года https://www.esri-cis.ru/news/arcreview/detail.php?ID=7806&SECTION_ID=252 (дата обращения 29.03.2019).
8. *Смирнов А.А.* Разработка содержания и оформления карты-схемы функционального зонирования национального парка «Куршская Коса». Журнал ArcReview GIS ГИС ГИС №4 (51) за 2009 год https://www.esri-cis.ru/news/arcreview/detail.php?ID=1023&SECTION_ID=30 (дата обращения 29.03.2019).
9. *Пономарев А.А.* Применение ГИС-технологий в работах по развитию г.Сочи как горноклиматического курорта. Журнал ArcReview ГИС в меняющемся мире №4 (55) за 2010 год https://www.esri-cis.ru/news/arcreview/detail.php?ID=876&SECTION_ID=26(дата обращения 29.03.2019).
10. *Хамадеева З.А.* Роль геоинформационных систем в развитии туристского рынка республики башкортостан. <https://cyberleninka.ru/article/v/rol->

[geoinformatsionnyh-sistem-v-razvitii-turistskogo-rynka-respubliki-bashkortostan](#)(дата обращения 29.03.2019).

Репенко Екатерина Александровна – студент группы ЭПб03-5, Институт нанотехнологий, электроники и приборостроения, Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Шевченко 2,347922, телефон +7 (904)-346-06-60, email: repenko.katya@mail.ru.

Repenko Ekaterina Alexandrovna – student of Epб03-5 group, Institute of nanotechnology, electronics and instrumentation, Southern Federal University, Russia, Taganrog, Shevchenko 2 street ,347922, phone +7 (904)-346-06-60, email: repenko.katya@mail.ru.

УДК 621.396.98

Сытенский Василий Дмитриевич

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ В КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ

В работе приводятся результаты синтеза и анализа радиально-базового амплитудного метода пассивной локации. Рассматривается возможность его применения для определения местоположения источников излучения электромагнитных и гравитационных волн, находящихся в космическом пространстве, а также для подтверждения или опровержения теории большого взрыва.

Пассивная локация, радиально-базовый метод, дальность, направление, погрешность, среднеквадратическое отклонение.

Syten'ky Vasilij Dmitrievich

DETERMINING THE LOCATION OF SOURCES OF RADIATION IN THE OUTER SPACE

The paper presents results of the mathematical synthesis and analyses of the radial basic method of passive location. The author deals with the use of the method for locating sources of electromagnetic and gravitational waves in the outer space, as well as for confirmation or refutation of the Big Bang Theory.

Введение

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 [1]. Расстояния до Луны, астероидов и планет солнечной системы с высокой точностью определяются также методами радиолокации [2]. С помощью угломерного принципа измеряются расстояния, не превышающие 100 парсек (пк). Расстояния до более далеких звезд, находящихся в удалении до 500 мегапарсек (Мпс), в астрономии определяют в основном фотометрическим методом. При больших расстояниях до ИИ (> 1000 Мпк) вследствие красного смещения - "покраснения" далеких источников излучения, отражающего расширение Вселенной, используется эффект Доплера.

К уже имеющимся методам предлагается к рассмотрению радиально-базовый метод (РБМ) [3], основанный на закономерном затухании электромагнитных колебаний источников излучения при их распространении в пространстве. В этом случае функциональные связи измеряемых параметров ЭМК (амплитуда, мощность) с искомыми навигационными параметрами описываются дробно-рациональными функциями, что позволяет применить соответствующую методику обработки результатов и оценить погрешность определения координат ИИ.

Основная часть

Для получения метода определения дальности источника излучения воспользуемся утверждением [4].

Утверждение: Если измеренное значение функции U связано обратно пропорциональной зависимостью с искомой величиной H , находящейся в степени $n \neq 0$ (n - любое), при постоянном значении числителя W , т.е. как $U = W/H^n$, то H находится из выражения

$$H = \Delta H \frac{U_2^{\frac{1}{n}}}{U_1^{\frac{1}{n}} - U_2^{\frac{1}{n}}}, \quad (1)$$

где ΔH – известное приращение H , U_1 – значение функции до введения ΔH , U_2 – значение функции после введения ΔH .

Разработка метода пассивной локации: Известно, что изменение напряженности поля источника излучения, а также его плотности потока энергии, связаны обратно пропорциональной зависимостью с расстоянием до приемного пункта, измеряющего эти параметры поля [5], т.е.

$$A_1 = \frac{\sqrt{W} \cdot G_1}{4\pi R}, \quad P_1 = \frac{W \cdot G_1}{4\pi R^2} \quad (2)$$

где A_1 – напряженность поля излучателя в точке приема; W – мощность источника излучения; G_1 – коэффициент усиления антенны приемного устройства; R – расстояние от источника излучения до точки приема; P_1 – плотность потока энергии (мощность) поля излучателя в точке приема.

Расположим два приемника на известном (базовом) расстоянии D друг от друга на прямой, соединяющей их с источником излучения. При этом первый приемник измеряет напряженность поля A_1 (плотность потока энергии P_1), а второй – A_2 (плотность потока энергии P_2)

$$A_2 = \frac{\sqrt{W} \cdot G_2}{4\pi(R+D)}, \quad P_2 = \frac{W \cdot G_2}{4\pi(R+D)^2} \quad (3)$$

где G_2 – коэффициент усиления антенны второго приемника.

Для получения формулы вычисления дальности R от первого приемного пункта до источника ЭМК при измерении напряженности поля приемниками воспользуемся выражением (1) утверждения, в котором установим $R = H, D = \Delta H, A_1 = U_1, A_2 = U_2, n = 1$, и получим:

$$R = D \frac{A_2 \cdot G_1}{A_1 \cdot G_2 - A_2 \cdot G_1}. \quad (4)$$

При измерении плотности потока энергии (мощности) установим в (1) $R = H, D = \Delta H, P_1 = U_1, P_2 = U_2, n = 2$ и расчет дальности производится по формуле

$$R = D \frac{P_2^{\frac{1}{2}} \cdot G_1}{P_1^{\frac{1}{2}} \cdot G_2 - P_2^{\frac{1}{2}} \cdot G_1}. \quad (5)$$

При определении расстояния от источника излучения до приемного пункта базовое расстояние может не находиться на прямой линии, соединяющей первый приемник с источником ЭМК. В этом случае в качестве ΔH необходимо учитывать проекцию расстояния между приемными пунктами на линию, соединяющую первый приемный пункт с источником ЭМК. При этом $\Delta H = D \cos(\alpha)$, где α – угол между прямой, проходящей через приемный пункт, и направлением на источник ЭМК. В данном одномерном случае определение направления на источник излучения осуществляется только диаграммами направленности антенн приемных пунктов и расстояние вычисляется по формуле

$$R = D \cos(\alpha) \frac{A_2^n \cdot G_1}{A_1^n \cdot G_2 - A_2^n \cdot G_1} \quad (6)$$

Направление на ИИ можно определить, воспользовавшись устройством, реализующим РБМ с взаимно-перпендикулярными базами (рис.1), расположенными в одной плоскости.

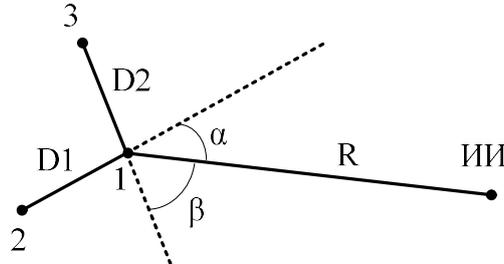


Рис.1

Цифрами 1, 2 на рис. 1 обозначены первый и второй приемные пункты, расстояние между ними является базовым - $D1$. Цифрой 3 обозначен приемный пункт с базовым расстоянием между 1-м - $D2$. Углами α и β обозначены направления на ИИ, отсчитываемые от соответствующих линий 1-2 и 1-3.

На приемных пунктах измеряется определенный параметр поля ЭМК (напряженность или плотность потока энергии) ИИ. Дальность R до ИИ определяется от пункта 1. При этом

$$R = D1 \cos(\alpha) \frac{A_2^n \cdot G_1}{A_1^n \cdot G_2 - A_2^n \cdot G_1} \text{ и } R = D2 \cos(\beta) \frac{A_3^n \cdot G_1}{A_1^n \cdot G_3 - A_3^n \cdot G_1}, \quad (7)$$

где A_1^n, A_2^n, A_3^n - параметры поля ЭМК при соответствующем n , измеренные приемными пунктами, G_3 - коэффициент усиления антенны третьего приемного пункта.

После несложных преобразований получаем:

$$\alpha = \arctg \frac{D1 \frac{A_2^n \cdot G_1}{A_1^n \cdot G_2 - A_2^n \cdot G_1}}{D2 \frac{A_3^n \cdot G_1}{A_1^n \cdot G_3 - A_3^n \cdot G_1}} \quad (8)$$

Выражение (8) позволяет вычислять угол α , т.е. определять направление на ИИ, а также вычислять по (6) дальность R до него.

Анализ метода пассивной локации: Расчет абсолютной погрешности,

возникающей при косвенных измерениях, является частным случаем определения статистических характеристик функции H от случайных величин U_1 и U_2 (1) и осуществляется по [6], в котором выражение для определения среднеквадратического отклонения величины H , имеет вид:

$$\sigma_H = \sqrt{\left[\frac{\partial H}{\partial U_1}\right]^2 \cdot \sigma_{U_1}^2 + \left[\frac{\partial H}{\partial U_2}\right]^2 \cdot \sigma_{U_2}^2}, \quad (9)$$

где $H = \Delta H \frac{U_2^{\frac{1}{n}}}{U_1^{\frac{1}{n}} - U_2^{\frac{1}{n}}}$ – анализируемая величина; σ_{U_1} и σ_{U_2} – среднеквадратические отклонения измеряемых величин U_1 и U_2 . Подставляя (5) ($R=H$) в (9) и произведя соответствующие преобразования, получим окончательный результат:

$$\sigma_R = D \frac{\frac{1}{\tilde{A}_1^n} \frac{1}{\tilde{A}_2^n} G_1 G_2}{n(\tilde{A}_1^n G_2 - \tilde{A}_2^n G_1)^2} \sqrt{\frac{1}{\tilde{q}_1^2} + \frac{1}{\tilde{q}_2^2}}, \quad (10)$$

где \tilde{A}_1, \tilde{A}_2 – оценки параметров колебаний, полученные на выходе соответствующих приемников, при наличии помех; $\tilde{q}_1 = \frac{\tilde{A}_1}{\sigma_{\tilde{A}_1}}$, $\tilde{q}_2 = \frac{\tilde{A}_2}{\sigma_{\tilde{A}_2}}$ – отношения сигнал/помеха.

Результирующая среднеквадратическая погрешность σ_p вычисления дальности с учетом вышеизложенного определяется выражением [7] $\sigma_p = \sqrt{\sigma_R^2 + R^2 \sigma_\alpha^2}$, где σ_α^2 – абсолютная погрешность определения угла α .

Для радиально-базового метода нахождение рабочей зоны осуществляется в предположении, что он относится к угломерно-дальномерным методам [8].

Применение метода пассивной локации: Фотометрический метод определения дальности ИИ в космическом пространстве основан на измерении освещенности, создаваемой излучаемой энергией ИИ на единичной площадке, перпендикулярной лучам света [9]. Измерение освещенности приемными устройствами, разделенными базовыми расстояниями, позволяет воспользоваться радиально-базовым методом для вычисления по (6) дальности ИИ. Направление на ИИ производится либо приемными элементами, или с помощью дополнительного приемного устройства (рис. 1) и вычисления по (8) направления.

Широко используемый в астрономии спектральный метод так же может быть использован в РБМ для определения дальности ИИ и направления на него. При этом мощности всех спектральных компонентов сигнала суммируются и, при необходимости, накапливаются за определенный промежуток

времени. Это следует делать при существенном удалении ИИ.

Для подтверждения теории большого взрыва можно воспользоваться РБМ. Галактики разбегаются от нашей планеты со скоростью 150000 км/с. Следовательно, произведя измерение освещенности убегающей галактики в одно время и измерив через известный промежуток времени освещенность этой же галактики, определяется величина базового расстояния между одним и тем же ИИ (галактикой). Далее применяется формула (5). При разбегающихся галактиках находится расстояние до них в анализируемый момент времени. В противном случае расстояние будет равно бесконечности.

Радиально-базовый метод может быть применен для определения координат источников гравитационных волн в космическом пространстве [10].

Выводы

В работе приведены результаты синтеза радиально-базового метода пассивной локации, основанного на закономерном затухании колебаний в пространстве, с помощью которого можно определять местоположение источников излучения как электромагнитных колебаний, так и гравитационных волн. Показана возможность вычисления погрешности измерения навигационных параметров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Михайлов А.А.* Курс астрофизики и звездной астрономии/ А.А. Михайлов. - М.: Наука, 1973. - 608с.
2. *Бакулев П.А.* Радиолокационные системы. Учебник для вузов. – М.: Радиотехника, 2004. 320 с.
3. *Сытенький В.Д.* Радиально-базовый метод определения дальности источника излучения// Ростовское областное правление НТО радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова. Ростовское областное правление НТО приборостроения им. ак. Вавилова. Областная НТК, посвященная дню радио. Ростов-на-Дону, 1992г. С.45.
4. *Сытенький В.Д.* Пассивная локация на основе амплитудных измерений// Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2011. Вып. 1. С. 69 – 76.
5. *Яворский Б.М., Детлаф А.А.* Справочник по физике. Изд. 5-е перераб. и доп. М.: Наука, 1971.- 935 с.
6. *Мирский Г.Я.* Радиоэлектронные измерения. М.: Энергия, 1975. 265 с
7. *Беляевский Л.С., Новиков В.С., Олянюк П.В.* Основы радионавигации: Учебник для вузов гражд. авиации.-М.: «Транспорт», 1982. 288 с.
8. *Сытенький В.Д.* Рабочая зона радиально-базового метода // Материалы меж-

- дународной научной конференции «Инновации в обществе, технике и культуре» - часть 3.– Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2008. с. 84 – 88.
9. *Гуревич М.М.* Фотометрия: Теория, методы и приборы/ М.М. Гуревич. - Л.: Энергоатомиздат, 1983. - 268с.
 10. *Сытенький В.Д.* Гравитационная разведка на основе радиально -базового метода//Материалы Всероссийской научной конференции «Современные исследовательские и образовательные технологии» - часть 3 – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. С. 52 – 59.

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.

Syten'ky Vasily Dmitrievich – 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.

УДК 681.325

Левонюк Сергей Владимирович, Хлапонин Дмитрий Александрович

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ВОССТАНОВЛЕНИЯ СЖАТЫХ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ MULTISIM

Рассматривается использование системы Multisim для разработки и исследования устройства, предназначенного для восстановления сжатых данных. Проведенное моделирование позволило реализовать комплексную отладку программных и аппаратных средств устройства.

Моделирование, Multisim, обратимое сжатие, восстановление сжатых данных.

Levoniuk Sergey Vladimirovich, Hlaponin Dmitry Aleksandrovich

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF DEVICES RECOVERY OF COMPRESSED DATA USING MULTISIM

The use of Multisim system for development and research of the device intended for recovery of the compressed data is considered. The simulation has allowed us to implement integrated debugging of hardware and software of the device.

Simulation, Multisim, reversible compression, restore compressed data.

Введение

В связи со сложностью современных объектов управления необходимо контролировать большое количество параметров данных объектов. При этом объем поступающей информации оказывается значительным. В то же время, основная доля данной информации является избыточной, поэтому актуальной становится задача сжатия данных [1]. Основным интересом представляет обратимое сжатие на основе апертурных интерполяционных и экстраполяционных алгоритмов нулевого и первого порядков, в результате которого исходные сигналы могут быть в дальнейшем восстановлены как функции времени с заданной погрешностью [2,3]. Однако, после передачи сжатых данных по каналу связи требуется решать задачу их восстановления.

В данном докладе рассматривается использование системы Multisim для моделирования устройства, предназначенного для восстановления данных, сжатых на основе апертурных интерполяционных и экстраполяционных алгоритмов нулевого и первого порядков.

Основная часть

Разработка и исследование устройства, предназначенного для восстановления сжатых данных, проводилось с использованием программы Multisim (версия 14.1) корпорации National Instruments [4-6]. MCU-модуль Multisim предназначен для моделирования устройств на основе микроконтроллеров [7,8]. Модуль позволяет разработчику отладить как аппаратную часть устройства, так и программное обеспечение микроконтроллера.

На рис.1 приведена структура восьмиканального устройства восстановления сжатых данных, которая использовалась при моделировании.

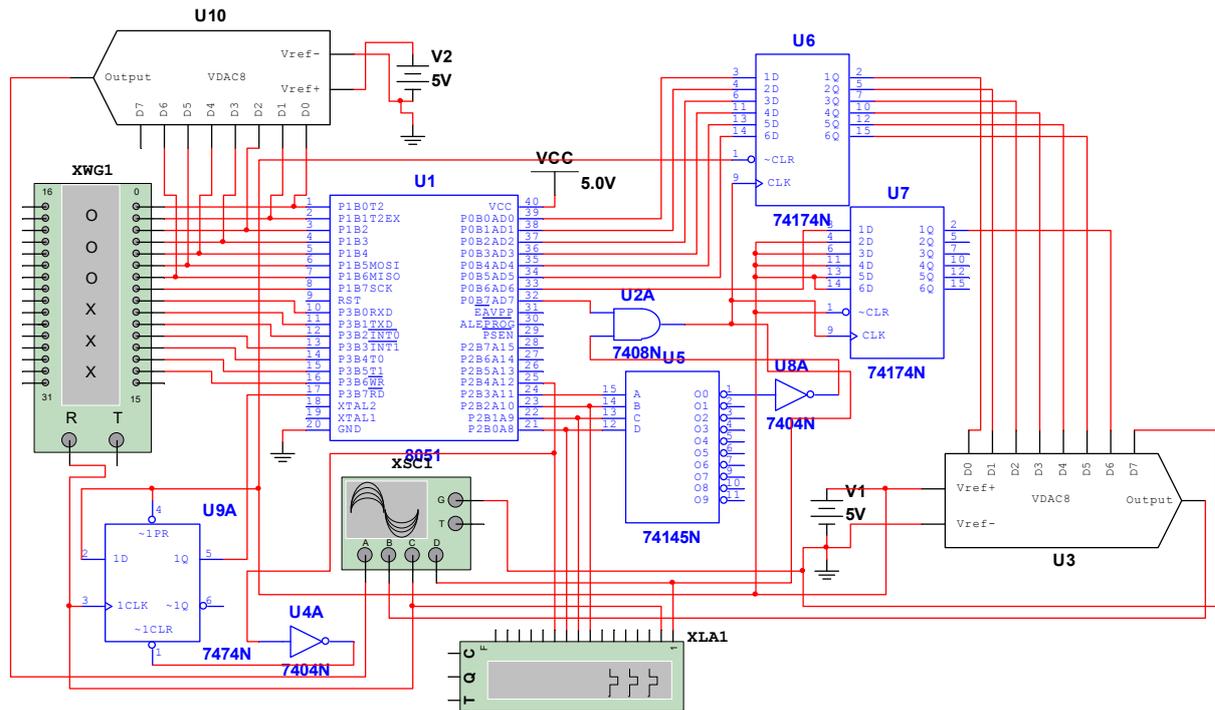


Рис. 1. Структура устройства восстановления сжатых данных

При этом в качестве имитатора входных сжатых данных применялся генератор слов (XWG1). Для восстановления сжатых данных использовался микроконтроллер 8051 фирмы INTEL (U1) [9], а для преобразования восстановленных данных в аналоговую форму – цифроаналоговый преобразователь (U3). Контроль результатов восстановления выполнялся с помощью многоканального осциллографа (XSC1) и логического анализатора (XLA1). Для восстановления применялись интерполяционные и экстраполяционные алгоритмы нулевого и первого порядков.

Для разработки программного обеспечения микроконтроллера [10] использовался язык ассемблера [9].

На рис.2, в качестве примера, представлены осциллограммы восстановленного на основе комбинированного метода экстраполяции нулевого и первого порядков [2] после сжатия сигнала (ступенчатая кривая), сигнала выдачи восстановленных данных из микроконтроллера (короткие импульсы) и сигнала приема входных сжатых данных.

Выводы

Проведенное моделирование позволило реализовать комплексную отладку программных и аппаратных средств устройства, а также контролировать погрешность сжатия-восстановления измерительной информации.

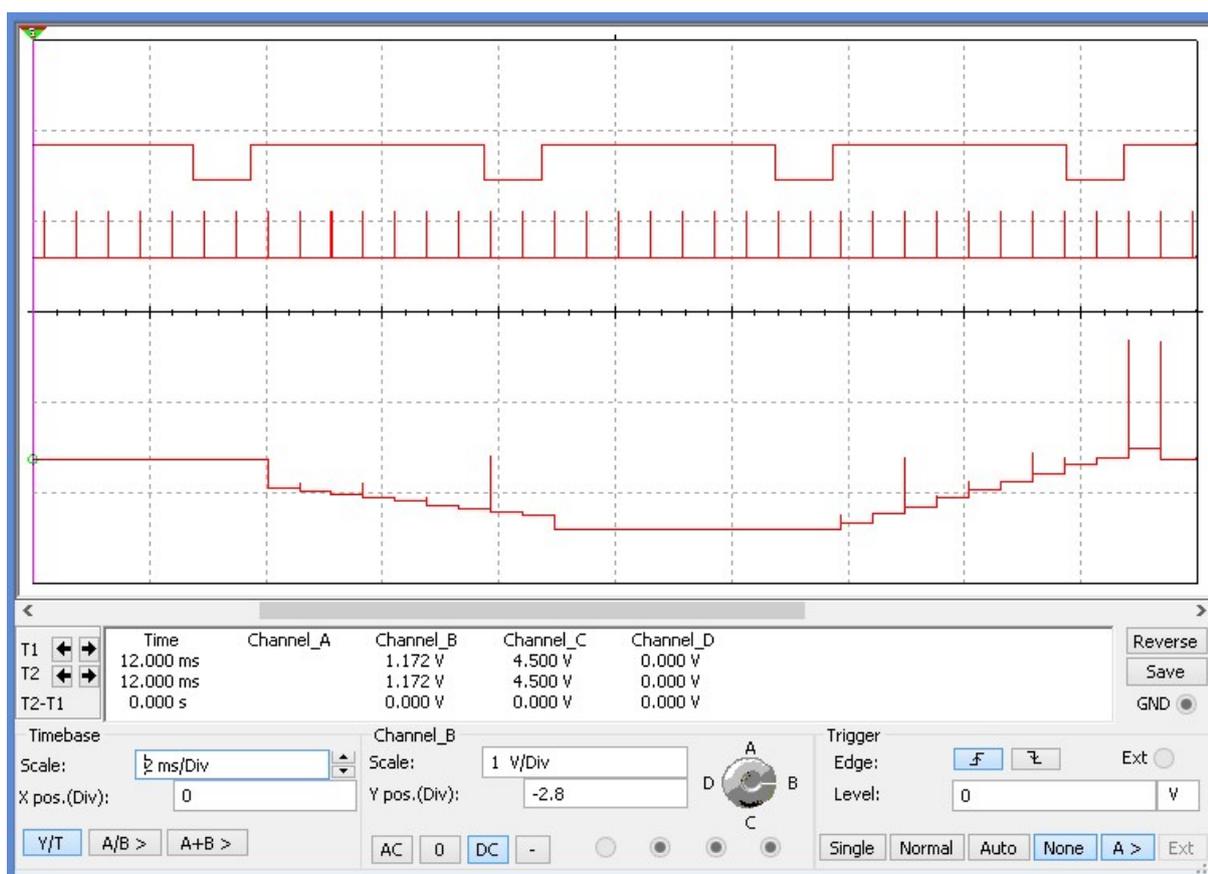


Рис.2. Осциллограммы при исследовании устройства восстановления

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ольховский Ю.Б., Новоселов О.Н., Мановцев А.П.* Сжатие данных при телеизмерениях/ М.: Сов. Радио, 1990.
2. *Самойлов Л.К., Палазиенко А.А., Сарычев В.В., Ткаченко Г.И.* Дискретизация сигналов по времени: практика, алгоритмы/ Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000.
3. *Левонюк С.В.* Устройство сбора и обратимого сжатия измерительной информации на основе модуля R-серии// NI days-2016/ Тезисы докладов. – М.: ДМК-пресс, 2016.
4. *Загидуллин Р.Ш.* Multisim, LabVIEW и Signal Express. Практика автоматизированного проектирования электронных устройств/ М.: Горячая линия – Телеком, 2009.
5. *Левонюк С.В.* Использование системы проектирования LabVIEW-Multisim для моделирования цифровых устройств/ Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2008.

6. *Левонюк С.В.* Использование Multisim и LabVIEW в учебном процессе подготовки бакалавров приборостроительных направлений// Инженерный вестник Дона, 2018, №4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2018/5252/.
7. *Левонюк С.В.* Использование MCU-модуля LabVIEW-Multisim для моделирования микропроцессорных устройств/ Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009.
8. *Левонюк С.В.* Лабораторный практикум по микроконтроллерам на основе MCU-модуля MULTISIM/ LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015.
9. *Сташин В.В., Урусов А.В., Мологонцева О.Ф.* Проектирование цифровых устройств на однокристальных микроконтроллерах/ М.: Энергоатомиздат, 1990.
10. *Левонюк С.В.* Восстановление сжатых данных на основе микроконтроллера/ Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018661814 от 18.09.2018г.

Левонюк Сергей Владимирович – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник института нанотехнологий, электроники и приборостроения Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Шевченко 2, 347922, телефон: +7 (8634) 37-16-38, email: svlevoniuk@sfedu.ru.

Хлапонин Дмитрий Александрович – студент группы ЭПб04-6 института нанотехнологий, электроники и приборостроения Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Шевченко 2, 347922, телефон: +7 (8634) 37-16-38, email: svlevoniuk@sfedu.ru.

Levoniuk Sergey Vladimirovich – Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), docent, senior researcher at the Institute of nanotechnology, electronics and instrumentation Southern Federal University, 347922, Russia, Taganrog, 2 Shevchenko street, phone: +7 (8634) 37-16-38, email: svlevoniuk@sfedu.ru.

Hlaponin Dmitry Aleksandrovich – student at the Institute of nanotechnology, electronics and instrumentation Southern Federal University, 347922, Russia, Taganrog, 2 Shevchenko street, phone: +7 (8634) 37-16-38, email: svlevoniuk@sfedu.ru.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ВИБРАЦИОННОГО МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА

Микромеханические вибрационные гироскопы являются одним из устройств микроэлектромеханических систем (МЭМС) и предназначены для измерения угловой скорости.

Важной задачей при разработке микромеханических гироскопов является его предварительная частотная настройка. От того как изначально настроен чувствительный элемент зависит чувствительность и стабильность работы микрогироскопа. Моделирование МЭМС гироскопа до изготовления позволит оценить предельные точностные характеристики, определить его чувствительность, провести оптимизацию конструкции для улучшения его измерительных характеристик.

В статье получены и проанализированы амплитудно-частотные характеристики одномассового микромеханического гироскопа LL – типа методом конечных элементов в программном пакете ANSYS Workbench.

МЭМС, микрогироскоп, конечно-элементный анализ, модальный анализ, гармонический анализ, резонанс.

Naumenko Danil Valerievich

SIMULATION OF THE MICROMECHANICAL GYROSCOPE SENSOR

Micromechanical vibration gyroscopes are one of the devices of microelectromechanical systems (MEMS) and are designed to measure angular velocity.

An important task in the development of micromechanical gyroscopes is its preliminary frequency tuning. The sensitivity and stability of the microgyroscope depends on how the sensor is initially configured. Simulation of the MEMS gyroscope before manufacturing will allow to estimate the limiting accuracy characteristics, determine its sensitivity, and optimize the design to improve its measurement characteristics.

The article obtained and analyzed the amplitude-frequency characteristics of a single-mass micromechanical gyroscope LL - type by the finite element method in the software package ANSYS Workbench.

MEMS, microgyroscope, finite element analysis, modal analysis, harmonic analysis, resonance curve.

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].

Методика моделирования. Одномассовый микрогироскоп LL–типа с электростатическим возбуждением и емкостным съемом сигнала [4] выполнен в объеме кремния и состоит из подвижной инерционной массы, упругих подвесов, электростатического вибропривода и емкостной преобразователя перемещений. Данное устройство работает следующим образом: упругие подвесы позволяют инерционной массе совершать колебательные движения в двух плоскостях. Первичные колебания инерционной массы вдоль одной оси обеспечиваются электростатическим приводом. Сила Кориолиса воздействует колеблющуюся инерционную массу что приводит к возникновению вторичных или информационных колебаний которые изменяют емкость преобразователей перемещений [5]. По величине этих изменений производится измерение угловой скорости объекта.

Методика моделирования. Выполнен модальный анализ в результате получены собственные частоты и экспандированные моды колебаний проведения гармонического анализа методом суперпозиции мод [6,7]. Форма колебаний в результате модального анализа показаны на рис. 1.

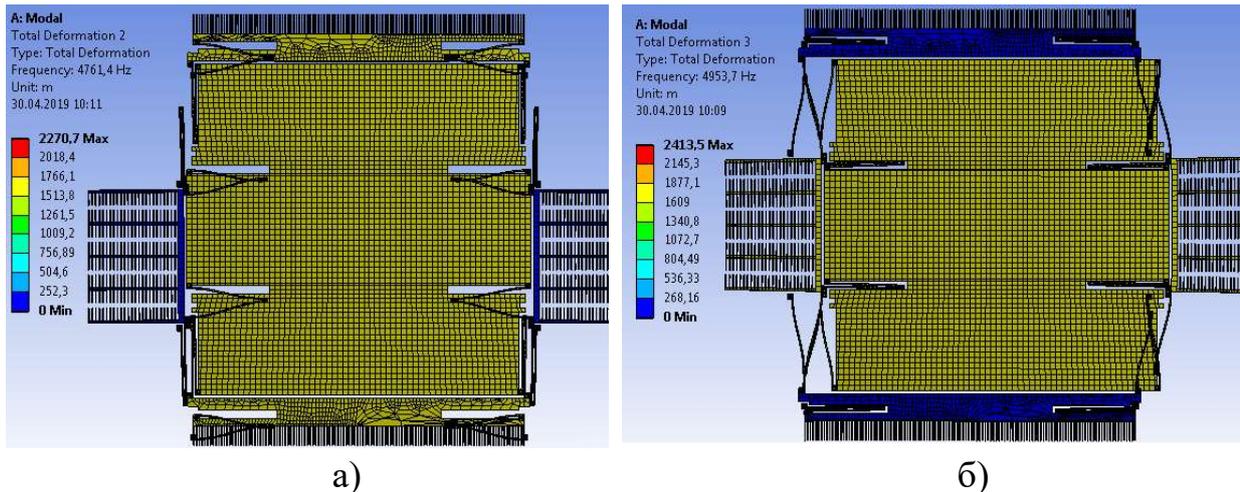


Рис. 1. Формы колебаний микромеханического гироскопа.
 а) форма первичных колебаний, б) форма информационных колебаний

Проведен первый гармонический анализ методом суперпозиции мод при температуре 20°C [8] в качестве гармонической нагрузки использовалась латеральная сила электростатического привода при напряжении 5В равная 1.9×10^{-8} Н [9].

В результате гармонического анализа получена зависимость амплитуды от частоты гармонического воздействия.

Полученное значение частоты и амплитуды используется для определения силы Кориолиса, вычисленной по формуле 1:

$$\vec{F}_K = -2m[\vec{\omega} \times \vec{v}_r] , \quad (1)$$

где $\vec{\omega}$ – угловая скорость вращения основания гироскопа, \vec{v}_r – линейная скорость движения инерционной массы, m – величина инерционной массы.

Линейную скорость движения инерционной массы получим из формулы 2

$$v_r = f * a, \quad (2)$$

где f – частота, полученная по результатам гармонического анализа a – амплитуда движения полученная по результатам гармонического анализа.

Проведен второй гармонический анализ методом суперпозиции мод в качестве гармонической нагрузки использовалась сила Кориолиса вдоль оси чувствительности при максимальной угловой скорости вращения в 300°/с.

Результаты исследования. Полученные АЧХ показаны на рис. 2. По данному графику можно оценить частотную настройку и прогнозировать точностные характеристики и чувствительность микрогироскопа[10,11].

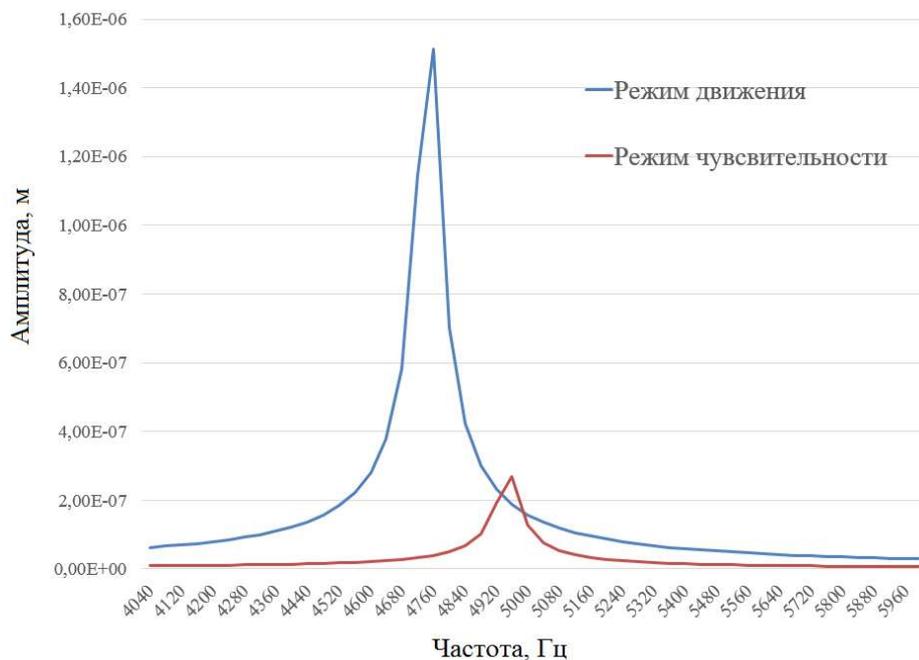


Рис. 5. АЧХ МЭМС гироскопа вдоль двух осей

Полоса пропускания в режиме движения находится в диапазоне от 4720 до 4780 Гц и составляет 60 Гц. Полоса пропускания в режиме чувствительности находится в диапазоне от 4900 до 4990 Гц и составляет 90 Гц. Это обусловлено формой емкостных преобразователей и большим вязким демпфированием в режиме чувствительности.

Заключение. По результатам анализа резонансных кривых видно, что резонансные пики смещены и микрогироскоп не будет иметь максимальную чувствительность. Для улучшения стабильности работы нужно уменьшить добротность первичных колебаний.

В работе представлен расчет АЧХ одноосевого одномассового МЭМС гироскопа методом конечных элементов. Построены графики АЧХ и определены основные динамические параметры, такие собственные частоты в режиме движения и в режиме чувствительности, отклонение инерционной массы при гармоническом воздействии, определена полоса пропускания и чувствительность МЭМС гироскопа к изменению угловой скорости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Барбин Е.С., Баранов П.Ф., Коледа А.Н., Нестеренко Т.Г., Пересветов М.В. Моделирование конструкционных и динамических характеристик двухком-

- понентного микромеханического гироскопа Вестник науки Сибири. — 2013. — № 1 (7). — [С. 96-105]
2. *Ishihara K., Yung C.F., 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. *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.
 6. *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.
 7. *Леонтьев Н.В.* Применение системы ANSYS к решению задач модального и гармонического анализа. Нижний Новгород, 2006, 101 с.
 8. *Куликова И.В., Лысенко И.Е., Приступчик Н.К., Науменко Д.В.* Методика расчета влияния термоупругих напряжений на динамические характеристики МЭМС. *Инженерный вестник Дона*, 2015, №3
 9. *Драгунов В.П., Остертак Д.И.* Расчёт латеральной составляющей электростатической силы в МЭМС // *Научный вестник Новосибирского государственного технического университета*. 2009 №1. С. 229-233
 10. *Apostolyuk V.* Theory and design of micromechanical vibratory gyroscopes. In *MEMS/NEMS Handbook*; Springer, 2006; pp. 173–195.
 11. *Acar C. and Shkel A.* MEMS vibratory gyroscopes—Structural approaches to improve robustness in MEMS Reference Shelf Series. New York: Springer, 2009, ISBN: 978–0–387–09535–6.

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 681.142

Белевцев Андрей Михайлович, Дворецкий Виктор Васильевич

МЕТОДИКА АНАЛИЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ МАКРОСРЕДЫ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Развитие глобального информационного пространства и, как следствие, появление «больших данных» создают условия для разработки новых методов и способов динамического мониторинга и анализа глобальных трендов технологического развития. В работе приведена общая методика анализа технологических факторов макросреды предприятия и рассмотрены основные её этапы. Раскрыты основные компоненты специализированной информационной аналитической системы.

Шестой технологический уклад, «Индустрия 4.0», стратегический анализ, макросреда предприятия, информационно-аналитическая система.

Belevtsev Andrey Mikhailovich, Dvoretzkiy Victor Vasilievich

AN APPROACH FOR ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL FACTORS OF BUSINESS MACRO ENVIRONMENT

The growth of global information space and big data make possible to create new approaches for monitoring and analyzing of global technological trends. In this article an approach for analysis of technological factors of business macro environment is shown; its main stages described. In addition, the article describes general components of a specialized information analytical system.

The Sixth technological wave, industry 4.0, strategic analysis, business macro environment, information analytical system.

Глобализация экономики и информационного пространства, возрастающий уровень конкуренции на фоне перехода к шестому технологическому укладу и «Индустрии 4.0» привели к резкому росту интенсивности исследований, разработок и внедрения новых функциональных технологий и новых подходов к управлению промышленными предприятиями.

Одним из следствий такого процесса стали изменения в структуре макросреды высокотехнологичных промышленных предприятий [1].

При этом особую роль играет укрепляющаяся взаимосвязь технологического и политического факторов макросреды. Экономически развитые страны всё более активно создают программы инновационного развития на высшем государственном уровне. В качестве примера таких программ можно привести Нацпроекты в РФ, программы пятилеток в КНР, государственные программы технологического развития США, совместные проекты в ЕС (например, HORIZONT 2020) и др. Все они требуют активного вовлечения промышленности для выполнения глобальных задач технологического развития.

Прямым следствием данных процессов является образование большого объема неструктурированных цифровых данных.

В этой связи оценка макросреды (её технологического фактора) требует создания новых методов и способов динамического мониторинга и анализа глобальных трендов технологического развития [2].

Для оценки технологического фактора макросреды была разработана общая процедура мониторинга макросреды. Её структура и основные этапы приведены на рис. 1



Рис. 1 Общая процедура мониторинга технологических факторов макросреды высокотехнологичного машиностроительного предприятия

Начальным этапом является проведение глобального мониторинга крупнейших научно-технологических проектов.

Основными объектами мониторинга выступают:

- 1) гос. программы (нацпроекты, государственные программы, федеральные проекты, ФЦП, программы министерств);
- 2) программы крупных промышленных объединений, транснациональных компаний (ТНК);
- 3) региональные программы технологического развития;
- 4) зарубежные программы и программы международного сотрудничества.

Результатом проведения мониторинга макросреды является сформированная база данных крупных проектов UD_i .

Для полученной совокупности документов UD_i необходимо определить такие атрибуты как: научно-технологическая область (A), объёмы финансирования проекта (f), сроки (t), ответственное лицо (r), головные исполнители (e), и др. показатели.

В результате анализа выделенной совокупности документов UD_i , формируется и ранжируется перечень наиболее востребованных научно-технологических направлений UA_j .

На их основе, в свою очередь, производится отбор наиболее перспективных для рассматриваемой компании направлений UA_j' , основными критериями которого выступают выявленные на раннем этапе атрибуты {A; f; t; r; e}: размер финансирования, сроки (стадии) реализации проектов, исполнители (занятость ниши) и т.д.

Следующим этапом является выявление требуемых компетенций UK_{req} для участия в программах перспективных направлений UA_j' и последующая оценка возможности участия в выбранных проектах UA_j' на базе существующих компетенций и технологического базиса рассматриваемого предприятия.

Таким образом, в результате выявляется:

- готовность рассматриваемого предприятия к участию в перспективных направлениях;
- необходимость развития критически важных технологий или компетенции для дальнейшего участия в этих направлениях.

В завершении методики сформированные направления научно-технологического развития предприятий необходимо сопоставить с факторами микросреды [3,4].

Ввиду высокой интенсивности изменения информационного пространства мониторинг программ технологического развития необходимо осуществлять с использованием специализированных программных средств – информационно-аналитической системы (ИАС) мониторинга и анализа макросреды.

Основные компоненты такой ИАС:

1. Сервис «Навигация макросреды» - сформированная база знаний об опубликованных научно-технологических проектах D_i различных субъектов макросреды предприятия [5].

2. Классификаторы и рубрикаторы, применяемые для онтологического описания научно-технологических областей A_j , за счёт выделения таких составляющих как: вид продукции, её функциональное назначение, области применения, вид базирования и др.; а также описания применяемых технологий функциональные технологии, процессные технологии [6].

3. Алгоритмы на основе методов искусственного интеллекта (ИИ) для обеспечения динамического характера проведения мониторинга и анализа [7].

При этом здесь можно выделить сразу два направления:

- ИИ для мониторинга в среде «больших данных»: глубинный анализ текста, кластерный анализ, скрытые марковские модели и др. (поисковых роботов, нейросетей);

- ИИ непосредственно для анализа макросреды: самообучающиеся нейросети, системы логического вывода на нечёткой логике.

В результате представленной методики обеспечивается:

1) формирование перечня наиболее привлекательных крупных проектов для участия рассматриваемого промышленного предприятия;

2) перечень критически важных технологий и необходимых компетенций, необходимых для входа в другие стратегически важные предметные области.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Белевцев А.М., Балыбердин В.А., Бендерский Г.П.* Прикладные методы оценки и выбора решений в стратегических задачах инновационного менеджмента М.: Дашков и Ко, 2014г. 239 с.
2. *Белевцев А.М., Садреев Ф.Г., Пахомов С.Н.* Организация параллельного мониторинга направлений развития науки, техники и технологий в открытых источниках информации. Южный федеральный университет «Известия» №5,

Тематический выпуск Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении, 2013г.

3. *Белевцев А.М., Дворецкий В.В.* Методы мониторинга и анализа микросреды высокотехнологичного предприятия. Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, 2018.
4. *Белевцев А.М., Дворецкий В.В.* Построение автоматизированной процедуры мониторинга микро- и макросреды высокотехнологичного промышленного предприятия. Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. 2018. № 1.
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. *Белевцев А.М., Дворецкий В.В.* Особенности разработки классификатора для экспертной системы анализа микросреды высокотехнологичного предприятия Управление качеством. Избранные научные труды семнадцатой Международной научно-практической конференции. 2018.
7. *Белевцев А.М., Анферова М.С.* 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 - 228 с.

Белевцев Андрей Михайлович – доктор технических наук, профессор, «МАИ – Российский государственный авиационный институт», e-mail: ambelev-tsev@yandex.ru

Дворецкий Виктор Васильевич – ассистент, «МАИ – Российский государственный авиационный институт», e-mail: v.dworetsky@yandex.ru

Аноприенко Александр Яковлевич

КОМПЬЮТЕРНЫЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОШЛОМ И БУДУЩЕМ: ПЕРИОДИЧЕСКИЕ И ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ

Интенсивное развитие компьютерных и информационных технологий и их возрастающее влияние на все сферы жизни и деятельности человека как никогда ранее актуализирует необходимость понимания динамики и всех особенностей этих процессов. Реальная динамика, как показывают исследования, определяется сочетанием периодических и экспоненциальных процессов развития. Соответствующая система закономерностей может служить вполне надежной основой для комплексного и конкретного прогнозирования в данной области.

Техносфера, технологии, циклы Кондратьева, закон Мура, экспоненциальные процессы, закономерности развития, прогнозирование.

Alexander Jakovlevich Anopriyenko

COMPUTER AND INFORMATION TECHNOLOGIES IN THE PAST AND THE FUTURE: PERIODIC AND EXPONENTIAL PATTERNS

The intensive development of computer and information technologies and their increasing influence on all spheres of human life and activity more than ever actualizes the need to understand the dynamics and all the features of these processes. Real dynamics, as research shows, is determined by a combination of periodic and exponential development processes. The corresponding system of laws can serve as a completely reliable basis for complex and concrete forecasting in this area.

Technosphere, technology, Kondratieff cycles, Moore's law, exponential processes, patterns of development, forecasting.

Введение

Интенсивное развитие компьютерных и информационных технологий и их возрастающее влияние на все сферы жизни и деятельности человека как никогда ранее актуализирует необходимость понимания динамики и всех особенностей этих процессов. В настоящее время абсолютное боль-

шинство исследований и материалов на эту тему формируются на базе и вокруг закона Мура и различных его разновидностей. Однако, при относительном обилии соответствующих публикаций наблюдается также нарастание путаницы и разного рода противоречий в понимании и толковании динамики данных процессов. Поэтому в настоящее время в данной области назрела настоятельная необходимость комплексного системного анализа.

Имеющийся научный задел

К началу XX века уже были известны различные гипотезы и предположения о возможности существования многолетней периодичности в развитии общества, экономики и техники. Но только русскому экономисту Н.Д. Кондратьеву в 20-х годах XX столетия удалось не только привлечь к этим вопросам внимание довольно широких кругов научной общественности, но и выделить те первые три длинных волны, которые легли в основу практически всех современных исследований в данной области [1]. После второй мировой войны на фоне разворачивающейся научно-технической революции начали появляться фундаментальные работы, посвященные динамике и прогнозированию научно-технического прогресса [2-6]. Интерес к этим вопросам усилился с 1960-х годов, когда началось интенсивное развитие микроэлектроники. Особую роль сыграла небольшая публикация 1965 года [7], сделанная Гордоном Муром, одним из основателей фирмы Интел, которая фактически положила начало эпохе так называемого закона Мура и экспоненциального развития. С 1990-х годов количество процессов технологического развития, имеющих экспоненциальный характер, начало стремительно нарастать, что, в свою очередь, фиксировалось в экспоненциально возрастающем количестве исследований на эту тему, типичным примером которых является, например, работа [8]. Но работ системного характера, учитывающих все факторы, влияющие на динамику и возможности прогнозирования развития техносферы, явно не хватает.

Периодические закономерности

В работах [9-11] впервые в относительно целостном виде была представлена концепция периодических влияний на динамику развития техносферы, разработанная на основе модификации волн Кондратьева (рис. 1).

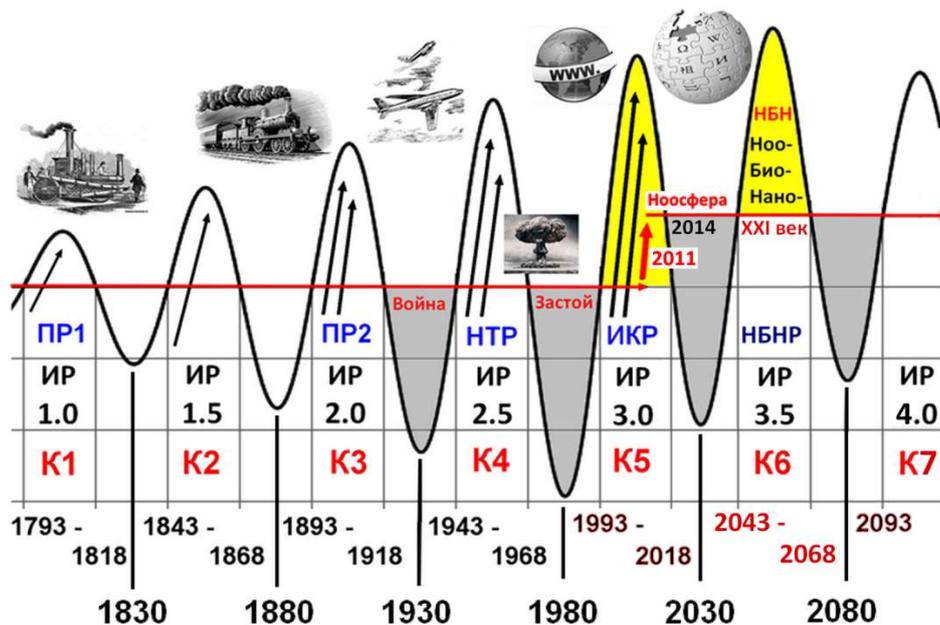


Рис. 1. Периодическая модель технологического прогресса на основе модифицированных волн Кондратьева (K1-K7) как последовательность индустриальных революций (ИР)

Показано, в частности, что в эту концептуальную модель прекрасно вписываются традиционно выделяемые революции в развитии технологий: промышленные (ПР), научно-техническая (НТР), информационно-компьютерная (ИКР) и будущая, условно названная НооБиоНанореволюцией (НБНР). Амплитуда волн при этом определяется в первую очередь количеством и интенсивностью экспоненциальных процессов развития.

Экспоненциальные закономерности

В настоящее время надежно выявлено десятки различных процессов экспоненциального развития технологий, в основном информационно-компьютерных [11-20]. Одним из наиболее характерных и устойчивых является процесс глобального роста количества компьютерных систем, который приобрел ярко выраженный экспоненциальный характер уже к концу 1950-х годов (рис. 2).

Общее количество компьютеров в мире (1) и население (2)



Рис. 2. Характерный пример экспоненциального роста: 1 – глобальное нарастание количества компьютерных систем различного типа (с десятикратным ростом за десятилетие); 2 – рост населения Земли с темпами роста в среднем на порядок за 200 лет

Для единого обозначения динамики самых различных экспоненциальных процессов предложено обозначение вида $JX-Y$, где J – идентификатор экспоненциального процесса, X – количество десятичных порядков роста за базовый период, Y – базовый в годах (например, обозначение $J1-200$ означает рост на один десятичный порядок за 200 лет). Так как для большинства процессов развития в информационно-компьютерных технологиях наиболее адекватным является 20-летний базовый период, то он принимается по умолчанию, если длительность периода не указана ($J2$, например, означает рост на 2 десятичных порядка за 20 лет).

Выводы

Таким образом, на текущий момент можно достаточно уверенно констатировать, что объективно существует система периодических и экспоненциальных закономерностей, достаточно полно и точно определяющих динамику развития компьютерных и информационных технологий, что может служить вполне надежной основой для комплексного и конкретного прогнозирования в данной области.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кондратьев Н. Д.* Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения. – М.: ЗАО «Издательство «Экономика», 2002. – 767 с.
2. *Янч Э.* Прогнозирование научно-технического прогресса. – М.: «Прогресс», 1970. – 568 с.
3. *Эйрес Р.* Научно-техническое прогнозирование и долгосрочное планирование. – М.: Мир, 1971. – 296 с.
4. *Мартино Д.* Технологическое прогнозирование. – М.: Прогресс, 1977. 592 с.
5. *Сахал Д.* Технический прогресс: концепции, модели, оценки. – М.: «Финансы и статистика», 1985. – 366 с.
6. *Половинкин А.И.* Законы строения и развития техники. – Волгоград: ВолгПИ, 1985. – 202 с.
7. *Moore G.E.* Cramming more components onto integrated circuits / Electronics, vol. 38, no. 8, Apr. 1965. – pp. 114 – 117.
8. *López P., Hilbert M.* Methodological and Statistical Background on The World's Technological Capacity to Store, Communicate, and Compute Information 2012. – United Nations ECLAC, Annenberg School of Communication. 2012. – 302 p.
9. *Аноприенко А.Я.* Пятая волна индустриализации и третья промышленная революция // Вестник Донецкого национального технического университета, №1 (1), 2016. С. 3-12.
10. *Аноприенко А.Я.* Системодинамика техносферы: технический прогресс и норитмы // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, 2016. № 1(10)-2(11). – С. 31–61.
11. *Аноприенко А.Я., Иваница С.В.* Введение в постбинарный компьютеринг. Арифметико-логические основы и программно-аппаратная реализация. – Донецк: ДонНТУ, УНИТЕХ, 2017. — 308 с.
12. *Аноприенко А.Я.* Обобщения закона Мура // «Информатика и кибернетика» (Вестник Донецкого национального технического университета), №3 (9), 2017. С. 14-23.
13. *Аноприенко А.Я.* Программная инженерия и обобщенный закон Мура // Первая международная научно-практическая конференция «Программная инженерия: методы и технологии разработки информационно-вычислительных систем (ПИИВС-2016). Донецк, 16-17 ноября 2016 г. Сборник научных трудов. – Донецк: ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», 2016. – С. 41-47.

14. *Аноприенко А.Я.* Закономерности развития компьютерных технологий и обобщенный закон Мура // Вестник Донецкого национального технического университета, №2 (2), 2016. С. 3-17.
15. *Аноприенко А.Я.* Системодинамика техносферы: как измерить технический прогресс // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, 2015. № 1(8)-2(9). С. 47-58.
16. *Аноприенко А.Я.* Периодическая система развития компьютерных систем и перспективы нанокompьютеризации // Инновационные перспективы Донбасса: Материалы международной научно-практической конференции. Донецк, 20-22 мая 2015 г. Том 5. Компьютерные науки и технологии. – Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2015. С. 5-13.
17. *Аноприенко А.Я.* Системодинамика ноотехносферы: основные закономерности // «Системный анализ в науках о природе и обществе». – Донецк: ДонНТУ, 2014, №1(6)-2(7). С. 11-29.
18. *Аноприенко А.Я.* Система закономерностей развития средств и методов компьютинга // Материалы V научно-технической конференции «Информационные управляющие системы и компьютерный мониторинг (ИУС и КМ 2014)» – 22-23 апреля 2014 г., Донецк, ДонНТУ, 2014. В 2-х томах. Т. 1. С. 11-23.
19. *Аноприенко А.Я.* Основные закономерности эволюции компьютерных систем и сетей // Научные труды Донецкого национального технического университета. Серия «Проблемы моделирования и автоматизации проектирования» (МАП-2013). Выпуск № 1 (12) – 2 (13): Донецк: ДонНТУ, — 2013. С. 10–32.
20. *Аноприенко А.Я.* Модели эволюции компьютерных систем и средств компьютерного моделирования // Материалы пятой международной научно-технической конференции «Моделирование и компьютерная графика» 24-27 сентября 2013 года, Донецк, ДонНТУ, 2013. С. 403-423.

Аноприенко Александр Яковлевич – кандидат технических наук, исполняющий обязанности ректор Донецкого национального технического университета, ДНР, город Донецк, улица Артема 58, 83001, телефон: +79788378417, +380713019859, email: anoprien@ya.ru.

Anopriyenko Alexander Jakovlevich – Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), rector of Donetsk National Technical University, 83001, DNR, Donetsk, 58 Artema street, phone: +79788378417, +380713019859, email: anoprien@ya.ru.

УДК 621.382

Попов Артем Олегович

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЕМКОСТИ В ЧАСТОТУ ДЛЯ ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ МИКРОМЕХАНИЧЕСКИХ ГИРОСКОПОВ-АКСЕЛЕРОМЕТРОВ

Распространены МЭМС гироскопы и акселерометры, которые реализуются в виде этажерочной конструкции, из-за сложности реализации в одном технологическом процессе механической и электронной составляющей. Одной из способствующих тому причин является использование в устройствах обработки информации элементов аналоговой схемотехники, реализация которых в интегральном исполнении не способствует решению проблемы. В данной работе представлены результаты исследования цифрового преобразователя емкости в частоту, который не содержит элементов аналоговой схемотехники.

Емкостной преобразователь, МЭМС.

Popov Artyom Olegovich

THE RESEARCH OF THE DIGITAL CAPACITANCE TO FREQUENCY CONVERTER FOR THE PRIMARY SIGNAL PROCESSING OF MICROMECHANICAL ACCELEROMETERS-GYROSCOPES

MEMS gyroscopes and accelerometers, which are implemented as a stackable design, are widespread because of the complexity of the implementation of a mechanical and electronic component in one technological process. One of the contributing reasons is the use of analog circuits elements in information processing devices, the implementation of which in integrated design does not contribute to solving the problem. This paper presents the results of a research of the digital capacitance to frequency converter, which does not contain elements of analog circuits.

Capacitance to frequency converter, MEMS.

Введение

Микроэлектромеханические системы (МЭМС) – устройства, состоящие из микромеханической и микроэлектронной составляющих – сенсора и схемы обработки информации соответственно [1]. МЭМС являются массово распространенными устройствами, которые применяются как в сфере

потребительских товаров и услуг, так и в военной, медицинской, аэрокосмической и др. сферах [2-5].

Среди известных типов МЭМС датчиков самым проверенным и надежным методом преобразования перемещений в электрический сигнал является ёмкостной метод [1]. В нём, в результате изменения измеряемой величины, происходит изменение емкости чувствительного элемента. Данное изменение емкости фиксируется, измеряется и преобразуется в аналоговый или цифровой сигнал для последующей обработки.

Широко распространены датчики, преобразующие измеряемую величину в напряжение [6-9]. Значение напряжения увеличивается операционным усилителем (ОУ) и выводится на выход датчика, либо преобразовывается в цифровой сигнал аналого-цифровым преобразователем (АЦП). Реализуются данные датчики в виде этажерочной конструкции, то есть в виде двух кристаллов, на одном из которых расположен микромеханический сенсор, на другом – схема обработки сенсорного сигнала. Применение данной конструкции обусловлено сложностью реализации датчика в одном технологическом процессе, в частности, из-за использования в схеме обработки информации ОУ и АЦП.

В данной работе исследуется работа преобразователя емкости в частоту [10] непосредственно цифрового сигнала без использования ОУ и АЦП.

Принцип работы цифрового преобразователя

Цифровой преобразователь емкости в частоту представлен на рисунке 1, где 1, 2 – генераторы прямоугольных импульсов, в частотоподающие цепи которых включены опорные емкости C_1 , C_x и C_2 соответственно, 3 – тактовый генератор. Емкость C_x – предполагаемая емкость, получаемая с емкостных сенсоров.

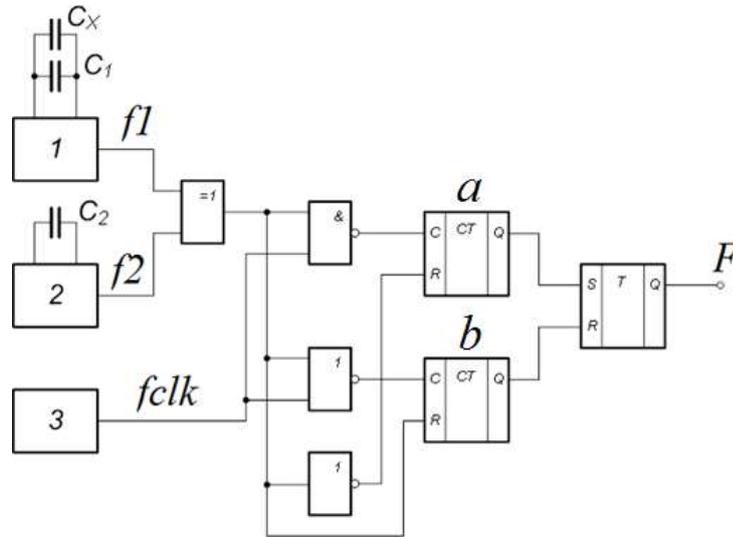


Рис.1. Цифровой преобразователь емкости в частоту [10]

Ключевым элементом преобразователя является логический элемент исключающее ИЛИ, фиксирующий разницу между частотами сигналов f_1 и f_2 . На выходе элемента исключающее ИЛИ образуется последовательность прямоугольных импульсов, длительность которых периодически изменяются следующим образом:

$$t_{xor}(t) = A \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_0),$$

где A и ω – амплитуда и круговая частота изменения длительности импульса соответственно, t – время, φ_0 – начальный сдвиг фаз между частотами f_1 и f_2 . Логические элементы И-НЕ и ИЛИ-НЕ необходимы для разделения длительности соответственно положительных и отрицательных импульсов t_{xor} на число импульсов частоты f_{clk} , подсчет которых осуществляется за счет двух r – разрядных счетчиков импульсов a и b .

Минимальное значение длительности импульса t_{xor} равно нулю, максимальное – длительности импульса наименьшего периода или наибольшей из частот сигналов f_1 и f_2 . Так как значение частоты f_1 обратно пропорционально значениям емкостей конденсатора C_1 и преобразовываемой емкости C_x , а f_2 – только емкости конденсатора C_2 , то частота f_2 всегда будет больше частоты f_1 . Таким образом, амплитуда изменения длительности импульса t_{xor} равна

$$A = \frac{T_2}{2},$$

где T_2 – период частоты f_2 . Круговая частота равна

$$\omega = \frac{T_1 - T_2}{2}.$$

Время, через которое длительность импульса $t_{\text{хор}}$ достигнет максимального значения, определяется:

$$t = \frac{T_1 \cdot T_2}{T_1 - T_2} = \frac{1}{f_2 - f_1}.$$

Результат измерения цифрового преобразователя появится на выходе RS-триггера через время, равное:

$$t_{\text{out}} \approx \frac{T_{\text{clk}} \cdot (2^r - 1) \cdot T_2}{T_1 - T_2}.$$

Время, необходимое для появления единицы на выходе RS-триггера – есть не что иное, как полупериод частоты искомого сигнала F . Таким образом, зависимость значения преобразованной частоты от частот генераторов 1, 2 и 3, а также от разрядности r счетчиков импульсов a и b можно записать в следующем виде:

$$F \approx \frac{(T_1 - T_2) \cdot F_2}{2 \cdot T_{\text{clk}} \cdot (2^r - 1)}.$$

Таким образом, зависимость значения преобразовываемой частоты находится в периоде изменения длительности импульса на выходе логического элемента исключающее ИЛИ.

Моделирование работы цифрового преобразователя

Для моделирования цифрового преобразователя емкости в частоту была спроектирована топология устройства в среде кремниевой компиляции Microwind по технологии КМОП 90нм. Площадь преобразователя составила порядка 1500 мкм². Результаты моделирования работы цифрового преобразователя представлены на рис. 2.

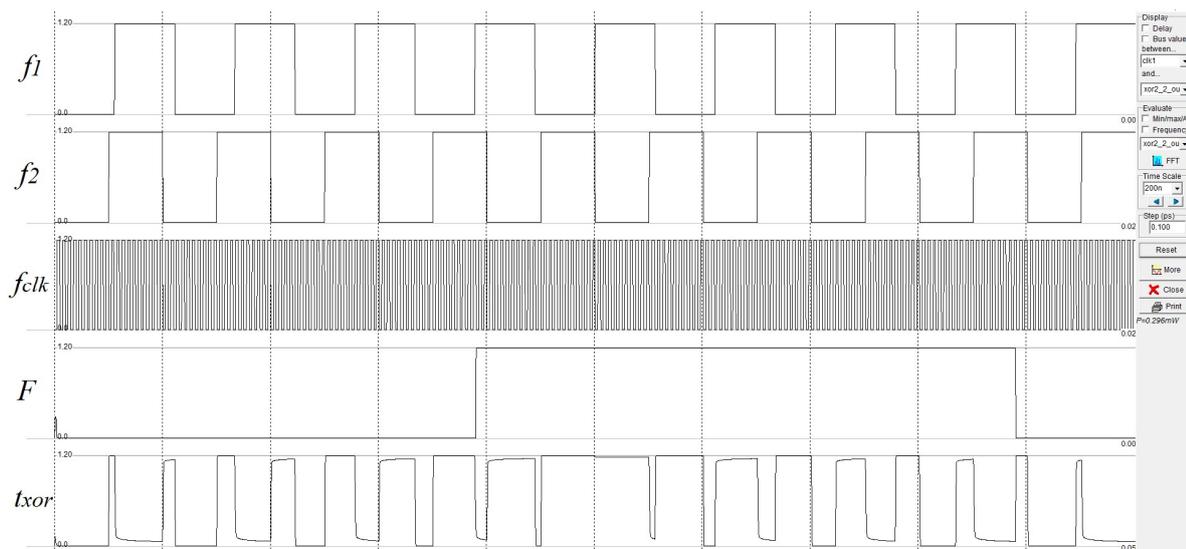


Рис. 2. Результат моделирования работы цифрового преобразователя

По результатам моделирования работы преобразователя были получены зависимости значения частоты сигнала F от емкости C_x . Частота F варьировалась в диапазоне 0 - 12,5 МГц при изменении C_x 0 - 50 фФ.

Выводы

В данной работе приведены результаты исследования цифрового преобразователя емкости в частоту. Описан принцип работы устройства, представлены результаты моделирования, а также приведены зависимости значения частоты сигнала F от емкости C_x . Частота F варьировалась в диапазоне 0 - 12,5 МГц при изменении C_x 0 - 50 фФ. Данный диапазон изменения емкости C_x соответствует типичным значениям емкостных сенсоров, выполненных по технологии поверхностной микрообработки.

Для измерения частоты выходного сигнала данного преобразователя может применяться маломощный цифровой частотомер [11, 12].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гуртов В. А., Беляев М. А., Бакшеева А.Г. Микроэлектромеханические системы: Учеб. пособие . – Петрозаводск: Из-во ПетрГУ, 2016. – 171 с.
2. Шелепин Н.А. Кремниевые микросенсоры и микросистемы: от бытовой техники до авиационных приборов // Микросистемная техника. – 2000. – № 1. – С. 40-43.
3. Sicard E., Bendhia S.D. Basics of CMOS Cell Design. - McGraw-Hill, 2007, 427 pp.

4. *Прокофьев И.В., Тихонов Р.Д.* Нано- и микросистемы для мониторинга параметров движения транспортных средств // Нано- и микросистемная техника. – 2011. – № 12. – С. 48-50.
5. *Распопов В.Я.* Микромеханические приборы. – М.: Машиностроение, 2007. – 400 с.
6. МЭМС-датчики движения от STMicroelectronics: акселерометры и гироскопы / [Электронный ресурс] / Время электроники. / URL: <http://www.russianelectronics.ru/leader-r/review/2193/doc/48456/> (дата обращения 28.02.2018).
7. MEMS market: 17.5% CAGR between 2018 and 2023 // www.i-micronews.com URL: <https://www.i-micronews.com/mems-market-17-5-cagr-between-2018-and-2023/> (дата обращения: 15.05.2019).
8. Акселерометр компании STMicroelectronics / [Электронный ресурс] LIS344ALH / MEMS inertial sensor high performance 3-axis $\pm 2/\pm 6g$ ultracompact linear accelerometer / STMicroelectronics. / URL: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/lis344alh.pdf> (дата обращения 25.11.2018).
9. Акселерометр компании STMicroelectronics / [Электронный ресурс] LIS3DSH / MEMS digital output motion sensor: ultra-low-power high-performance three-axis "nano" accelerometer/ STMicroelectronics. / URL: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/lis3dsh.pdf> (дата обращения 25.11.2018).
10. *Коноплев Б.Г., Рындин Е.А.* Высокочувствительный преобразователь ёмкости в частоту. Патент РФ № 2602493, 01.09.2015.
11. *Коноплев Б.Г., Попов А.О.* Цифровой частотомер для маломощных интегральных схем. Патент РФ № 187313, 01.03.2019.
12. *Попов А.О., Sinyukin A.S.* Design of Frequency Meter Unit for Low-Power Integrated Circuits // International Journal of Research Studies in Electrical and Electronics Engineering (IJRSEEE). - 2017. - №3.

**ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ И
ТЕМПЕРАТУРЫ НА ТОЧНОСТЬ ВЫЧИСЛЕНИЙ ЗНАЧЕНИЙ
ДАВЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ
ПЕРЕДАТОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕНЗОРЕЗИСТИВНОГО
ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ**

Целью данной работы является исследование влияния основной и дополнительных погрешностей тензорезистивных чувствительных элементов давления и терморезистора на точность вычислений значений давления с применением пространственной передаточной характеристики. Приведены методы построения пространственных передаточных характеристик в виде группы плоскостных или параболических элементарных поверхностей. Приведены результаты моделирования в системе компьютерной математики MATLAB влияния погрешности чувствительных элементов давления и температуры на общую погрешность вычисления значений давления. Влияние погрешности чувствительных элементов оценивалось как по отдельности для каждого чувствительного элемента, так и при одновременном присутствии погрешностей на обоих чувствительных элементах. Показано, что наибольшее влияние оказывает погрешность измерения сигнала с канала давления. Наибольшая погрешность возникает при наличии погрешностей с противоположным знаком на обоих каналах. Продемонстрирована возможность снижения на два порядка погрешности измерения значений давления в широком температурном диапазоне даже при использовании не самых лучших современных образцов тензорезистивного чувствительного элемента измерения давления и терморезистора.

Датчик давления, пространственные элементы, передаточная характеристика, погрешность, измерения.

Udod Evgeniy Vasilyevich

THE INFLUENCE OF MEASUREMENT ERRORS OF PRESSURE AND TEMPERATURE ON THE ACCURACY OF CALCULATION PRESSURE VALUES USING SPATIAL TRANSFER CHARACTERISTICS OF PIEZORESISTIVE PRESSURE SENSOR

The aim of this work is to study the influence of the main and additional errors of the strain-resistive pressure sensing elements and the thermistor on the accuracy of the calculation pressure values using the spatial transfer characteristics. Methods of construction of spatial transfer characteristics in the form of a group plane or parabolic elementary surfaces are presented. The results of modeling in the system of computer mathematics MATLAB effects of the error pressure and temperature sensing elements on the total error of calculating the pressure values. The influence of the error the sensing elements was evaluated separately for each sensing element, and at the same time the presence of errors on both sensing elements. It is shown that the error of measurement of the signal from the pressure channel has the greatest influence. The greatest error occurs in the presence of errors with the opposite sign on both channels. The possibility of reducing the measurement error of pressure values by an order of magnitude in a wide temperature range even when using not the best modern samples of the strain-resistive pressure sensing element and the thermistor is demonstrated.

Pressure sensor, spatial elements, transfer characteristic, error, measurement.

Введение

Современное производство, добыча, транспортировка и переработка нефти и газа, жилищно-коммунальное хозяйство, авиация, машиностроение и другие отрасли человеческой деятельности нуждаются в высокоточных измерениях давления в широком температурном диапазоне. Прецизионные измерения давления позволяют обеспечить более точное регулирование технологических процессов, минимизировать вероятность возникновения аварийных ситуаций, а так же повысить точность учёта объёмов потребляемых ресурсов [1-5].

На сегодняшний день большинство современных датчиков давления создаются с использованием тензорезистивного чувствительного элемента. Использование такого типа датчиков в широком температурном диапазоне приводит к необходимости минимизации температурной погрешности. Дополнительная погрешность из-за влияния температуры возникает при

использовании тензорезистивного чувствительного элемента из-за изменения сопротивления тензорезистора с изменением температуры. А так же из-за температурного изменения упругих параметров металла корпуса и диафрагмы, диэлектрической подложки и полупроводникового тензорезистора. В результате и происходит существенный дрейф нуля и сужение диапазона выходного сигнала канала давления. Например, при изменении температуры в диапазоне от минус 40 °С до 80 °С, возможно изменение выходного напряжения тензорезистивного чувствительного элемента давления на 36%, что приводит к возникновению погрешности измерения давления в данном температурном диапазоне порядка 12–18% [1-5].

Возможно снижение влияния температуры, на точность вычисления давления, совершенствуя конструкцию датчика и его аналоговых схем. Такие методы позволяют обеспечить снижение дополнительной температурной погрешности на порядок [1-5].

С появлением датчиков содержащих в своём составе микроконтроллер появилось новое перспективное направление снижения влияния температуры на точность измерения давления заключающееся в использовании математических моделей передаточных характеристик тензорезистивного чувствительного элемента (ПХТЧЭ). Этот метод подразумевает разбиение пространственной передаточной характеристики на области по давлению и температуре и построении для каждой из этих областей аппроксимирующих полиномов [6-10].

Передаточную характеристику при использовании такой пространственной модели можно представить в виде системы локальных поверхностей, описанных функциональной зависимостью [6-10]:

$$P = f_{il}(U_P, U_T). \quad (1)$$

Локальные поверхности перекрываются на границах, что снимает неопределенность при принятии решения о принадлежности сигналов каналов давления (U_{Pj}) и температуры (U_{Tj}) к той или другой области, если значения этих сигналов принадлежат границе этих областей. Разбиение передаточной характеристики на локальные элементарные поверхности производится как по давлению, так и по температуре.

Примером таких функциональных зависимостей служат [6-10]:

– линейная функциональная зависимость, служащая основой метода линейной компенсации (МЛК):

$$P_{\bar{j}} = A_{МЛК_{\alpha\beta}} + B_{1МЛК_{\alpha\beta}} U_{P_{\bar{j}}} + B_{2МЛК_{\alpha\beta}} U_{T_{\bar{j}}}, \quad \text{при } \bar{i} = 1 \dots N_P, \quad \bar{j} = 1 \dots N_T; \quad (2)$$

– параболическая функциональная зависимость, являющаяся основой метода параболической компенсации (МПК):

$$\left. \begin{aligned} P_{\bar{i}\bar{j}} &= A_{\text{МПК}_{\alpha\beta}} + B_{1\text{МПК}_{\alpha\beta}} U_{P_{\bar{i}\bar{j}}} + B_{2\text{МПК}_{\alpha\beta}} U_{P_{\bar{i}\bar{j}}}^2 \\ A_{\text{МПК}_{\alpha\beta}} &= \gamma_{00_{\alpha\beta}} + \gamma_{01_{\alpha\beta}} U_{T_{\bar{i}\bar{j}}} + \gamma_{02_{\alpha\beta}} U_{T_{\bar{i}\bar{j}}}^2, \\ B_{1\text{МПК}_{\alpha\beta}} &= \gamma_{10_{\alpha\beta}} + \gamma_{11_{\alpha\beta}} U_{T_{\bar{i}\bar{j}}} + \gamma_{12_{\alpha\beta}} U_{T_{\bar{i}\bar{j}}}^2, \\ B_{2\text{МПК}_{\alpha\beta}} &= \gamma_{20_{\alpha\beta}} + \gamma_{21_{\alpha\beta}} U_{T_{\bar{i}\bar{j}}} + \gamma_{22_{\alpha\beta}} U_{T_{\bar{i}\bar{j}}}^2, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где $\bar{i} = 1 \dots \bar{N}_P$, $\bar{j} = 1 \dots \bar{N}_T$ – номера текущей области разбиения ПХТЧЭ по давлению и температуре; \bar{N}_P, \bar{N}_T – число экспериментальных точек по давлению и температуре; $P_{\bar{i}\bar{j}}$ – значение давления, принадлежащие текущей области ПХТЧЭ; $U_{P_{\bar{i}\bar{j}}}, U_{T_{\bar{i}\bar{j}}}$ – значения сигнала канала давления и температуры, принадлежащие текущей области разбиения ПХТЧЭ; $A_{\text{МЛК}_{\alpha\beta}}, B_{1\text{МЛК}_{\alpha\beta}}, B_{2\text{МЛК}_{\alpha\beta}}$ – коэффициенты аппроксимации для текущей области разбиения ПХТЧЭ при использовании МЛК; $A_{\text{МПК}_{\alpha\beta}}, B_{1\text{МПК}_{\alpha\beta}}, B_{2\text{МПК}_{\alpha\beta}}$ – коэффициенты аппроксимации для текущей области разбиения ПХТЧЭ при использовании МПК.

Компенсация дополнительной температурной погрешности при использовании линейных или параболических пространственных элементов позволяет снизить приведённую погрешность вычислений значений давления до 0,15% [6-10].

Использование описанного метода требует учитывать, что исходные данные, поступающие для вычисления значений давления, содержат погрешности. Эти погрешности обусловлены наличием основной погрешности чувствительных элементов каналов давления и температуры. У большинства современных чувствительных элементов приведённая основная погрешность лежит в диапазоне от 0,075% до 0,2%. Использование более дешёвых чувствительных элементов может увеличить эту погрешность до 1% [6-10]. При использовании единых коэффициентов аппроксимации для серии чувствительных элементов возможно различие ПХТЧЭ разных экземпляров, обусловленное особенностями технологических процессов производства. Это также вносит погрешность в исходные данные, поступающие на обработку в микроконтроллере. Для оценки влияния погрешностей сигналов каналов давления и температуры на точность вычислений значений давления с использованием рассматриваемых моделей проведём ана-

лиз погрешности вычислений значений давления по исходным данным, содержащим дополнительно внесённую систематическую погрешность. Аппроксимирующие коэффициенты, рассчитывается для эталонных экспериментальных данных. Приведённая погрешность чувствительных элементов давления и температуры задавалось в диапазоне от 0 % до 10 % с шагом 0,05%. Погрешность накладывается на данные сигналов канала давления, на данные сигнала канала температуры и одновременно на оба канала. На рис. 1 приведена зависимость погрешности вычислений значений давления с использованием плоскостных пространственных элементов от абсолютной величины амплитуды трансформируемой погрешности. На рис. 2 – приведён аналогичный график для вычислений значений давления с использованием параболических пространственных элементов. Показан наихудший вариант, когда погрешность на канале давления имеет положительную амплитуду, а на канале температуры – отрицательную.

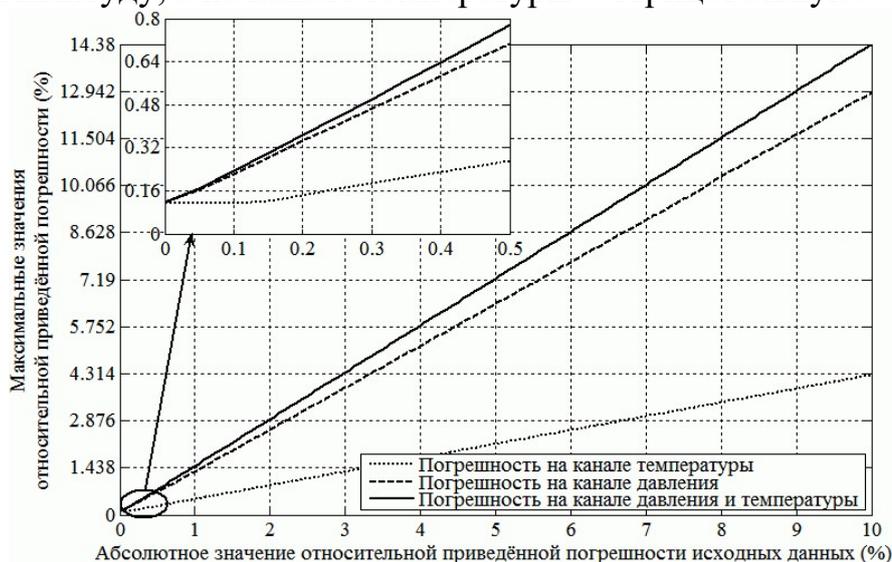


Рис. 1. Зависимость погрешности вычислений значений давления при использовании плоскостных пространственных элементов

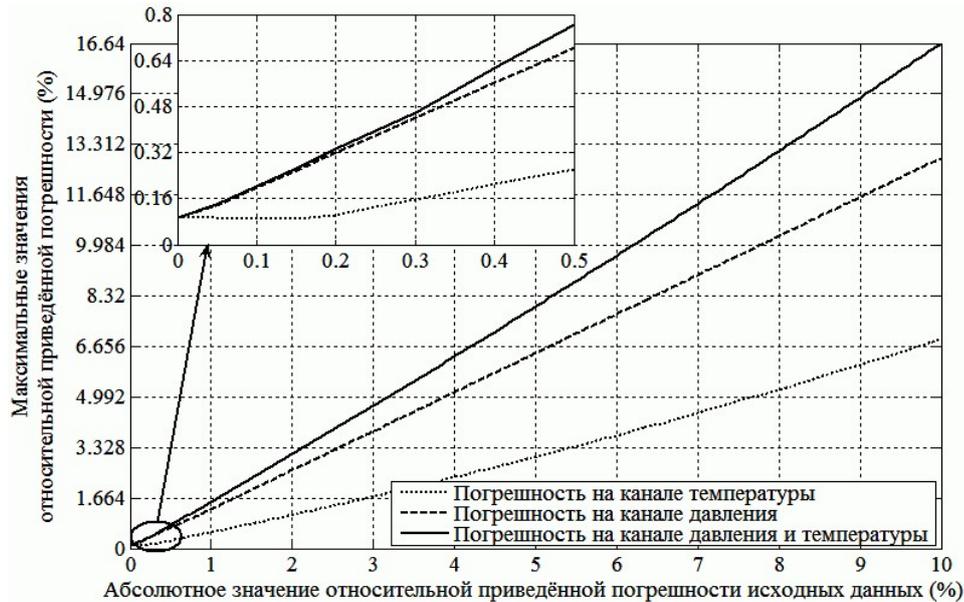


Рис. 2. Зависимость погрешности вычислений значений давления при использовании параболических пространственных элементов

Из рис. 1, рис. 2 следует, что компенсация температурной погрешности при вычислениях значений давления с применением линейного пространственного элемента менее чувствительны к погрешности исходных данных, по сравнению с использованием параболического пространственного элемента. Если приведённые основные погрешности менее 0,5% (это соответствует или ниже параметров типичных, современных чувствительных элементов) точность вычислений значений давления с использованием МПК будет выше, чем при применении МЛК за счёт более низкой базовой погрешности используемого метода;

Применение линейных и параболических пространственных элементов приводит к увеличению основной погрешности датчика в 1,5–1,6 раза, но при этом практически полностью минимизируется дополнительная погрешность из-за влияния температуры. Параболический элемент даёт некоторое преимущество перед линейным, особенно при использовании чувствительных элементов с низкой основной погрешностью.

Применение любого из рассмотренных методов позволяет существенно снизить погрешность измерения давления тензорезистивном датчиком давления в широком температурном диапазоне.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гусаров В.В.* Тенденции в совершенствовании программ и методик испытаний датчиков давления.// Мир измерений. – 2002. – № 7–8. – С. 23–27.
2. Научно-технические, технологические и практические основы конструирования датчиковой аппаратуры для измерений физических величин в 5-ти томах. Том 1. Датчиковая аппаратура давлений: монография. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2010. -579 с.
3. *Bartkovjak J., Karovičová M.* Approximation by Rational Functions//Measurement Science Review. 2001.V.1, N.1. P. 63-65
4. *Янчич В.В., Панич А.Е., Янчич Вл.В.* Перспективы применения интегрированных многофункциональных преобразователей в пьезоэлектрических датчиках механических величин // Инженерный вестник Дона, 2010, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2010/209
5. *Фрайден Дж.* Современные датчики. Справочник - Москва: Техносфера, 2005. - 592 с.
6. *Пьявченко О.Н., Мокров Е.А., Панич А.Е., Клевцов С.И., Пьявченко А.О., Удод Е.В., Федоров А.Г.* Методы, модели, алгоритмы и архитектура прецизионных интеллектуальных датчиков давления /Под ред. д.т.н. профессора О.Н. Пьявченко. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2007. – 130 с.
7. *Клевцов С.И., Удод Е.В.* Пространственная плоскостная модель градуировочной характеристики интеллектуального датчика давления // Известия ТРТУ. 2005. –№1. – С.99-107.
8. *Удод Е.В.* Влияние погрешностей чувствительных элементов на точность вычислений значений давления с применением пространственной градуировочной характеристики тензорезистивного чувствительного элемента // Материалы международной научной конференции «Информационное общество: идеи, технологии, системы» - часть 3 – Таганрог:ТТИ ЮФУ, 2010. С.87-92.
9. *Зори А.А., Клевцов С.И., Корнев В.Д., Пьявченко О.Н., Хламов М.Г.* Информационно-измерительные системы. Применение интеллектуальных модулей, методов и средств повышения точности физических измерений. – Донецк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2011. – 206 с.
10. *Шапонич Д., Жигич А.* Коррекция пьезорезистивного датчика давления с использованием микроконтроллера // Приборы и техника эксперимента. 2001, №1, с. 54-60.

Удод Евгений Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры встраиваемых и радиоприёмных систем Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Петровская 81, 347900, телефон: +7 (8634) 32-80-25, email: evudod@sfedu.ru.

Udod Eugene Vasilevich – Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), associate professor of embedded systems Southern Federal University, 347900, Russia, Taganrog, 81 Petrovskaya street, phone: +7 (8634) 32-80-25, email: evudod@sfedu.ru.

УДК: 621.375

Бугакова Анна Витальевна, Дроздов Дмитрий Геннадьевич,
Титов Алексей Евгеньевич, Овсепян Елена Владимировна

РАДИАЦИОННО-СТОЙКИЙ И НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ БИПОЛЯРНО-ПОЛЕВОЙ БУФЕРНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ С РЕЖИМОМ КЛАССА АВ

Рассматривается новая архитектура буферного усилителя (БУ) для практического использования в аналоговых микросхемах и интерфейсах датчиков. Предлагаемое схемотехническое решение выполнено на базовом матричном кристалле АБМК_1.7 (ОАО «Интеграл», г. Минск, Беларусь) и может использоваться в биполярно-полевых (BiJFet) операционных усилителях, компараторах, компенсационных стабилизаторах напряжения и т.п., работающих в тяжелых условиях эксплуатации. Компьютерное моделирование БУ выполнено в среде PSpice на моделях интегральных транзисторов, учитывающих влияние радиации и низких температур. Рассмотренный БУ обладает в режиме класса АВ высокой линейностью амплитудной характеристики, малым входным током и высоким входным дифференциальным сопротивлением.

Буферный усилитель, режим класса АВ, BiJFet технологический процесс, низкие температура, воздействие проникающей радиации, базовый матричный кристалл, амплитудная характеристика.

Bugakova Anna Vitalievna, Drozdov Dmitriy Gennadievich,
Titov Alexey Evgenyevich, Ovsepyan Elena Vladimirovna

RADIATION-RESISTANT AND LOW-TEMPERATURE BIPOLAR-FIELD BUFFER AMPLIFIER OPERATING IN CLASS AB MODE

A new buffer amplifier (BA) architecture for practical use in analog microcircuits and sensor interfaces is under consideration. The proposed circuit solution is made on the basic ABMK_1.7 array chip (JSC "Integral", Minsk, Belarus) and can be used in bipolar-field (BiJFet) operational amplifiers, comparators, compensatory voltage stabilizers, etc., operating in harsh environments. Computer simulation of the control unit is made in the PSpice environment on the models of integrated transistors, taking into account the influence of radiation and low temperatures. The considered BA in the class AB-mode has a high amplitude response linearity, a small input current and a high input differential resistance.

Buffer Amplifier, AB Class Mode, BiJFet Technological Process, Low Temperature, Penetrating Radiation, Array Chip, Amplitude Response.

Введение

В настоящее время широкое применение находят в качестве типового функционального узла (IP-модуля) аналоговых микросхем буферные усилители (БУ) [1-2], реализованные в виде истоковых повторителей на BiJFet или КМОП транзисторах [3-10]. Известны также двухтактные выходные каскады только на КМОП транзисторах с р- или n-каналами [7-8]. В ряде случаев двухтактные выходные каскады выполняются на входных КМОП транзисторах и выходных биполярных (BJT) транзисторах [9]. Благодаря простоте вышеназванные схемотехнические решения наиболее популярны как в зарубежных, так и в российских аналоговых микросхемах, реализуемых на основе типовых технологических процессов. Известно значительное количество схем БУ, которые реализуются на BJT и полевых (BiJFet, КМОП, КНИ, КНС и др.) транзисторах, а также при их совместном включении [3-10]. Для работы в тяжелых условиях эксплуатации (воздействие низких, в т.ч. криогенных температур, потока нейтронов, накопленной дозы радиации, гамма-квантов и т.д.) хорошо зарекомендовали себя микросхемы на основе BiJFet технологического процесса [12]. Однако данный технологический процесс не обеспечивает удовлетворительную работу

аналоговых микросхем с использованием в их сигнальных цепях $p-n-p$ транзисторов [12]. В этой связи, например, в $BiJFet$ операционных усилителях, рекомендуется преимущественно применять только полевые транзисторы с управляющим $p-n$ переходом и биполярные $n-p-n$ транзисторы [1,12]. Это накладывает существенные ограничения на применяемые схемотехнические решения выходных каскадов аналоговых микросхем данного класса.

Основная цель статьи – разработка и исследование радиационно-стойкого и низкотемпературного БУ для $BiJFet$ технологического процесса, не содержащего $p-n-p$ транзисторов (например, на основе базовых матричных кристаллов ОАО «Интеграл», г. Минск АБМК-1.3, АБМК-1.7, АБМК-2.1 и др.), обеспечивающего двухтактное преобразование входного напряжения (режим класса АВ) при высокой линейности проходной характеристики, малом входном токе и высоком входном дифференциальном сопротивлении [11].

Особенности схемы БУ для $BiJFet$ технологического процесса

Моделирование амплитудной характеристики (АХ) предлагаемого БУ рис. 1а [11] проведено в среде PSpice (рис. 1б) для сильноточных (PADJ) транзисторов базового матричного кристалла АБМК_1.7 [12].

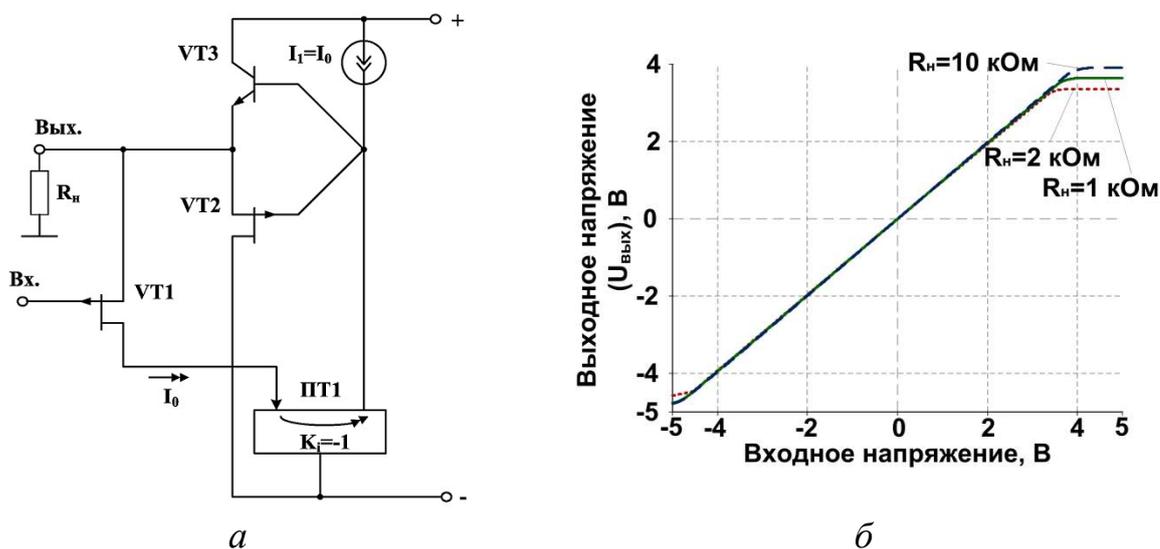


Рис. 1. Схема БУ (а) и его АХ (б) при токе $I_1=300\mu A$, разных сопротивлениях нагрузки ($R_n=1\text{ кОм}$, $R_n=2\text{ кОм}$, $R_n=10\text{ кОм}$) и температуре $27^\circ C$ [11]

В статическом режиме в БУ рис. 1а ($R_n=\infty$, $U_{ex}=0$) при единичном коэффициенте передачи по току токового зеркала ПТ1 ($K_i=1$) устанавливаются следующие токи

$$\begin{aligned} I_{VT1} &= I_1 = I_0, \\ I_{VT3} &= I_{VT1} + I_{VT2} = I_0 + I_{VT2}, \end{aligned} \quad (1)$$

где I_{VT1} , I_{VT2} – ток истока полевого транзистора VT1 и VT2 соответственно при напряжении затвор-исток $U_{зи} \approx 0,7B$; I_1 – ток токостабилизирующего двухполюсника I_1 ; I_{VT3} – ток эмиттера выходного биполярного транзистора VT3.

Если на вход БУ подается положительное входное напряжение $u_{ex}^{(+)}$, то в нагрузке R_n образуется выходной ток $i_n^{(+)}$, максимальное значение которого определяется формулой

$$I_{n,max}^{(+)} = \beta_{VT3} \cdot I_1 = \beta_{VT3} \cdot I_0, \quad (2)$$

где β_{VT3} – коэффициент передачи по току базы выходного биполярного транзистора VT3.

При отрицательном приращении входного напряжения БУ ток нагрузки обеспечивается транзистором VT2. При этом ток истока полевого транзистора VT1 не изменяется ($I_{VT1} \approx I_0 \approx I_1$) и, следовательно, приращение выходного напряжения в данном режиме БУ соответствует приращению его входного напряжения. Как следствие, максимальный отрицательный ток в R_n будет определяться максимальным током стока полевого VT2. В ряде случаев в исток VT2 может вводиться дополнительный p-n переход, что позволяет уменьшить статический ток данного активного элемента.

Буферный усилитель для CJFet технологического процесса

Разработанный в АО «НПП «Пульсар» (г. Москва) [13] CJFet технологический процесс, позволяет реализовать схему БУ рис. 1а, только на полевых транзисторах с управляющим p-n переходом. Также схемотехническое решение, в связи с исключением биполярных транзисторов, может обладать высокой радиационной стойкостью в более широком диапазоне низких температур, где β биполярных транзисторов существенно уменьшается.

Выводы

Разработанный БУ имеет общую отрицательную обратную связь относительно выхода, что обеспечивает высокую линейность амплитудной характеристики. Результаты исследования показывают, что предлагаемая

схемотехника адаптирована на применение БУ в диапазоне низких температур и в условиях воздействия проникающей радиации [12] при её реализации на базовых матричных и структурных кристаллах ОАО «Интеграл» (г. Минск), а также в рамках CJFet технологического процесса АО «НПП «Пульсар» (г. Москва).

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ (проект № 16-19-00122-П).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Buffer Amplifier [Электронный ресурс] // Journals & Books ScienceDirect, Elsevier. 2019. URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/buffer-amplifier> (дата обращения: 24.05.2019).
2. Fiore J.M. Operational Amplifiers & Linear Integrated Circuits: Theory and Application [Электронный ресурс] // Version 3.1.0, 28 March 2019. URL: https://www2.mvcc.edu/users/faculty/jfiore/OpAmps/OperationalAmplifiersAndLinearICs_3E.pdf (дата обращения: 24.05.2019).
3. Патент 2.523.947 РФ, МПК H03F 3/00. Выходной каскад усилителя мощности на основе комплементарных транзисторов / О.В. Дворников, Н.Н. Прокопенко, Будяков П.С., Н.В. Бутырлагин. – № 2013101657/08; заявл. : 11.01.2013; опубл. 27.07.2014 Бюл. № 21. – 5 с.: ил.
4. Patent US 6,433,638B1, Int. Cl. H03F 3/45; H03F 1/36. Fully Balanced Transimpedance Amplifier for High Speed and Low Voltage Applications / R.B. Heineke; S.A.Olson, D.P. Swart, G.W. Swift. – 09/655,816; Filed: Sep. 6, 2000; Date of Patent: Aug. 13, 2002. – 8 p.
5. Patent US 6,342,814 B1, Int. Cl. H03F 3/45. Operational Amplifier / K. Suzuki. – 09/574,109; Filed: May 19, 2000; Date of Patent: Jan. 29, 2002. – 15 p.
6. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: пер. с англ. Изд. 2-е. – М.: Издательство БИНОМ. 2014. – 704 с.
7. Patent US 7,548,117 B2, Int. Cl. H03F 1/4. Differential Amplifier Having an Improved Slew Rate / G. Zhang, F. Meng. – 11/654,976; Filed: Jan. 18, 2007; Date of Patent: Jun. 16, 2009. – 8 p.
8. Boonyaporn P., Kasemsuwan V. A High Performance Class AB CMOS Rail to Rail Voltage Follower // 2002 IEEE Asia-Pacific Conference, pp. 161-163.
9. Patent US 4,420,726, Int. Cl. H03F 3/16. Voltage-Followers with Low Offset Voltages / A.L. Limberg. – 271,026; Filed: Jun. 4, 1981; Date of Patent: Dec. 13, 1983. – 7 p.

10. Элементная база радиационно-стойких информационно-измерительных систем: монография / Н.Н. Прокопенко, О.В. Дворников, С.Г. Крутччинский // Шахты: ФГБОУ ВПО «ЮРГУЭС», 2011. – 208 с.
11. Пат. 2677401 РФ, МПК H03F 3/45, H03F 3/185. Биполярно-полевой буферный усилитель / Е.В. Овсепян, А.А. Жук, Н.Н. Прокопенко– № 2018107729/08; заявл. 02.03.2018; опубл. 16.01.2019, Бюл. № 2. – 12с.: ил.
12. 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 // O.V. Dvornikov, V.L. Dziatlau, N.N. Prokopenko, K.O. Petrosiants, N.V. Kozhukhov and V.A. Tchekhovski / 2017 IEEE SIBCON, 2017, pp. 1-6.
13. Дроздов Д.Г. СВЧ комплементарный биполярный технологический процесс с высокой степенью симметрии динамических параметров транзисторов // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Специальность 05.27.01. г. Москва 2017, с. 165.

Бугакова Анна Витальевна – аспирант кафедры «Информационные системы и радиотехника», младший научный сотрудник отдела «Управление научных исследований» Донского государственного технического университета, Россия, город Ростов-на-Дону, пл. Гагарина 1, 344000, телефон: +7-909-416-93-80, email: annabugakova.1992@mail.ru.

Дроздов Дмитрий Геннадьевич – к.т.н., начальник сектора Центра проектирования ИМС АО "НПП "Пульсар", Россия, город Москва, пр-д Окружной 27, 105187; доцент кафедры «Твердотельная электроника» Физико-технологического института МИРЭА, Россия, город Москва, проспект Вернадского 78, 119454, телефон: +7-905-700-65-31, email: [drozdov_dmitrii@pulsarnpp.ru](mailto:drozдов_dmitrii@pulsarnpp.ru).

Титов Алексей Евгеньевич – к.т.н., доцент кафедры «Системы автоматического управления» Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, ул. Энгельса 1, 347928, телефон: +7-961-432-22-23, email: alex.evgeny.titov@gmail.com.

Овсепян Елена Владимировна – инженер отдела «Управление научных исследований» Донского государственного технического университета, Россия, город Ростов-на-Дону, пл. Гагарина 1, 344000, телефон: +7-961-321-69-29, email: ovsepyan.elenka@bk.ru.

Bugakova Anna – PhD-Student of the Department "Information Systems and Radio Engineering", Junior Researcher of the Department "Management of Scientific Re-

search" Don State Technical University, Russia, Rostov-on-Don, Gagarin qu., 1, 344000, phone: + 7-909-416-93-80, email: annabugakova.1992@mail.ru.

Drozdov Dmitry – Ph.D., Head of the Sector of the "Center for Design of IC" JSC "Scientific and Production Enterprise" Pulsar ", Russia, Moscow, Okruzhnaya av., 27, 105187; Associate Professor of the "Solid State Electronics" Department of the Physics and Technology Institute MIREA, Russia, Moscow, Vernadsky av., 78, 119454, phone: + 7-905-700-65-31, email: drozdov_dmitrii@pulsarnpp.ru.

Titov Alexey Evgenyevich – Ph.D., Associate Professor, Department of "Automatic Control Systems" Southern Federal University, Russia, Taganrog, Engels st., 1, 347928, phone: + 7-961-432-22-23, email: alex.evgeny.titov@gmail.com.

Ovsepyan Elena Vladimirovna – Engineer of the Department "Management of Scientific Research" Don State Technical University, Russia, Rostov-on-Don, Gagarin qu., 1, 344000, phone: + 7-961-321-69-29, email: ovsepyan.elenka@bk.ru.

УДК 621.372.54

Денисенко Дарья Юрьевна, Прокопенко Николай Николаевич,
Жебрун Евгений Андреевич, Бутырлагин Николай Владимирович

ПОЛОСОВОЙ RC-ФИЛЬТР С НЕЗАВИСИМОЙ ПОДСТРОЙКОЙ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Предлагается новая структура полосового RC-фильтра (ПФ), которая рекомендуется для использования в качестве звена второго порядка в составе более сложных устройств адаптивной частотной селекции. Показано, что в рассматриваемом ПФ обеспечивается независимая подстройка основных параметров - частоты полюса, затухания полюса, а также коэффициента передачи в полосе пропускания. Представлены результаты компьютерного моделирования, подтверждающие работоспособность разработанной схемы ПФ.

Ключевые слова: интеллектуальные системы управления, полосовой RC-фильтр, полосовой фильтр высокого порядка, подстройка параметров, цифровой потенциометр

Denisenko Daria Yuryevna, Prokopenko Nikolay Nikolayevich,
Zhebrun Yevgeny Andreevich, Butyrlagin Nikolay Vladimirovich

THE BANDPASS RC-FILTER WITH INDEPENDENT ADJUSTMENT OF BASIC PARAMETERS FOR INTELLIGENT CONTROL SYSTEMS

We proposes a new structure of bandpass RC-filter (BPF), which is recommended for use as a link of the second order in the composition of more complex adaptive frequency selection devices. It is shown that in the considered BPF an independent adjustment of the main parameters is provided - the pole frequency, the pole attenuation, and the transmission coefficient in the passband. The results of computer simulation, confirming the performance of the developed BPF scheme, are presented.

Intelligent control systems, band-pass RC-filter, high order band-pass filter, parameter tuning, digital potentiometer.

Введение

Полосовые ARC-фильтры (ПФ) относятся к числу достаточно распространенных аналоговых устройств, определяющих качественные показатели многих радиотехнических систем, в том числе для цифровой обработки сигналов [1-3].

Как показано в [4-6], в большинстве известных ПФ, при подстройке одного параметра изменяются другие параметры, например, при изменении затухания полюса (d_p), изменяется частота полюса (ω_p), или коэффициент передачи (M). Настройка полосовых ARC-фильтров может осуществляться цифровой коммутацией наборов резисторов схемы, их лазерной подгонкой, а также с помощью цифровых потенциометров [7].

Цель и новизна настоящей статьи состоит в исследовании свойств новой схемы активного полосового ARC-фильтров, которая обеспечивает независимую подстройку основных параметров (ω_p , d_p , M) [8, 9].

Полосовой ARC-фильтр с независимой подстройкой основных параметров

На рис. 1 показана схема предлагаемого ПФ, обеспечивающего независимую подстройку трех основных параметров АЧХ – частоты полюса (ω_p), затухания полюса (d_p), а также коэффициента передачи в полосе пропускания (M) [10].

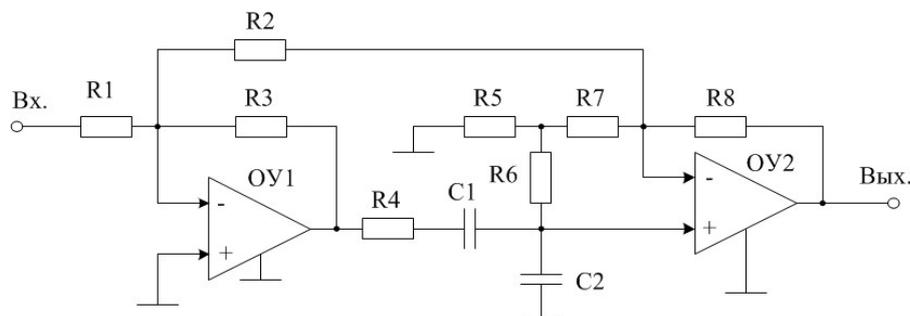


Рис. 1. Схема полосового АРС-фильтра

Свойства схемы классического полосового фильтра второго порядка, в том числе схемы рис. 1, определяются его передаточной функцией [2]

$$F(s) = \frac{U_{\text{вых.}}(s)}{U_{\text{вх.}}(s)} = M \frac{sd_p \omega_p}{s^2 + sd_p \omega_p + \omega_p^2}, \quad (1)$$

где M – коэффициент передачи фильтра на центральной частоте; ω_p – частота полюса; d_p – затухание полюса.

Коэффициенты передаточной функции ПФ рис.1 определяются по выражениям:

коэффициент передачи

$$M = - \frac{\frac{R_3}{R_1} \left(1 + \frac{R_8}{R_5 + R_7} \right)}{\frac{C_2}{C_1} + 1 + \frac{R_3}{R_2} + \frac{R_7}{R_7 + R_5} \frac{R_4}{R_6}}, \quad (2)$$

частота полюса

$$\omega_p = \sqrt{\frac{R_7}{R_7 + R_5}} \cdot \frac{1}{\sqrt{R_4 C_1 R_6 C_2}}, \quad (3)$$

затухание полюса

$$d_p = \sqrt{1 + \frac{R_5}{R_7}} \times \left(\sqrt{\frac{R_6 C_2}{R_4 C_1}} + \left(1 + \frac{R_3}{R_2} \right) \sqrt{\frac{R_6 C_1}{R_4 C_2}} + \frac{R_7}{R_7 + R_5} \sqrt{\frac{R_4 C_1}{R_6 C_2}} \right), \quad (4)$$

где $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7, R_8$ – сопротивления резисторов R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8 соответственно, C_1, C_2 – емкости конденсаторов C1 и C2 соответственно.

Независимая настройка параметров ПФ рис. 1 возможна тогда, когда при настройке последующего параметра схемы не потребуется изменять сопротивления резисторов, определяющие уже настроенный параметр. Из

анализа полученных выше формул (2)-(4) для ω_p , d_p , M следует, что в предлагаемом ПФ рис. 1 такая настройка осуществима в следующей последовательности [10]:

Первый этап: настраивается частота полюса ω_p путем изменения сопротивлений резисторов (R5 и R7). Далее номиналы этих резисторов фиксируются.

Второй этап: настраивается затухание полюса d_p путем изменения сопротивлений резисторов R2 и R3. На втором этапе сопротивления резисторов R5 и R7 не изменяются.

Третий этап: настраивается коэффициент передачи M путем изменения сопротивления резисторов R1 и R8. На этом этапе сопротивления резисторов R2, R3, R4, R5, R6, R7 не изменяются.

Следует заметить, что другие известные схемы ПФ, выполненные на двух операционных усилителях, данным свойством не обладают.

Результаты компьютерного моделирования

Эффективность рассмотренного выше алгоритма настройки ПФ рис. 1 подтверждается результатами компьютерного моделирования (рис. 2 – рис. 4).

При моделировании схемы рис. 1 собственная частота полюса RC-цепи

$$f_{RC} = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_4 C_1 R_6 C_2}},$$

была выбрана равной 1000 Гц. В рассматриваемой схеме ПФ при любом соотношении сопротивлений резисторов R5 и R7 частота полюса фильтра будет всегда ниже частоты полюса RC-цепи [10].

На рис. 2 приведены амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики полосового фильтра рис. 1 при подстройке частоты полюса ω_p . По виду ФЧХ можно судить, что частота полюса ω_p , на которой фазовый сдвиг равен -180° , изменяется за счет резисторов R5 и R7 в относительно широких пределах [10].

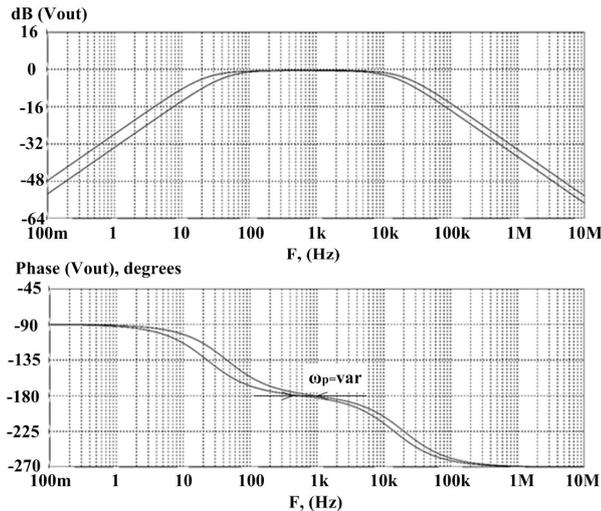


Рис. 2. Амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики полосового фильтра при подстройке частоты полюса ω_p

На рис. 3а показаны амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики ПФ рис. 1 при подстройке затухания полюса d_p . По виду ФЧХ рис. 3 можно установить, что при изменении сопротивлений резисторов R3 и R2 изменяются наклон ФЧХ в области частоты полюса и подъем АЧХ на этой частоте. При этом частота полюса остается неизменной ($\omega_p = const$). При настройке затухания полюса изменяются частоты, на которых фазовый сдвиг составляет -135° и -225° . На рис. 3б представлены амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики полосового фильтра рис. 1 при подстройке коэффициента передачи M.

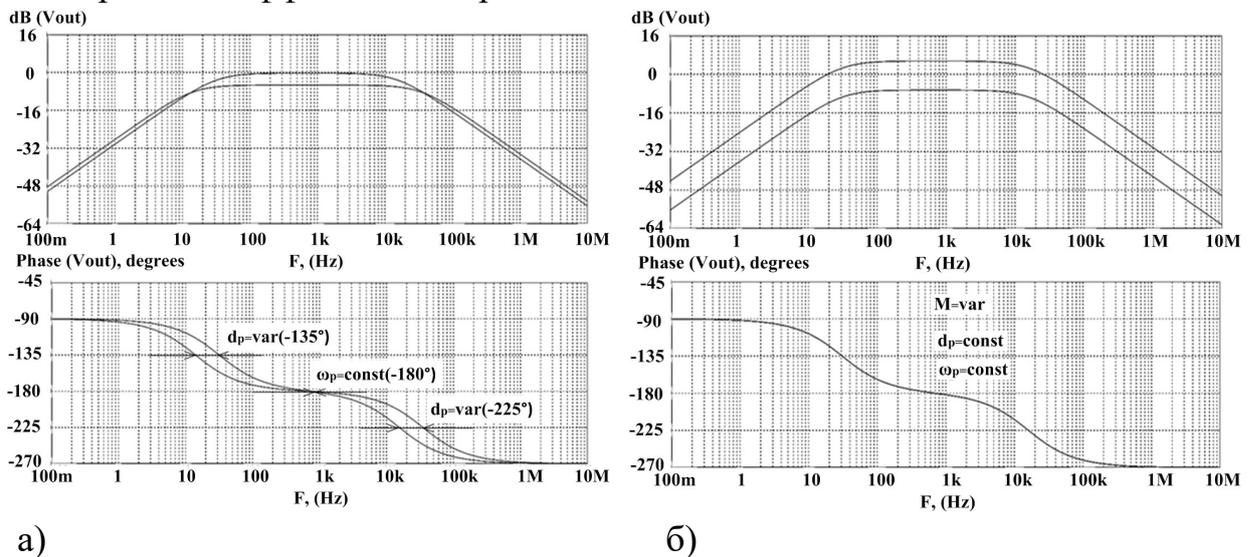


Рис. 3. Амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики полосового фильтра при подстройке затухания полюса d_p (а) и коэффициента передачи M (б)

При изменении коэффициента M передачи на центральной частоте с помощью сопротивлений резисторов R_1 и R_8 изменяется только общий уровень АЧХ, при этом ФЧХ не изменяется – рис. 3б [10].

Выводы

Разработана схема полосового ARC-фильтра, обеспечивающая независимую подстройку основных параметров (ω_p , d_p , M) в полосе пропускания.

Подстройка пассивных элементов ПФ может осуществляться цифровой коммутацией наборов резисторов схемы, их лазерной подгонкой, а также микросхемами цифровых потенциометров.

Результаты исследований получены в ходе выполнения гранта Российского научного фонда № 18-79-10109.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Мошниц Г., Хорн П.* Проектирование активных фильтров: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984, 320 с.
2. *Букашкин С.А., Власов В.П., Змий Б.Ф.* Справочник по расчету и проектированию ARC-схем / М.: Радио и связь, 1984, 368 с.
3. *Ignashin A.A., Serebryakov A.I., Medvedev D.V., Budyakov P.S.* Bandpass RC-filters of the second-order based on the micropower two-component differential stages / EWDTS 2016, pp. 1-4.
4. *Temes G.C., Mitra S.K.* Modern filter theory and design, New York, Wiley, 1973, 566 p.
5. *Heinlein W.E., Holmes W.H.* Active Filters for Integrated Circuits: Fundamentals and Design Methods / Muenchen, R. Oldenbourg, New York, Springer-Verlag New York, 1974, 668 p.
6. *Williams A.B., Taylor F.J.* Electronic filter design handbook / Fourth Edition, McGRAW-HILL, 2006, 782 p.
7. *Денисенко Д.Ю., Иванов Ю.И., Прокопенко Н.Н., Дмитриенко Н.А.* Digital Potentiometers in the Tasks of Settings Precision Analog RC-filters Taking into Account the Tolerances for Passive Components / 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON MICRO/NANOTECHNOLOGIES AND ELECTRON DEVICES (EDM 2017), pp. 205-210.
8. *Denisenko D.Yu., Prokopenko N.N., Ivanov Yu.I., Zhebrun E.A.* Band-Pass ARC-Filter Based on the Classical Wien Bridge with the Pole Frequency Rise and Independent Adjustment of the Main Parameters / 2018 IEEE International Conference

on Electrical Engineering and Photonics (EExPolytech-2018), October 22-23, 2018, Saint Petersburg, Russia, pp. 22-26.

9. *Denisenko D., Prokopenko N., Ivanov Yu., Butyrlagin N.* The Band-Pass ARC-Filter on Two Operational Amplifiers with Downconversion of the Pole and Independent Trimming of the Main Parameters / 26th IEEE Telecommunications Forum TELFOR 2018, 20th and 21st November 2018, in the SAVA Center, Belgrade, Serbia, pp. 1-4.
10. Низкочувствительный полосовой фильтр с независимой подстройкой основных параметров: заявка на патент РФ; МПК: H03H 11/12 / Д.Ю. Денисенко, А.В. Бугакова, А.А. Игнашин, Н.Н. Прокопенко – № 2019106613/08; Заявл. 11.03.2019.

Денисенко Дарья Юрьевна – аспирант кафедры «Информационные системы и радиотехника» Донского государственного технического университета, Россия, город Ростов-на-Дону, пл. Гагарина 1, 344000, телефон: +7 (8636) 237222 доб. 2112, email: d.u.denisenko@gmail.com.

Прокопенко Николай Николаевич - д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Информационные системы и радиотехника» Донской государственной технической университет, Россия, город Ростов-на-Дону, пл. Гагарина 1, 344000; заведующий Научно-исследовательской лабораторией проблем проектирования в экстремальной микроэлектронике ИППИМ РАН и ДГТУ, ул. Советская, 3, 124681 Зеленоград, Россия, email: prokopenko@sssu.ru

Жебрун Евгений Андреевич – кандидат технических наук, дизайнер СБИС АО «НИИМА «Прогресс», Россия, Москва, проезд Черепановых, д. 54, телефон: +7 (499) 281-70-57, email: jackjk@mail.ru.

Бутырлагин Николай Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные системы и радиотехника» Донского государственного технического университета, Россия, город Ростов-на-Дону, пл. Гагарина 1, 344000, телефон: +7 (8636) 237222 доб. 2112, email: nbutyrlagin@mail.ru.

Denisenko Daria Yur'evna – PhD student of Department of Information Systems and Radio Engineering of Don State Technical University, Russia, Rostov-on-Don, 1 Gagarin square, 344000, phone: +7 (8636) 237222, add. 2112, email: d.u.denisenko@gmail.com.

Nikolay Nikolayevich Prokopenko - 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.

Zhebrun Evgeniy Andreevich – Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), designer of the VLSI JSC “NIIMA Progress”, Russia, Moscow, 54 Cherepanov Prospect, phone: +7 (499) 281-70-57, email: jackjk@mail.ru.

Butyrlagin Nikolay Vladimirovich – Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor of Department of Information Systems and Radio Engineering, Don State Technical University, Russia, Rostov-on-Don, 1 Gagarin square, 344000, phone: +7 (8636) 237222, add. 2112, email: nbutyrlagin@mail.ru.

УДК 621.396.96

Горбенко Александр Петрович

ОЦЕНКА ДИСПЕРСИИ ПОМЕХИ ПРИ НЕОДНОРОДНОЙ ВЫБОРКЕ

При обнаружении сигналов обзорными РЛС основной проблемой остается преодоление априорной неопределенности относительно параметров помеховых процессов. Обычно вид плотности распределения с допустимой достоверностью известен, а интенсивность процессов необходимо оценить. В работе рассмотрена помеха с гауссовским распределением и неизвестной дисперсией. Анализируется адаптивный оценочный алгоритм типа «скользящее окно». При этом рассматривается неоднородность выборки «кромка помехи».

Обнаружение, априорная неопределенность, адаптивное оценивание, неоднородность выборки, усеченная оценка.

Gorbenko Alexander Petrovich

THE ESTIMATE OF THE VARIANCE OF INTERFERENCE IN A HETEROGENEOUS SAMPLE

When signals are detected by survey radars, the main problem is overcoming a priori uncertainty about the parameters of noise processes. Usually the type of distri-

bution density with acceptable reliability is known, and the intensity of the processes must be estimated. The paper considers noise with Gaussian distribution and unknown dispersion. The adaptive evaluation algorithm of the "sliding window" type is analyzed. The inhomogeneity of the sample "interference edge" is considered.

Detection, a priori uncertainty, adaptive estimation, sample heterogeneity, truncated estimation.

Классическая теория обнаружения сигналов приняла законченный вид еще в середине прошлого века. Однако актуальность исследований в этой области не исчезла и в настоящее время. Причиной этому является то, что в реальной обстановке имеет место быть априорная неопределенность относительно параметров законов распределения помех, а иногда неизвестен и сам закон распределения. Это происходит в связи с большим разнообразием пассивных помех и, особенно, в случае обнаружения сигналов на фоне активных помех.

При работе обзорной РЛС в каждом элементе разрешения решается задача обнаружения сигналов [1]. В этом случае часто используется критерий Неймана-Пирсона, заключающийся в фиксации ошибки первого рода на допустимом уровне и минимизации ошибки второго рода. Как правило ошибка первого рода (ложная тревога) $P_{лт}$ задается для всей РЛС и может иметь порядок 10^{-3} - 10^{-4} . Задаваясь числом элементов разрешения по дальности, азимуту и углу места соответственно 1000, 200 и 50, получим общее число элементов разрешения $m=10^7$. При этом максимальное значение ложной тревоги в одном элементе разрешения $P_{лт1}$ будет равно [1]

$$P_{лт1} = P_{лт}/m = 10^{-10}.$$

При таком требуемом уровне вероятности ложной тревоги ошибочное снижение порога обнаружения всего на несколько дБ может привести к увеличению ложной тревоги на порядки. Это налагает жесткие требования на устройства стабилизации вероятности ложной тревоги.

На практике для оценки неизвестной дисперсии помехи широкое распространение получили различные устройства поэлементного усреднения [2]. Чаще всего – это схемы усреднения по соседним к анализируемому элементам разрешения по дальности. При этом выбор ширины «окна» должен обеспечивать постоянный уровень помехи. Несмещенная оценка дисперсии помехи определяется выражением

$$D = \frac{\sum_1^n (x_i - \tilde{m})^2}{n-1},$$

где $\tilde{m} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$ – среднее арифметическое.

В работе [2] проведен обстоятельный анализ классического устройства поэлементного усреднения, а также устройства, когда «окно» симметрично разбивается на две равные части, в которых оценивается дисперсия помехи, а затем большая оценка используется для установки порога обнаружения. Уровень помехи предполагается либо одинаковым в пределах «окна», либо одинаковым в пределах вышеуказанных частей окна (случай кромки помехи).

Оценим с помощью моделирования в среде SciLab качество оценивания дисперсии помехи классической схемой поэлементного усреднения в зависимости от ширины «окна», или другими словами от размера выборки, используемой для оценки дисперсии помехи. Будем полагать помеху нормальной с дисперсией $D=10$ и нулевым математическим ожиданием.

На рис. 1 приведена зависимость дисперсии оценки дисперсии в зависимости от объема выборки.

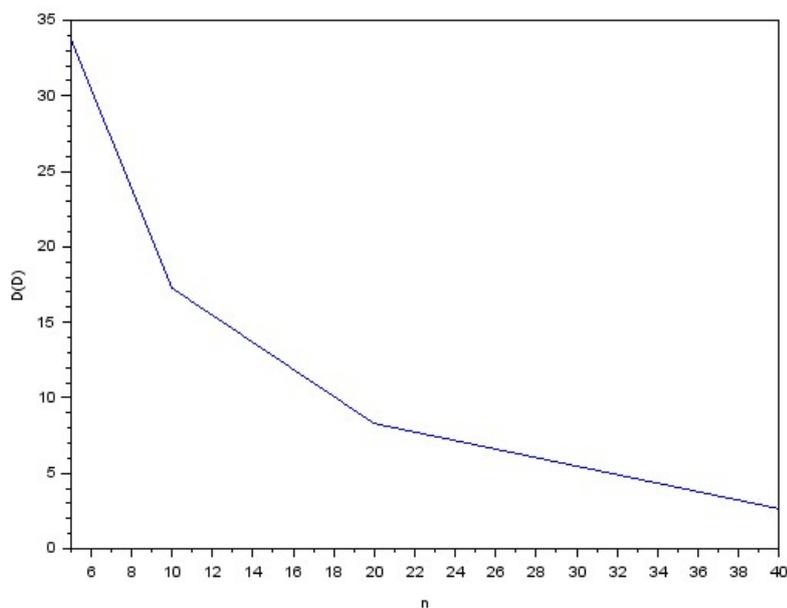


Рис. 1. Зависимость дисперсии оценки дисперсии от объема выборки

Анализ полученной зависимости показывает, что для достижения дисперсии оценки дисперсии на уровне истинного значения дисперсии помехи необходима ширина «окна» порядка 20 элементов. Условие однородности выборки в пределах 20 элементов разрешения обычно выполнимо для пассивных помех.

В условиях наличия активных помех задача существенно усложняется. Если при наличии пассивных помех ситуация, когда в пределах окна дисперсия помехи изменяется скачком («кромка помехи»), возникает относительно редко, то при наличии заградительных активных помех разного уровня, частота возникновения таких ситуаций резко увеличивается. В этом случае радиолокационную систему необходимо рассматривать как объект радиоэлектронной борьбы [3]. Проведем оценку дисперсии помехи с помощью программной среды SciLab для случая, когда в элементах разрешения 1-25 $D=10$, а элементах 26-50 $D=50$. При этом оценка осуществляется классической схемой поэлементного усреднения с шириной «окна» в 20 элементов.

На рис. 2 приведены выборочные оценки дисперсии помехи в зависимости от положения «скользящего окна» в трех обзорах. Другими словами при $k=1$ для оценки используются элементы с 1-го по 20-й, а для $k=31$ с 31-го по 50-й. В этом случае только в 6-ти первых положениях «окна» и 6-ти последних положениях «окна» оценка осуществляется по однородной выборке.

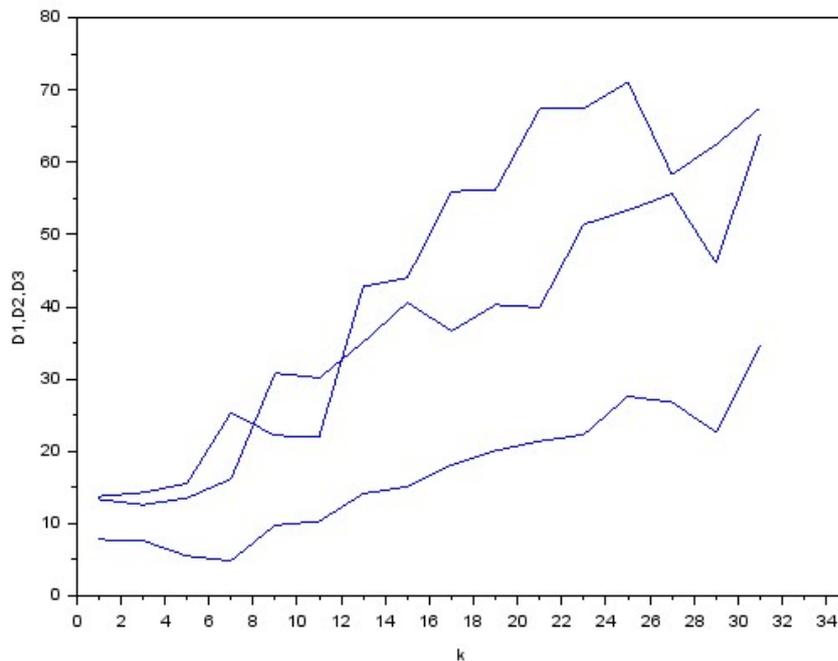


Рис. 2. Выборочные оценки дисперсии помехи от положения «скользящего окна» в трех обзорах.

Нетрудно заметить, что в этом случае задача стабилизации вероятности ложной тревоги резко усложняется. Рассмотрим некоторые подходы,

позволяющие частично упростить эту ситуацию. Один из подходов – использование для оценок усеченных, винзорированных и цензурированных выборок [4]. Однако эффективное использование, например, усеченных выборок возможно только тогда, когда относительно небольшое число элементов выборки имеют аномально высокие значения. В этом случае, после удаления таких элементов, качество оценки дисперсии помехи будет несколько хуже за счет уменьшения ширины «окна». Также при однородной выборке, не содержащей элементов с аномально высокими значениями, за счет усечения будет наблюдаться аналогичное снижение качества оценки дисперсии помехи. Возможен подход, когда используется усеченная выборка переменного объема [5]. В этом случае необходимо в алгоритм формирования выборки включить обнаружитель импульсных помех, определяющий степень усечения. Другим направлением может служить использование комбинированных алгоритмов обнаружения [6]. Такие алгоритмы включают в себя как классические элементы адаптации (схемы поэлементного усреднения), так и элементы непараметрических обнаружителей. В нашем случае при неэффективной работе устройств стабилизации вероятности ложной тревоги, резко возросший поток ложных тревог может привести к полной потере работоспособности РЛС вторичной обработки. Поэтому можно ограничиться стабилизацией вероятности ложной тревоги для всей РЛС, допустив значительные изменения ее в отдельных элементах разрешения. Это можно достигнуть за счет непараметрического ограничения общего потока обнаружений для РЛС, при этом изменения ложной тревоги в отдельных элементах разрешения будут сглаживаться при увеличении числа обзоров.

На основе рассмотренных подходов к оценке дисперсии помехи при неоднородной выборке, а также проведенного моделирования, представляется продуктивным построение алгоритмов оценки с использованием функциональных элементов адаптивных и непараметрических обнаружителей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бакулев П.А. Радиолокационные системы. М.: Радиотехника, 2004. 320 с.
2. Волков В.Ю., Зозанян С.И., Лухт Р.А. Эффективность обнаружения сигнала в помехе неизвестной мощности // Вопросы радиотехники, серия общетехническая.- 1979.- № 10. – С. 65-75.

3. Вакин С.А. Радиолокационные системы как объекты радиоэлектронной борьбы // Радиотехника.- 1994 - № 4-5.- С. 40-49.
4. Стогов Г.В., Макшанов А.В., Мусаев А.А. Статистическая обработка результатов измерений по неполной выборке // Зарубежная радиоэлектроника.- 1977.- № 7. – С. 52-68.
5. Бакулев П.А., Горбенко А.П., Степин В.М. Анализ процедуры обнаружения сигналов, устойчивой к воздействию импульсных помех //Применение методов теории информации для повышения эффективности и качества сложных радиоэлектронных систем/ Тезисы докладов Всесоюзной НТК.- М.: Радио и связь, 1984. – С. 10,11.
6. Горбенко А.П. Проблема обнаружения сигналов в условиях нестационарных и нерелеевских помех //Проблемы современной системотехники (вып. 10)/ Сборник научных статей.- Таганрог: ЮФУ, 2016.

Горбенко Александр Петрович – старший преподаватель Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, переулок Некрасовский 44, 347900, телефон: +7(8634) 37-16-37, email: gorbenko.aleks2011@yandex.ru.

Gorbenko Alexander Petrovich – senior lecturer, Institute of radio engineering systems and management, southern Federal University, Russia, Taganrog, Nekrasovsky lane 44, 347900, phone: +7(8634) 37-16-37, email: gorbenko.aleks2011@yandex.ru.

УДК 629.735.4

Воронков Олег Юрьевич

СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ «ЛЕТАЮЩЕЙ ПЛАТФОРМОЙ»

Работа посвящена синтезу системы управления летательным аппаратом с применением синергетической теории управления. Доклад содержит общее описание аппарата и его системы управления, а также компьютерное моделирование его нелинейной динамики. Актуальность работы состоит в необходимости создания вертикально взлетающего аппарата типа «летающая платформа» в целях повышения эффективности операций по спасению людей из зон бедствий, где вертолёты и иные современные средства не справляются с задачами. Научная новизна работы заключена в применении синергетических подхо-

дов к разработке иерархической системы балансировки пространственного положения аппарата и к координирующему энергосберегающему управлению электродвигателями, получающими энергию от турбогенераторной установки.

«Летающая платформа»; вентилятор в кольце; синергетическая теория управления; функциональная декомпозиция; энергосберегающее управление.

Voronkov Oleg Yu.

SYNERGETIC APPROACH TO THE “FLYING PLATFORM” CONTROL

The work is devoted to the synthesis of the aircraft control system using synergetic control theory. The paper contains the vehicle & its control system general description, & its nonlinear dynamics computer simulation. 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 hierarchic system & to the coordinating energy-save control over the electric engines that get energy from the turbine generator unit.

“Flying platform”; fan in the ring; synergetic control theory; functional decomposition; energy-save control.

Введение

В последнее время перед конструкторами транспорта, в частности, летательных аппаратов, стоит задача синтеза автопилотов [1] для различных режимов работы машин. Автопилоты представляют собой векторные регуляторы, предназначенные для многоканального автоматического управления движущимся аппаратом без участия человека. Особенно сложными представляются случаи, когда в роли объекта управления выступает аппарат нетрадиционной компоновки. Так, в авиационной сфере идёт интенсивное освоение новых аэродинамических схем, имеющих нестандартное расположение аэродинамических поверхностей или их полное отсутствие, нестандартное расположение движителей и их новые типы. Существующие наработки по аппаратам классических компоновок малопригодны для анализа динамики новых типов аппаратов, формирования их математических моделей и синтеза управляющих алгоритмов. Поэтому требуется создание

новых математических моделей таких объектов и законов управления ими с учётом всех нелинейностей их динамики.

Описание «летающей платформы» и её системы управления

Предлагаемый летательный аппарат [2–4] относится к типу «летающая платформа». Этот тип представляет собой вертикально взлетающий аппарат [5], использующий для создания подъёмной силы вентиляторы малого диаметра, как правило, расположенные в аэродинамических кольцах. Аэродинамические кольца предназначены для создания дополнительной тяги и для защиты вентиляторов от столкновения с посторонними предметами [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.

Непременным условием устойчивости аппарата, диктуемым аэродинамической схемой и диапазоном скоростей, является пространственное положение, близкое к горизонтальному. Аппарат управляется как органами ручного управления на рабочем месте экипажа (путевое управление), так и системой автоматического управления (балансировка пространственного положения). Система автоматического управления основана на принципах синергетической теории, развиваемой на Кафедре синергетики и процессов управления Южного федерального университета под руководством проф. А.А. Колесникова [7–10]. Эта система также решает задачу координирующего энергосберегающего управления силовыми установками, питающимися от источника электроэнергии ограниченной мощности [11], [12].

При синтезе регуляторов для сложных технических объектов широко применяется функциональная декомпозиция процессов управления. Функциональная декомпозиция является разбиением общей цели управления на ряд частных задач, расположенных на разных уровнях иерархии. В результате формируется иерархическая система управления, показанная на рис. 1 в виде блок-схемы.

На верхнем уровне иерархии формируются общие стратегии управления. Они используются на среднем уровне иерархии для выработки целей управления нижнего уровня с использованием уравнений связи. На нижнем уровне иерархии синтезируются частные управляющие воздействия [13].

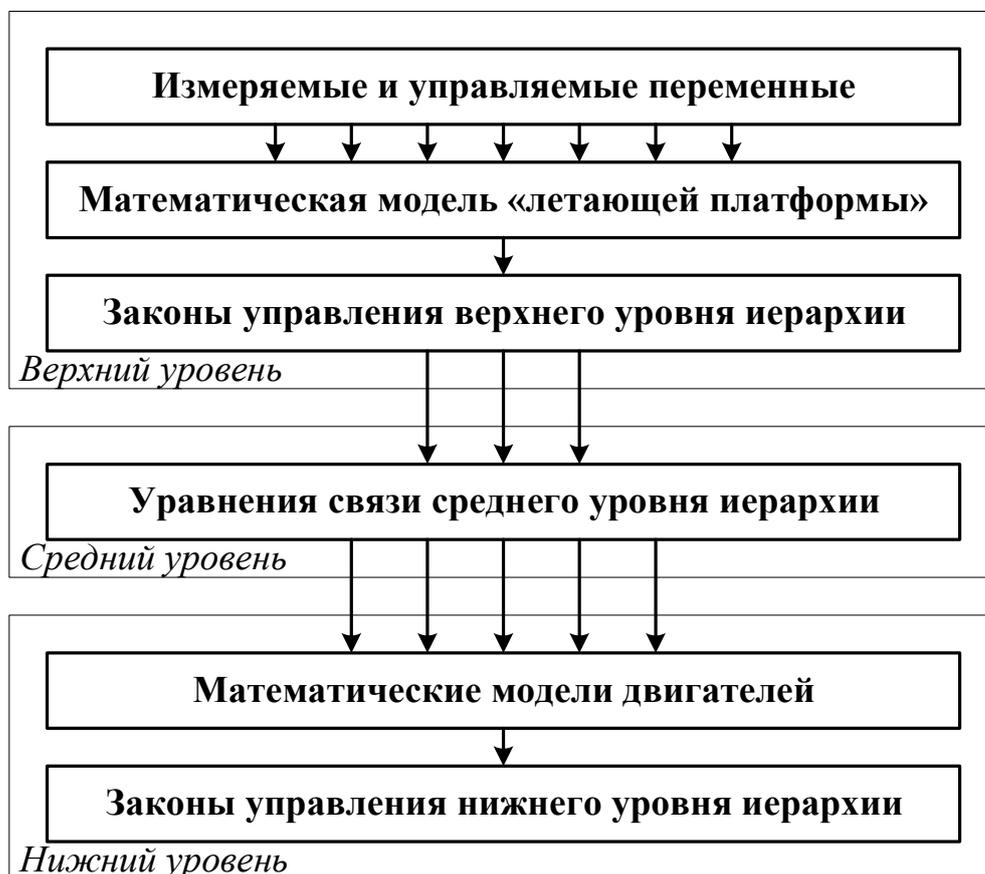


Рис. 1. Блок-схема иерархической системы управления предлагаемой «летающей платформой»

Моделирование динамики разработанной системы

Графики моделирования разработанной иерархической системы балансировки пространственного положения «летающей платформы» показаны ниже на рис. 2, 3. По сравнению с работами [3] и [4] в данной публикации применены уточнённые математические модели самого летательного аппарата и его силовых установок с учётом всех нелинейностей, присущих реальным объектам, в связи с чем повысилось качество синтеза и моделирования. Рис. 3 относится к одному из двигателей; для остальных трёх двигателей графики моделирования аналогичны.

Выводы

В докладе сформирована структура иерархической системы управления «летающей платформой» и проведено компьютерное моделирование её динамики с нелинейными законами управления. Результаты работы будут полезны при разработке новых типов пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов, не использующих аэродинамические поверхности для создания подъёмной силы, например, квадрокоптеров.

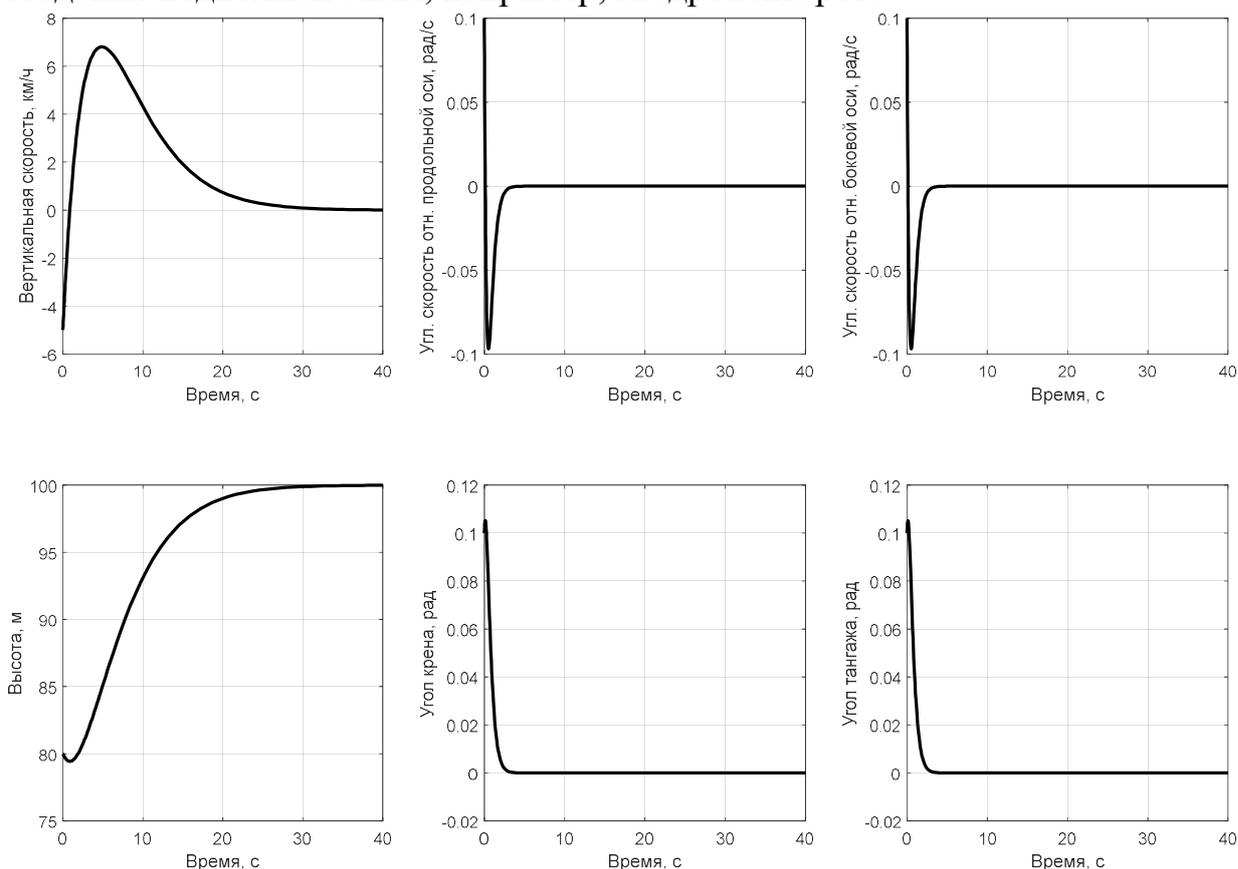


Рис. 2. Моделирование динамики верхнего уровня иерархии

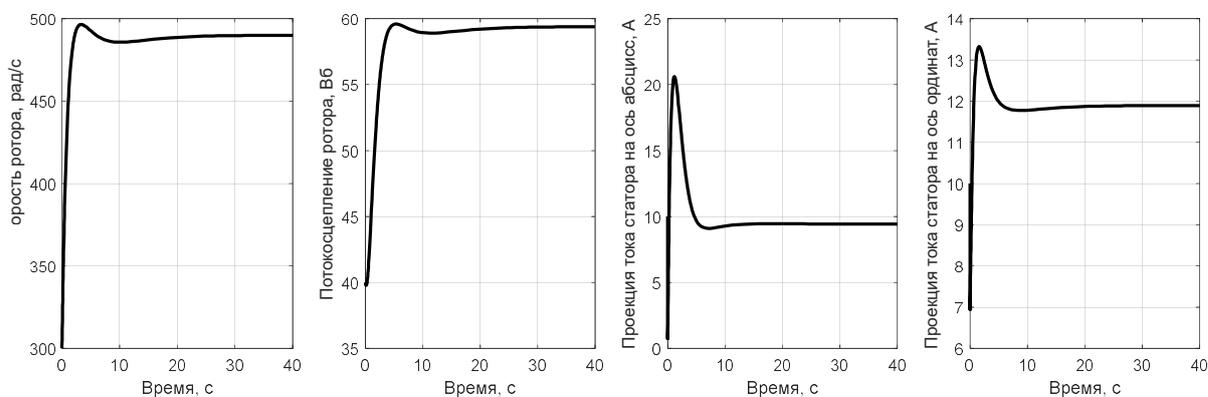


Рис. 3. Моделирование динамики нижнего уровня иерархии

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Буков В.Н. Адаптивные прогнозирующие системы управления полётом. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. 232 с.
2. Воронков Ю.С., Воронков О.Ю. Лёгкий многорежимный летательный аппарат. Патент РФ №2348568.
3. Воронков О.Ю. Синергетический синтез иерархической системы управления «Аэромобилем» в режиме балансировки. Известия ЮФУ. Технические науки. 2011. № 5 (118). С. 55–60.
4. Воронков О.Ю. Синергетический синтез иерархической системы балансировки «Аэромобиля» с асимптотическим наблюдателем гармонических возмущений. Известия ЮФУ. Технические науки. 2011. № 6 (119). С. 153–161.
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.І: Оптимизационный подход в теории управления / Под редакцией А.А. Колесникова. Москва – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. 400 с.
9. Современная прикладная теория управления. Ч.ІІ: Синергетический подход в теории управления / Под редакцией А.А. Колесникова. Москва – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. 559 с.
10. Современная прикладная теория управления. Ч.ІІІ: Новые классы регуляторов технических систем / Под редакцией А.А. Колесникова. Москва – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. 656 с.
11. Колесников А.А., Веселов Г.Е., Попов А.Н., Колесников Ал.А. Синергетическая теория управления нелинейными взаимосвязанными электромеханическими системами. Таганрог. Изд-во ТРТУ, 2000. 182 с.
12. Колесников А.А., Веселов Г.Е., Кузьменко А.А. Новые технологии проектирования современных систем управления процессами генерации электроэнергии. М.: 2009. 323 с.
13. Колесников А.А., Мушенко А.С. Синергетическое управление процессами пространственного движения летательных аппаратов // Авиакосмическое приборостроение. 2004. №2. С. 38–45.

Воронков Олег Юрьевич – кандидат технических наук, научный сотрудник, Научно-технический центр «Техноцентр» Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Петровская 81, 347900, телефон: +7 (950) 844-95-49, email: oleg.voronkov.1985@gmail.com.

Voronkov Oleg Yurievich – Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), researcher, Scientific and Technical Center “Technocenter” Southern Federal University, 347900, Russia, Taganrog, 81 Petrovskaya street, phone: +7 (950) 844-95-49, email: oleg.voronkov.1985@gmail.com.

УДК 65.011.56

Константинов Владимир Владимирович

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УЧЕТА РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ СОТРУДНИКОВ ПРЕДПРИЯТИЯ

Контроль рабочего времени сотрудников предприятия является трудоемким процессом. На предприятиях с численностью персонала от 100 до 500 сотрудников задача контроля возложена на руководителей подразделений, которая требует огромных временных затрат из-за устаревших методов сбора и обработки информации. Основная цель – разработка и внедрение автоматизированной системы учета рабочего времени сотрудников небольшого предприятия.

Сотрудники, учет рабочего времени, рабочая станция, автоматизация.

Konstantinov Vladimir Vladimirovich

AUTOMATED SYSTEM OF EMPLOYEES WORKING TIME ACCOUNTING

Control of employees working time is a time-consuming process. At enterprises that amount from 100 to 500 employees heads of departments are charged with the monitoring, which requires huge time costs due to the outdated methods of collecting and processing information. The aim of this work is to develop and implement an automated system of employees working time accounting for small enterprises.

Введение

Для небольших предприятий одной из проблем управления персоналом является процесс контроля рабочего времени сотрудников, который возложен на руководителей подразделений. Использование устаревших методов ведения учета заметно увеличивает временные затраты и нагрузку на руководителя. При численности подразделения от 100 сотрудников на проверку табелей может быть затрачено от двух до четырех часов рабочего времени. Контроль соблюдения трудовой дисциплины в таком подразделении является сложной задачей для руководителя.

Одним из вариантов решения вышеописанных проблем может стать автоматизация процесса учета рабочего времени сотрудников.

Основная часть

Перед автором поставлена задача разработать автоматизированную систему учета рабочего времени (СУРВ) для сбора и обработки данных о каждом сотруднике в реальном времени. Контроль рабочего времени сотрудников осуществляется через отслеживание событий входа и выхода пользователя в ОС Windows.

В процессе проектирования определена структура СУРВ, представленная на рис. 1:

- системная служба, установленная на рабочей станции;
- приложение, установленное на рабочей станции;
- база данных, созданная на основе СУБД MS SQL;
- системная служба серверной части СУРВ, установленная на сервере организации (доменная организация сети).

Ключевым элементом СУРВ является база данных (БД), в которой хранится информация обо всех событиях рабочих станций, о структуре организации и сотрудниках.

Серверная служба СУРВ является ТСР-сервером, обеспечивающим обмен данными между рабочими станциями и БД. Данные, поступающие от клиентов (рабочих станций), записываются в БД и производится рассылка кода события всем клиентам для обеспечения отображения состояний рабочих станций в реальном времени.

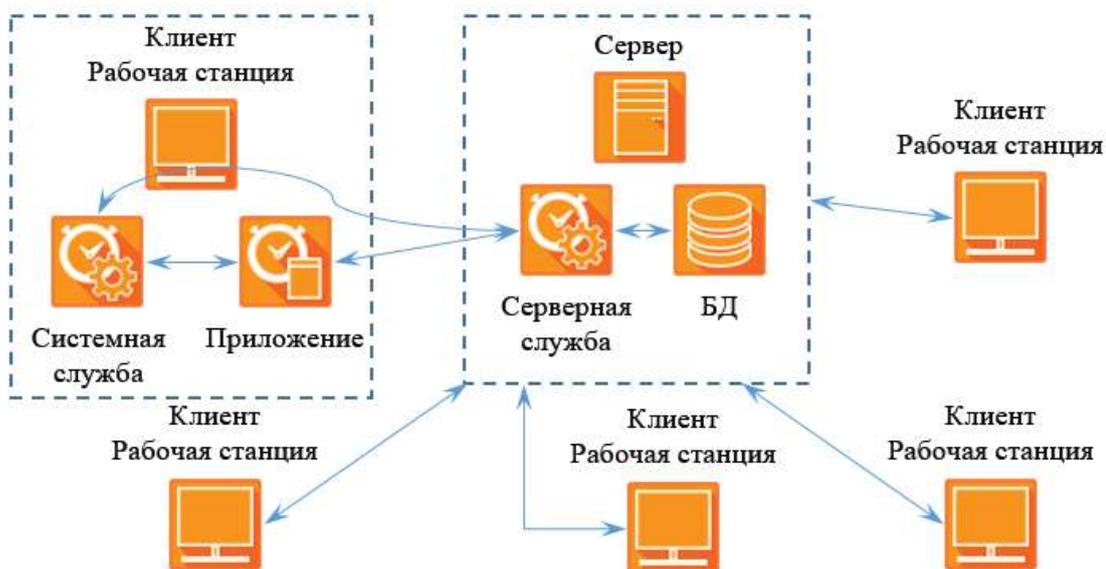


Рис. 1. Структура СУРВ. Связи между компонентами системы

Системная служба СУРВ является службой Windows, отслеживающей изменение состояния рабочей станции и передающей код события серверу СУРВ по TCP-каналу.

Приложение (клиент) предназначено для отображения информации о рабочем времени текущего пользователя, выполнившего вход в ОС Windows. Основное окно приложения представлено на рис. 2.

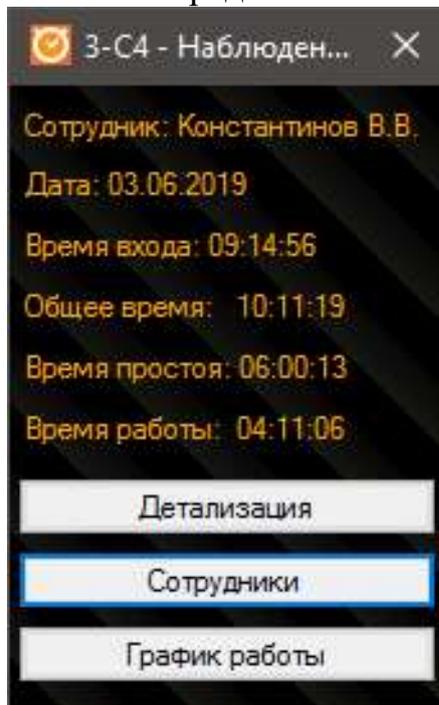


Рис. 2. Основное окно приложения СУРВ

Вывод информации о рабочем времени сотрудника осуществляется через функции окна «Детализация», представленного на рис. 3. Информацию можно получить как за определенный день, так и за выбранный период. В сводной таблице представлены данные о рабочих станциях, на которых сотрудник осуществлял вход, и об общем времени работы за этими станциями.

Выберите период за который отобразить данные:

С 1 мая 2019 г. по 31 мая 2019 г. Показать

Сегодня

Сотрудник	Событие/Дата	13.05.2019	14.05.2019	15.05.2019	16.05.2019	17.05.2019	18.05.2019	19.05.2019	20.05.2019
Константинов В. В.	Начало работы	09:09:55		09:09:55	09:13:36	09:08:41			09:16:23
	Окончание рабо...	17:59:57		18:39:00	20:06:11	18:15:01			18:09:13
	Время за компь...	03:29:52		01:12:16	02:01:20	00:47:23			00:57:54
	Общее время	08:46:02		09:30:01	10:52:33	09:06:20			08:52:44

Константинов В. В.	3-С4	Вход							Общее время
		Разблокировка	14:30:24	15:13:19	15:21:34	16:21:11	17:18:17	17:35:40	
		Блокировка	14:58:52	15:19:12	15:29:32	16:50:28	17:21:40	17:55:57	
		Выход							
		Рабочее время	00:28:28	00:05:53	00:07:58	00:29:17	00:03:23	00:20:17	03:29:52
		Время простоя	00:00:52	00:14:27	00:02:22	00:51:39	00:27:49	00:14:00	05:16:10
		Общее время							08:46:02

Вывести в Excel

Рис. 3. Окно детализации событий рабочей станции сотрудника

Для более детальной обработки данных имеется возможность экспорта в Excel (рис. 4). В данном случае создаются формульные зависимости, позволяющие рассчитать недоработку/переработку сотрудника за выбранный месяц.

Отчет_учет_времени_рабочей_станции_03_06_19_09_51_00.xlsx - Microsoft Excel

Об 9:09:55

1 Учёт рабочего времени рабочей станции за период с ...

2 Запрос: Константинов В.В.

3 Дата составления отчёта: 03.06.2019

4

Сотрудник	Событие/Дата	13.05.2019	14.05.2019	15.05.2019	16.05.2019	17.05.2019	18.05.2019	19.05.2019	20.05.2019	21.05.2019
Константинов В.В.	Начало работы	8:09		9:08	9:13	9:08			9:16	
	Окончание работы	17:55		18:39	20:06	18:15			18:09	
	Время за компьютером	3:29		1:12	2:01	0:47			0:57	
	Общее время	8:46		9:30	10:52	9:06			8:52	

Готово

Рис. 4. Пример вывода данных в Excel

В таблице окна «График работы сотрудника», представленного на рис.5, выводится информация о праздничных и нерабочих днях в соответ-

Для сотрудника данное окно содержит справочную информацию о структуре организации и сотрудниках. Для руководителя подразделения данное окно является основным инструментом управления, позволяющим:

- получать информацию о рабочем времени сотрудников;
- вводить данные о рабочем графике сотрудника;
- вводить данные о плановых отпусках сотрудников;
- осуществлять прием нового сотрудника в подразделение;
- осуществлять перевод сотрудника между подразделениями;
- сохранять заметки, связанные с деятельностью сотрудника в виде журнала;
- осуществлять вывод отчета о фактически отработанном времени сотрудников для передачи в бухгалтерию.

В дальнейшем для развития СУРВ планируется:

- автоматизация подготовки заявлений изменения графика работы сотрудника на основе введенных данных. Это позволит сократить время на подготовку документа и избежать ошибок при обработке данных;
- интеграция с популярными системами планирования трудовой деятельности подразделений. Информацию, хранящуюся в СУРВ планируется использовать при составлении ежемесячных планов и проведения корректировок в случае непредвиденных ситуаций у сотрудника (например, оформление командировки или больничного листа).

Выводы

Внедрение разработанной системы учета рабочего времени позволило существенно сократить время на сбор и обработку информации о рабочем времени каждого сотрудника подразделения и организации в целом (вывод отчетов). Руководитель подразделения в реальном времени может получать достоверную информацию о фактическом времени работы сотрудника за рабочей станцией, а также любом отклонении от нормы и, в случае необходимости, провести корректирующие действия. Положительным эффектом внедрения системы стало снижение количества нарушений трудовой дисциплины и появление возможности контроля сотрудниками своего рабочего времени.

Константинов Владимир Владимирович – начальник бригады конструкции ООО «Научно-инженерная компания», Россия, Московская область, город Жуковский, улица Ломоносова 29а, 140181, телефон: + 7 (495) 78-313-78 доб. 346, e-mail: V.V.Konstantinov@avianik.com.

Konstantinov Vladimir Vladimirovich – lead of design group Research and Engineering Company NIK Ltd., 140181, Russian Federation, Zhukovsky, 29a Lomonosova Street, phone: + 7 (495) 78-313-78 ext. 346, e-mail: V.V.Konstantinov@avianik.com.

УДК 629.735.015

Кузьменко Алла Сергеевна

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АВИАЦИОННОГО ОПРЫСКИВАНИЯ

В докладе рассмотрены практические вопросы решения задач повышения качества и эффективности авиационного опрыскивания как важнейшего элемента производства авиационно – химических работ с использованием методов компьютерного моделирования его процессов. Дано описание сформированного программного комплекса моделирования авиаопрыскивания и основные результаты его апробации с учетом экспериментальных данных. Особенности комплекса являются расширенный учет параметров воздушного судна и режимов его полета при выполнении обработок, процессов испарения и дробления капель многокомпонентных рабочих жидкостей, технологических аспектов защитного опрыскивания и существенный рост информативности расчетных показателей осаждения жидкостей для оценки уровня эффективности обработок. Использование программного комплекса позволило получить обширный массив выявленных закономерностей и практических рекомендаций по практическому выполнению авиационно – химических работ и повышению их безопасности, качества и эффективности.

Авиационно-химические работы, авиационное опрыскивание, компьютерное моделирование, воздушное судно, режимы полета, технологические параметры, осаждение, эффективность.

COMPUTER SIMULATION OF AERIAL SPRAYING

Practical issues of solving the problems of improving the quality and efficiency of aerial spraying as an essential element of the production of aerial-chemical works using computer simulation methods of its processes are considered in the report. The description of the formed software complex of aerial spraying modeling and the main results of its approbation taking into account the experimental data are presented.

Extended accounting of the aircraft parameters and flight modes when performing treatments, evaporation and crushing of drops of multi-component working fluids, technological aspects of protective spraying and a significant increase in the information content of the calculated parameters of liquid deposition to assess the level of efficiency of treatments are the features of the software package. A significant array of identified patterns and practical recommendations for the implementation of aviation-chemical works and improving their safety, quality and efficiency obtained using the software package.

Aerial-chemical works, aerial spraying, computer simulation, aircraft, flight modes, process parameters, deposition, efficiency.

Введение

Авиационно – химические работы (АХР) являются одним из основных видов авиационных работ, которые заключаются во внесении жидких, сыпучих и биологических веществ с использованием воздушных судов (ВС), оснащенных для этого специальным оборудованием. Основными потребителями АХР являются агропромышленный комплекс, лесное и коммунальное хозяйство, при этом такие работы являются важным и значимым фактором обеспечения эффективности экономики и продовольственной безопасности страны [1].

В последние годы в области проведения АХР возникли новые проблемы, к которым можно отнести, в частности, значительно выросший уровень требований заказчиков АХР к качеству, экологичности и экономической эффективности проводимых работ при существенно возросшей конкуренции авиационному методу со стороны наземной техники. Характерно, что в это время, как показывает анализ, в структуре АХР наблюдается преобладание (на уровне 85-90 %) метода опрыскивания, что определяет особую значимость авиаопрыскивания в вопросах качества и эффективности АХР.

Одним из перспективных методов решения практических задач повышения безопасности, качества и эффективности АХР является компьютерное моделирование этих работ. Это обусловлено минимальными затратами и высокой вариативностью проводимых исследований, что обеспечивает уже в течении полувека интерес к этому методу.

К настоящему времени выполнено множество работ в этой области ([1-6]), отличающихся степенью детализации процессов, системой принятых допущений и упрощений, схемой описания индуктивного следа ВС, разновидностями программных средств и другими особенностями, при этом по-прежнему актуальным является требование повышения адекватности и точности моделирования авиационного опрыскивания как сложного многофакторного процесса с учетом целевого назначения выполнения АХР.

Основная часть

В рамках проведенных исследований для решения задач повышения качества и эффективности АХР в среде программирования DELPHI был сформирован расчетный комплекс моделирования авиационного внесения рабочих веществ. В нем на новом уровне с учетом возможной DELPHI, в частности, графических, были реализованы апробированные ранее ([1]) математические модели описания условий и процессов осаждения капель многокомпонентных рабочих жидкостей с учетом испарения компонентов, диффузии, вращения и дробления капель в поле индуктивных скоростей вихревого следа ВС.

Конфигурация вихревого следа ВС для заданных режимов полета, включая маневрирование, в комплексе определялась пошагово методом дискретных вихрей на базе выделенных П-образных вихревых комбинаций связанных и свободных вихрей крыльев и элементов их механизации, воздушного винта и оперения самолета, для значений циркуляций вихрей, найденных при оценке аэродинамических характеристик ВС. Характер распространения свободных вихрей за ВС с использованием программного комплекса в целом идентичен имеющимся расчетно-теоретическим и экспериментальным данным ([4, 7-9 и др.]) и особенностям (опускание и расползание в стороны концевых вихрей, образование «скруток» вихрей, «спрямление» по потоку вихрей и т.д.), что косвенно подтверждает применимость заложенных в комплекс подходов и моделей. В свою очередь, проведенные расчеты указывают на ощутимое влияние параметров ВС, схемы и условий полетов на АХР на конфигурацию его вихревого следа. В част-

ности, можно особо отметить сильное влияние на конфигурацию следа использования механизации (закрылков), центровки самолета и особенно воздушного винта, являющегося источником асимметричности вихревого следа, непосредственно связанного с характером движения выпущенных с ВС капель рабочей жидкости

Общей качественной особенностью типовых режимов авиационного опрыскивания, как показывают проведенные расчеты, является сильное влияния поля индуктивных скоростей за ВС на капли мелких фракций (приведенный диаметр $D_{ко} \leq 200$ мкм), проявляющееся в подхвате и вовлечение во вращательное движение таких капель из концевых участков штанги с последующим их зависанием над участком и зауженным, в общем случае несимметричным и требующим уточнения, «рабочим» диапазоном размахов штанги опрыскивателя слева и справа по полету. Интенсивность такого влияния по всему диапазону положений выпуска капель в пределах поперечного габарита ВС существенно ниже для капель средних ($D_{ко} = 200 - 400$ мкм) и особенно крупных ($D_{ко} > 400$ мкм) фракций, которое проявляется в боковом нелинейном «растягивании» таких капель.

Оценка адекватности и точности сформированного программного комплекса проводилась сравнением имеющихся экспериментальных и полученных для одинаковых условий с использованием комплекса расчетных данных. Статистический анализ с использованием критериев Фишера и Пирсона показал, что, не смотря на объективный стохастический характер процессов и показателей авиационного внесения веществ, для расчетных и экспериментальных данных наблюдается качественная близость (вид эпюр, соотношения показателей, порядок соответствующих величин 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. В свою очередь точность оценки наиболее значимых обобщенных показателей внесения (ширина захвата, объемы и количество капель внесенной жидкости и др.) для рассмотренных вариантов составляет примерно 4-5 %, что следует признать достаточно высоким показателем для моделируемого процесса.

Заключение о приемлемой адекватности и точности сформированного комплекса позволяет использовать его для решения множества практических задач, связанных с обеспечением безопасности, качества и эффективности авиаопрыскивания и выбора необходимых для этого технологиче-

ских параметров (скорость и высота полета, норма внесения рабочих жидкостей и концентрация действующих веществ, степени диспергирования жидкости, центровка ВС и т.д.). В частности, можно отметить, что для характерных условий обработок самолетом Ан-2 комплекс описания расхода жидкости, степени ее диспергирования и начальной концентрации действующего вещества в рабочей жидкости для разных норм при прочих одинаковых условиях оказывает сильное влияние на характер и показатели плотности капель и дозировки препарата на участке, непосредственно связанных с уровнем качества обработки. Например, малые нормы внесения (10 и 25 л/га) при мелкодисперсном распыле отличаются повышенной плотностью капель на участке, особенно вдоль линии пролета, однако при этом связаны со снижением уровня дозировки препарата в волнах осажде-ния в сравнении со средней (50 л/га) и большой (100 л/га) нормами внесе-ния, при этом дополнительно можно отметить:

увеличение норм внесения рабочей жидкости при заданной дозировок препарата вне зависимости от рабочей ширины захвата приводит к устойчи-вому росту средних плотностей покрытия объектов каплями и дозировки препарата на участке при некотором относительном снижении неравно-мерности этих показателей;

– наивысшая биологическая эффективность (качество внесения) и прибавка урожайности (товарности) ввиду отмеченной особенности для типового уровня диспергирования жидкости наблюдается для повышенных норм внесения, при общем снижении производительности и росте себе-стоимости обработок;

– наивысшая экономическая эффективность для, к примеру, опрыски-вания по борьбе с сорняками на посевах озимых, обеспечивается для норм внесения 25 и 50 л/га, что обусловлено в основном ростом производительно-сти полетов при сопоставимости показателей товарности обработок, при этом характерно, что увеличение рабочей ширины захвата с 30 до 40 м приводит к росту биологической эффективности для средней нормы 50 л/га и его уменьшению для 25 л/га;

– использование нормы 10 л/га для самолета Ан-2 позволяет значи-тельно увеличить производительность обработок и снизить затраты на них, однако даже при наличии положительного эффекта не является приоритет-ным и может рассматриваться как «пожарный» вариант борьбы с сорняка-ми.

Как показывают проведенные исследования, использование сформированного расчетно-программного комплекса позволяет выполнить оценки значимых показателей авиационного опрыскивания для самых разнообразных практических, в т.ч. нетрадиционных задач, например, для переходных динамических процессов на рабочем гоне ([10]), при наборе и снижении самолета для выполнения обработок и многих других, связанных с обеспечением безопасности, качества и эффективности АХР.

Выводы

По совокупности результатов проведенных исследований можно сделать вывод, что сформированный программный комплекс в сопоставимых условиях в целом 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 с учетом расширенного перечня внешних, технико-технологических, эксплуатационных и других параметров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Асовский В.П.* Теория и практика авиационного распределения веществ. - М.: Воздушный транспорт, 2008. - 580 с.
2. *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
3. *Деревянко В.С.* Влияние аэродинамических возмущений на процессы авиационного опыливания и опрыскивания. - М.: Транспорт, 1974. - 72 с.
4. *Свинин А.И.* Исследование влияния аэродинамических возмущений, вызываемых вертолетом, на осаждение распыливаемых веществ. Диссертация ... канд. техн. наук. - Рига: РКИИГА, 1977.
5. *Артамонов Б.Л.* Аэродинамика сельскохозяйственного вертолета для авиационно-химических работ. Диссертация ... канд. техн. наук. - М: МАИ, 1977. - 232 с.
6. *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.
7. *Белоцерковский Ал.С., Гиневский А.С., Погребная Т.В., Шипилов С.Д.* Моделирование дальнего вихревого следа магистральных самолетов при взлете и посадке. // Успехи механики. - 2003. - № 4. - С. 106 - 127.

8. *Гиневский А.С., Желанников А.И.* Вихревые следы самолетов. М.: Физматлит, 2008. -170 с.
9. *Желанников А.И.* Оперативные методы расчёта характеристик вихревого следа за самолётами // Вісник Харківського національного університету. – 2009. – № 847. – С. 184 – 190.
10. *Асовский В.П., Кузьменко А.С.* Особенности и перспективы применения ветропривода на сельскохозяйственных самолетах. / Научный Вестник МГТУ ГА, Том 19, № 06, 2016. - С. 166 – 175

Кузьменко Алла Сергеевна – старший преподаватель кафедры летательных аппаратов Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, пер. Тургеневский, 44, 347900, телефон: +7 (8634) 37-16-97, email: akuzm@sfedu.ru.

Kuzmenko Alla Sergeevna – Senior Lecturer, Aircraft Department, Southern Federal University, Russia, Taganrog, trans. Turgenevsky, 44, 347900, phone: +7 (8634) 37-16-97, e-mail: akuzm@sfedu.ru.

УДК 004.891.3

Тарасова Ирина Александровна

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКИХ ПЕРЕМЕННЫХ С ФУНКЦИЯМИ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ НЕСКОЛЬКИХ АРГУМЕНТОВ В ЗАДАЧЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЗИРОВОК МЕДИКАМЕНТОВ В ПРОЦЕССЕ ЛЕЧЕНИЯ ПРЕЭКЛАМПСИИ БЕРЕМЕННЫХ ЖЕНЩИН

Целью работы является повышение эффективности проведения лечебной терапии при гипертензивных осложнениях беременности.

Анализ процесса диагностики и введения медикаментов при лечении преэклампсии беременных женщин привел к необходимости формирования методов задания функций принадлежности нескольких переменных. В работе предложены основные типы аналитических функций принадлежности нескольких аргументов, разработан новый метод построения функций принадлежности, который в отличие от существующих, позволяет задавать многомерные функции принадлежности термов лингвистических переменных на основе статистических данных с применением нечеткой кластеризации.

Преэклампсия беременных женщин, диагностика, функция принадлежности нескольких аргументов, метод, нечеткая кластеризация.

APPLICATION OF FUZZY VARIABLES WITH THE MEMBERSHIP FUNCTIONS OF SEVERAL ARGUMENTS IN THE PROBLEM OF DETERMINING THE DOSING OF MEDICATIONS IN THE PROCESS OF TREATMENT OF THE PRE-CLAMPS OF PREGNANT WOMEN

The purpose of the work is to advance the efficiency of the treatment of hypertensive complications of pregnancy.

Analysis of the process of diagnosis and the introduction of drugs in the treatment of pre-eclampsia in pregnant women has led to the need to develop methods for specifying the membership functions of several variables. The paper proposed the main types of analytical membership functions of several arguments, developed a new method for constructing membership functions, which, unlike the existing ones, allows defining multidimensional membership functions of terms of linguistic variables based on statistical data using fuzzy clustering.

Pre-eclampsia of pregnant women, diagnosis, membership function of several arguments, method, fuzzy clustering

Введение

Проблема преэклампсии является одной из актуальных в современном акушерстве, так как это заболевание является наиболее распространенным и тяжелым осложнением беременности, а проблема лечения тяжелых форм преэклампсии – одна из самых трудных в акушерской анестезиологии и реаниматологии. В структуре причин материнских летальных исходов по РФ преэклампсия стабильно занимает третье место и составляет 18-25%. Высокая частота материнской и перинатальной заболеваемости и смертности основана на отсутствии точных знаний о патогенезе заболевания, который зависит от множества предрасполагающих факторов, достоверных диагностических критериев, что ведет к неадекватной терапии и различным осложнениям, зависящим от своевременности и метода родоразрешения, объема анестезиологической и реанимационной помощи. В связи с этим, исследование методов построения автоматизированных и экспертных систем, использующих современные методы искусственного интеллекта и позволяющих повысить эффективность процесса лечения преэклампсии беременных, является актуальным.

Основная часть

К настоящему времени проведены многочисленные исследования медицинских систем, использующих нечеткую логику. Основные результаты были получены в работах Э. Санчеса, Р. Ягера [1], К. Эдлессинга [2], Е. Тадзаки [3-7], М. Сугэно, Т. Тэрано, К. Асаи [8]. Проблемам формирования искусственного интеллекта в медицине посвящены работы В.А. Хромушина, М.В. Паньшиной, В.И. Даильнева, К.Ю. Китаниной [9-11], В.В. Махалкиной [12], Г.А. Бледжянца, М.А. Саркисяна [13]. Неизученной остается проблема создания системы поддержки принятия решений при определении дозировок медикаментов в процессе лечения преэклампсии беременных женщин, которая позволит реализовать комплексную оценку функционального состояния организма пациентки и, на ее основе, предложит рациональные дозировки медикаментов.

Анализ процесса диагностики и введения медикаментов при лечении гипертензивных осложнений беременности показал, что он характеризуется нелинейными зависимостями. Кроме того, лингвистические переменные имеют сложную физическую природу, требующую при определении их значения использовать несколько связанных параметров [14-15]. Это приводит к тому, что использование методов нечеткого управления на основе переменных с функциями принадлежности одного аргумента, таких как Мамдани, Цукамото, Ларсена, Сугэно приводит к потере зависимости между управляющими переменными. Решить данную проблему может использование термов лингвистических переменных с функциями принадлежности нескольких аргументов.

В работе предложены новые подходы к формированию термов нечетких лингвистических переменных с многомерными функциями принадлежности. Они включают формирование типовых видов аналитического представления функций принадлежности нескольких аргументов и разработку метода формирования функций принадлежности нескольких аргументов в табличном виде на основе нечеткой кластеризации.

Для представления функций принадлежности термов лингвистических переменных $\mu_k^l(\bar{x}_l)$ в аналитической форме используется некоторая функциональная зависимость с числом аргументов n . В качестве такой зависимости могут выступать функции принадлежности следующих типов [16]:

а) гиперболоидная функция принадлежности для k -го значения входной лингвистической переменной β_k , которая задается следующим образом:

$$\mu_k^l(\bar{x}_l) = \begin{cases} 2 - \sqrt{1 + \sum_{j=1}^n \frac{(x_j^l - x_{kj}^{lo})^2}{(h_{kj}^l)^2}}, & \text{если } \sqrt{1 + \sum_{j=1}^n \frac{(x_j^l - x_{kj}^{lo})^2}{(h_{kj}^l)^2}} < 2, \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

где x_j^l – значение j -ой входной переменной, относящейся к l -ой входной лингвистической переменной; x_{kj}^{lo} – j -ое значение центра гиперboloида k -го значения l -ой входной лингвистической переменной; h_{kj}^l – ненулевые числовые параметры;

б) конусообразная функция принадлежности для k -го значения входной лингвистической переменной β_l , которая задается следующим образом:

$$\mu_k^l(\bar{x}_l) = \begin{cases} 1 - \sqrt{\sum_{j=1}^n \frac{(x_j^l - x_{kj}^{lo})^2}{(h_{kj}^l)^2}}, & \text{если } \sqrt{\sum_{j=1}^n \frac{(x_j^l - x_{kj}^{lo})^2}{(h_{kj}^l)^2}} < 1, \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

где x_j^l – значение j -ой входной переменной, относящейся к l -ой входной лингвистической переменной; x_{kj}^{lo} – j -ое значение центра конуса k -го значения l -ой входной лингвистической переменной; h_{kj}^l – ненулевые числовые параметры;

в) колоколообразная функция принадлежности для k -го значения входной лингвистической переменной β_l , которая задается следующим образом:

$$\mu_k^l(\bar{x}_l) = \exp\left(-\sum_{j=1}^n \frac{(x_j^l - x_{kj}^{lo})^2}{(h_{kj}^l)^2}\right),$$

где x_j^l – значение j -ой входной переменной, относящейся к l -ой входной лингвистической переменной; x_{kj}^{lo} – j -ое значение центра колокола k -го значения l -ой входной лингвистической переменной; h_{kj}^l – ненулевые числовые параметры;

г) эллипсоидная функция принадлежности для k -го значения входной

лингвистической переменной β_l , которая задается следующим образом:

$$\mu_k^l(\bar{x}_l) = \begin{cases} \sqrt{1 - \sum_{j=1}^n \frac{(x_j^l - x_{kj}^{lo})^2}{(h_{kj}^l)^2}}, & \text{если } \sum_{j=1}^n \frac{(x_j^l - x_{kj}^{lo})^2}{(h_{kj}^l)^2} < 1, \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

где x_j^l – значение j -ой входной переменной, относящейся к l -ой входной лингвистической переменной; x_{kj}^{lo} – j -ое значение центра эллипсоида k -го значения l -ой входной лингвистической переменной; h_{kj}^l – ненулевые числовые параметры;

д) пирамидальная функция принадлежности для k -го значения входной лингвистической переменной β_l ;

е) трапециевидная функция принадлежности для k -го значения входной лингвистической переменной β_l .

Однако в большинстве случаев, задание функций принадлежности аналитически является невозможным, особенно при количестве переменных, большем трех. Такие функции принадлежности $\mu_l(\bar{x}_l)$ возможно построить в табличном виде на основе статистических данных.

Метод формирования многомерных функций принадлежности термов лингвистических переменных в табличном виде включает в себя следующие этапы [17]:

- выделение лингвистических переменных и сопоставление им характеристик объекта моделирования;
- сбор экспериментальных данных;
- нечеткая кластеризация экспериментальных данных по каждой лингвистической переменной;
- формирование термов лингвистической переменной.

Выводы

В данной работе рассмотрена задача повышения эффективности проведения лечебной терапии при гипертензивных осложнениях беременности.

Анализ процесса диагностики и введения медикаментов при лечении преэклампсии беременных женщин привел к необходимости формирования методов задания функций принадлежности нескольких переменных. Предложены основные типы аналитических функций принадлежности нескольких аргументов, разработан новый метод построения функций принадлеж-

ности, который в отличие от существующих, позволяет задавать многомерные функции принадлежности термов лингвистических переменных на основе статистических данных с применением нечеткой кластеризации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Linguistic approach in fuzzy logic of W. H. O. classification of dyslipoproteinemias / Sanchez E. et al. // In "Fuzzy set and theory recent development" – Yager ed. Pergamon, 1982. – P. 582-588.
2. *Adlassing K.P.* Fuzzy set theory in medical diagnosis / IEEE Trans. – Vol. SMC-16. – N 2. – P. 260-265.
3. Development of automated health testing and services system via fuzzy reasoning / Tazaki E. et al. // Proc. IEEE Int. Conf. on SMC – 1986. – P. 342-346.
4. Medical diagnosis using simplified multi-dimensional fuzzy reasoning / Tazaki E. et al. // Proc. IEEE Int. Conf. on SMC – 1988.
5. Система баз медицинских данных с блоком выводов. Ч.1. Введение искусственного интеллекта в процесс оценки результатов массового медицинского освидетельствования / Тадзакэ Е. и др. // Сб. тез. 7-го симпозиума по медицинской информатике. – Токио, 1988. – С. 377-380.
6. Система баз медицинских данных с блоком выводов. Ч. 2. Введение искусственного интеллекта в процесс оценки риска для здоровья информации о здравоохранении / Тадзакэ Е. и др. // Сб. тез. 7-го симпозиума по медицинской информатике. – Токио, 1988. – С. 385-388.
7. Тадзакэ Е. Нечеткие экспертные системы // Сури кагаку. – 1987. – N 284. – С. 46-54.
8. Прикладные нечеткие системы: Перевод с япон. / К. Асаи, Д. Ватада, С. Иваи и др.; под ред. Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугено. – М.: Мир, 1993.
9. *Хромушин В.А.* Построение экспертной системы на основе алгебраической модели конструктивной логики на примере гестозов / В.А. Хромушин, М.В. Паньшина, В.И. Дайльнев, К.Ю. Китанина, О.В. Хромушин / Вестник новых медицинских технологий (Электронный журнал). – 2013 — N 1, публикация 1-1, <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2013-1/ExpSys.pdf>.
10. *Хромушин В.А.* Сравнительный анализ алгебраической модели конструктивной логики / В.А. Хромушин // Вестник новых медицинских технологий (Электронный журнал). – 2013. – N 1, публикация 1-19, <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2013-1/4500.pdf>.

11. *Хромушин В.А.* Алгоритмы и анализ медицинских данных / А.А. Хадарцев, В.Ф. Бучель, О.В. Хромушин // Учебное пособие. – Тула : Изд-во «Тульский полиграфист», 2010. – 123 с.
12. *Махалкина В.В.* Обработка слабоструктурированной информации при построении базы знаний экспертной системы микроэлементных нарушений у человека / В.В. Махалкина // Автореферат кандидата биологических наук. – Тула: ТулГУ, 2009. – 23 с.
13. Ключевые технологии формирования искусственного интеллекта в медицине / Г.А. Бледжянц, М.А. Саркисян, Ю.А. Исакова, Н.А. Туманов, А.Н. Попов, Н.Ш. Бегмуродова // Ремедиум, 2015. – №12. – С. 10-15.
14. *Тарасова И.А.* Нечеткое управление процессом введения медикаментов при лечении гипертензивных осложнений беременности / И.А. Тарасова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – №6/3(60) – С. 12-15.
15. *Тарасова И.А.* Нечеткое управление на основе переменных с многомерными функциями принадлежности в диагностике и лечении гипертензивных осложнений беременности / И.А. Тарасова // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – 2012. – №4 – С. 169-173.
16. *Тарасова И.А.* Разработка подходов к заданию многомерных функций принадлежности термов лингвистических переменных в задачах нечеткого управления // Электронный научный журнал "Отраслевые аспекты технических наук". – 2014. – Выпуск 2(38) Март-Апрель. – С. 11-22. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.branch-aspects-of-technical-sciences.ingnpublishing.com/archive/2014/vypusk_2_38_mart-aprel_release_2_38_march-april/tarasova_i_a_razrabotka_podhodov_k_zadaniyu_mnogomernyh_funkcij_prinadlezhnosti_termov_lingvisticheskikh_perem
17. *Шушура А.Н.* Способ задания многомерных функций принадлежности термов лингвистических переменных / А.Н. Шушура, И.А. Тарасова // Міжнародний науково-технічний журнал “Інформаційні технології та комп’ютерна інженерія”. – 2013. – №1(26). – С. 39-44.

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.

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 004.91

Шилов Сергей Александрович,
Константинов Владимир Владимирович

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ГРУППОВОЙ
КОРРЕКТИРОВКИ И АУДИТА СВОЙСТВ И ОФОРМЛЕНИЯ
КОМПОНЕНТОВ ЦИФРОВОГО МАКЕТА ИЗДЕЛИЯ НА
СООТВЕТСТВИЕ КОРПОРАТИВНЫМ НОРМАМ И
ТРЕБОВАНИЯМ**

Основная цель – создание программного продукта/комплекса, позволяющего повысить качество математических моделей изделия за счёт ускорения и упрощения процессов проверки и корректировки ошибок в их оформлении.

Система менеджмента качества, автоматизированная система, цифровой макет изделия, аудит свойств и оформления, спецификация изделия, сводная таблица, СУБД, корпоративная база знаний (knowledge base), программирование, .NET Framework, PDM.

Shilov Sergey Alexandrovich,
Konstantinov Vladimir Vladimirovich

**AUTOMATION OF BATCH UPDATE AND EXAMINATION OF
QUALITIES AND COMPONENTS OF DIGITAL MOCKUP OF A
PRODUCT DOCUMENTATION AGAINST INTERNAL REGULATIONS
AND REQUIREMENTS PROCESSES**

The main aim is to create a software product/complex, which will give an opportunity to increase quality of a product DMU due to acceleration and simplification of examination and correction of documentation errors processes.

QMS, automated system, digital mockup of a product, examination of qualities and documentation, specification of a product, pivot table, DBMS, internal knowledge base, programming, .NET Framework, PDM.

Введение

В наши дни ряд конструкторских бюро при проектировании изделий использует САПР высокого уровня. Одним из наиболее распространённых программных решений в этой области является CATIA V5.

В процессе проектирования цифрового макета изделия (ЦМИ), состоящего из большого количества компонентов, инженер-конструктор сталкивается с необходимостью оформления атрибутов и свойств электронной модели (ЭМ) в соответствии с корпоративными правилами, описанными в нормативных документах системы менеджмента качества (СМК).

Далеко не все такие правила можно учесть за счёт конфигурирования САПР стандартными средствами, что увеличивает вероятность появления в ЦМИ ошибочных данных, которые могут попасть в спецификацию изделия и пройти до стадии производства.

Множество правил можно достаточно просто формализовать для проведения автоматизированной или автоматической проверки и корректировки свойств ЭМ с использованием программного интерфейса взаимодействия с САПР (API).

Например, осуществлять проверку обозначений и наименований изделий на соответствие принятой в организации системе их формирования, корректность используемых материалов и т.д.

В разрабатываемом программном продукте/комплексе преследуется цель обеспечить простой и удобный способ формирования всех формализуемых и доступных через программный интерфейс правил проверки ЭМ/ЦМИ, которые можно будет адаптировать под нужды почти любой организации методом конфигурирования.

Основная часть

В настоящее время ведётся разработка программного продукта NIKAS.ProdEx (NIK Automation Solutions – Product Expert), предназначенного для повышения качества математических моделей изделия за счёт ускорения и упрощения процессов проверки и корректировки ошибок в их оформлении.

Разработка программного продукта выполняется на языках C# и VB.Net с использованием .Net Framework версии 4.5.1 с применением принципа модульности. Также для ряда вспомогательных задач могут использоваться сценарии автоматизации на языках VBScript, JScript и VBA-макросы, если поддерживаются САПР.

В процессе разработки была создана корпоративная база знаний (набор формализованных правил), основанная на требованиях оформления и проверки ЭМ, описанных в нормативных документах СМК.

На данный момент разрабатываемый программный продукт включает в себя следующие модули:

- 1) **Product properties** – опрос и редактирование свойств электронных моделей, входящих в состав сборочной единицы (ЭМ СЕ);
- 2) **Save management** – пакетное сохранение документов с возможностью управления структурой на файловой системе;
- 3) **Product checker** – проверка свойств и оформления ЭМ на соответствие правилам.

Во всех перечисленных модулях реализована поддержка экспорта данных в Excel. На рис. 1 представлен вид главного окна приложения в режиме Product Properties. На рис. 2 представлено окно приложения с выводом результатов проверки сборочной единицы в режиме Product Checker.

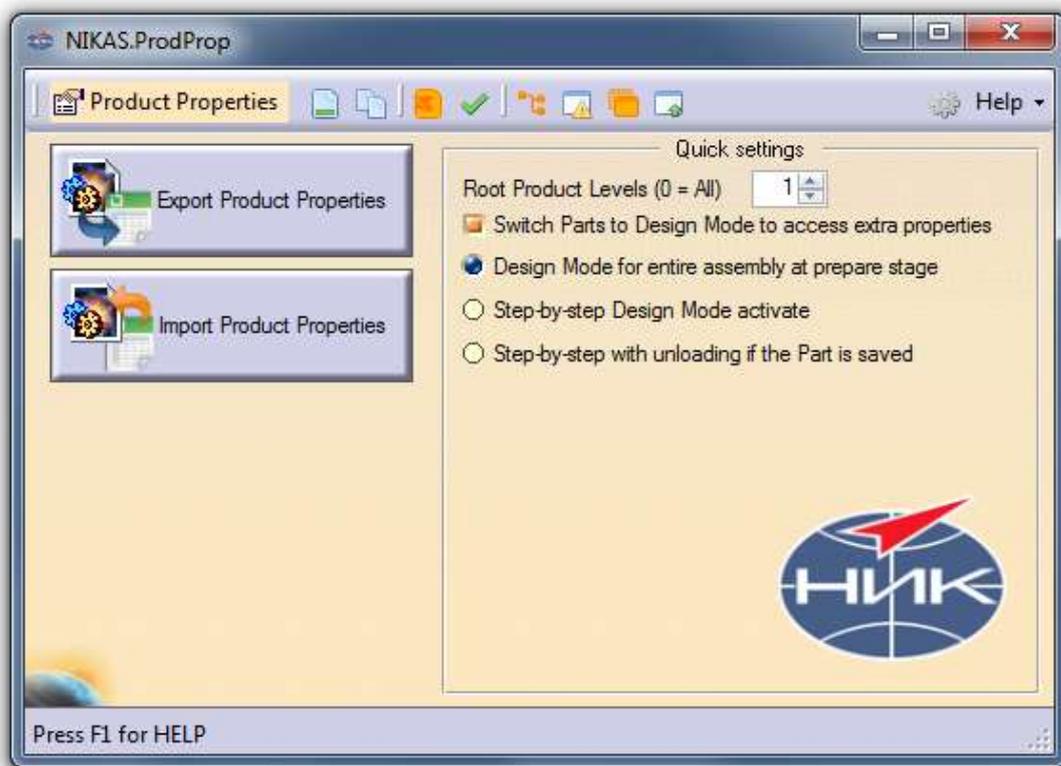


Рис. 7. Вид главного окна приложения до опроса свойств ЭМ СЕ

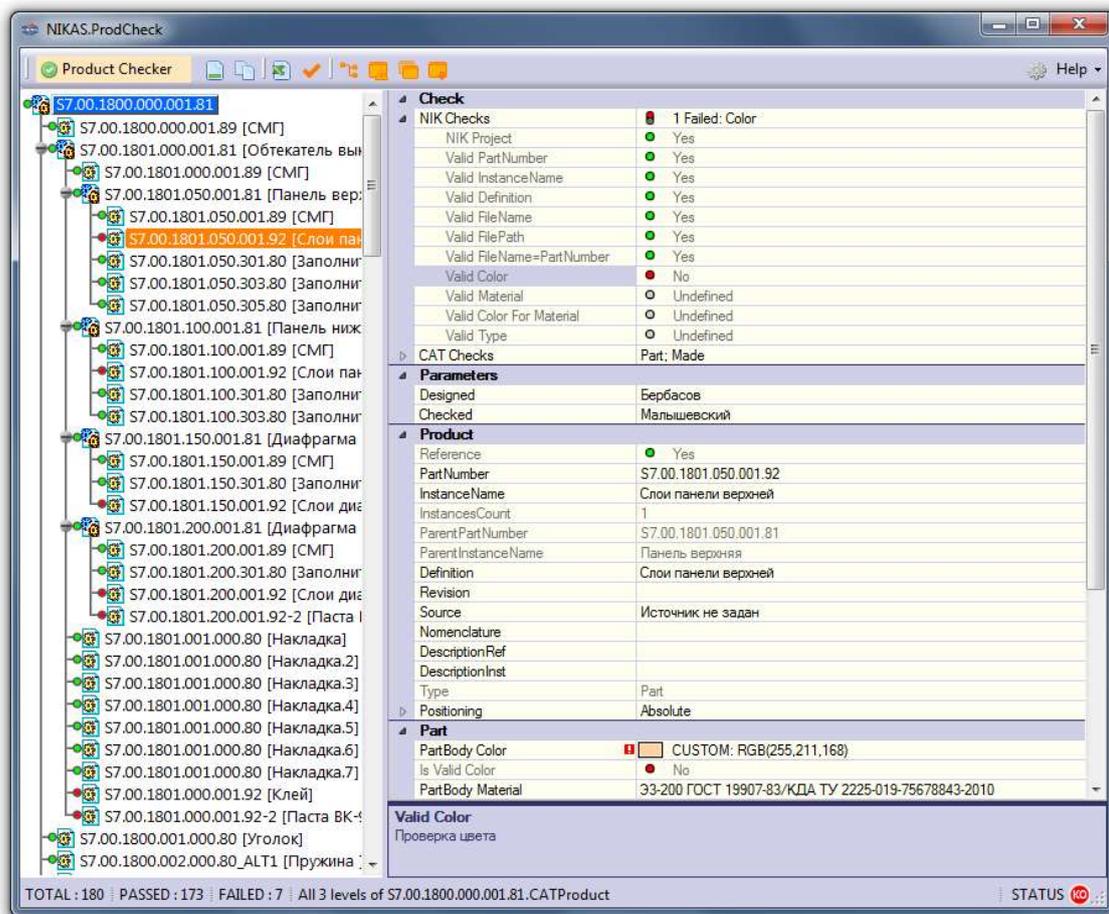


Рис. 8. Окно приложения с выводом результатов проверки сборочной единицы

На рис. 3 представлен результат экспорта данных в Excel и процесс редактирования с использованием специализированной надстройки (подключаемого модуля) для проверки вводимых данных.

Реализованные функции:

Сбор данных

Опрос свойств и атрибутов изделия непосредственно из электронной модели сборочной единицы (ЭМ СЕ), открытой в САТІА V5, с возможностью ограничения глубины опроса структуры. При опросе данных учитываются корпоративные правила формирования структуры ЭМ СЕ, включающих в себя компоненты и элементы СЕ, содержащие стандартные и покупные изделия и относящиеся к вышележащим уровням в соответствии со спецификацией изделия.

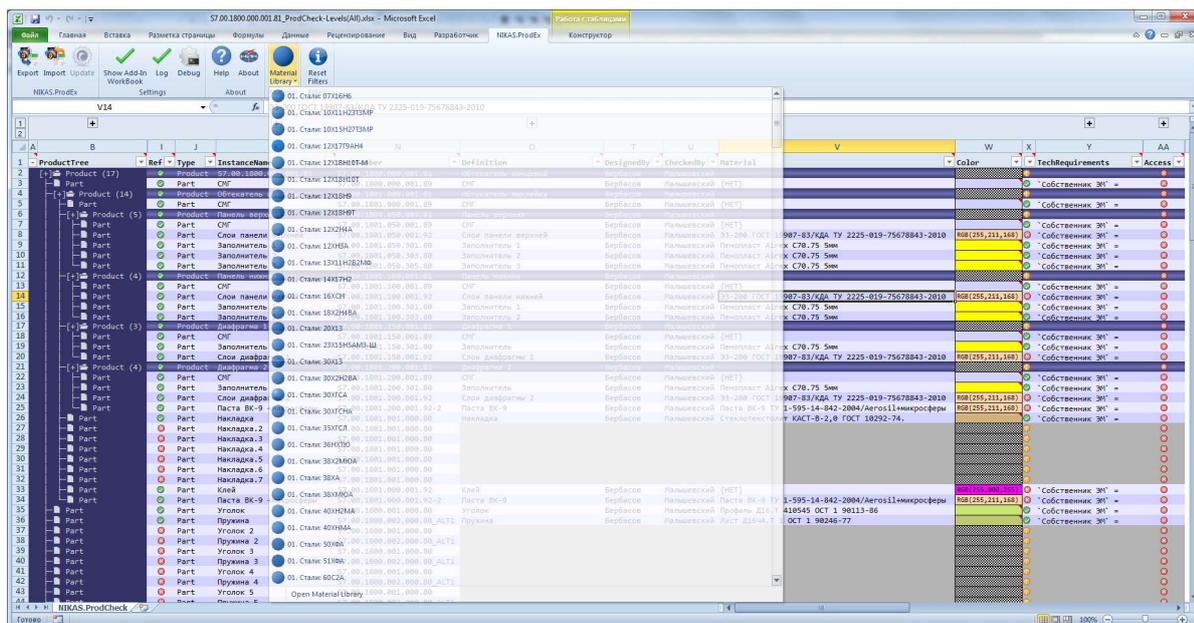


Рис. 9. Экспорт и редактирование данных с использованием вспомогательной надстройки Excel

Визуализация данных

Отображение структуры опрашиваемой ЭМ СЕ в виде древовидного графа для целей редактирования или проверки свойств. Вывод перечня свойств и результата проверки выбранного объекта с группировкой свойств по категориям для удобства.

Модификация данных

Изменение свойств выбранного объекта или группы объектов с последующим применением изменений непосредственно к ЭМ СЕ.

Экспорт данных

Опциональный вывод данных в документ формата Excel для обеспечения следующих возможностей:

- распараллеливание задач проверки и применения корректировок;
- отсрочка выше указанных задач;
- формирование сводных таблиц по использованным стандартным или изготавливаемым компонентам ЭМ СЕ;
- формирование ведомости документов электронных (ВДЭ);
- формирование спецификации изделия;
- использование привычного инструмента для инженера при решении задач для редактирования табличных данных и являющимся стандартным инструментом де-факто в документообороте.

Для обеспечения доступа к базе знаний компании, а также для удобства пользователя, которому делегируется задача внесения корректировок в ЭМ СЕ с использованием экспортированных в Excel данных, реализована и тестируется специализированная надстройка (модуль расширения функционала) для Excel. Данная надстройка работает в паре с программным комплексом NIKAS.ProdEx и использует одинаковые с ним источники данных.

Оповещение

Автоматизированное формирование электронного письма автору ЭМ с указанием обнаруженных ошибок оформления.

Планы на дальнейшее развитие решения:

Прорабатывается возможность использования API других САД-систем: NX, SolidWorks. При этом поддержка каждой из САПР будет осуществляться в виде плагина (подключаемого модуля) для системы.

Планируется реализация нескольких возможностей организации корпоративной базы знаний (правил проверки):

1. Внешние источники данных (СУБД)

1) MS SQL – для доменной организации сети при наличии квалифицированного персонала для задач администрирования БД;

2) MariaDB (Oracle MySQL) – более легковесное решение, не требующее больших вложений и полностью удовлетворяющее нуждам организации корпоративной базы знаний;

2. Файловые источники данных с возможностью размещения в локальной сети или стационарно

1) SQLite;

2) XML.

Любой из типов организации базы знаний будет поддерживать централизованное администрирование с помощью утилиты с графическим интерфейсом пользователя без необходимости внесения изменений в конфигурацию приложения на рабочих местах пользователей. Подразумевается, что сами пользователи не будут иметь прав доступа на какое-либо вмешательство в количество и логику корпоративных правил проверки.

Интеграция с Active Directory (AD) для получения данных о владельце ЭМ – контактные данные, фотография владельца (если настроена в AD), получение (возможно и управления) перечня привилегий доступа на изменение файлов ЭМ того или иного проекта.

Для ускорения процесса обучения пользователей новому программному решению для каждой из поддерживаемых в будущем САПР будет ре-

ализовываться собственный стиль оформления графического интерфейса с элементами управления, максимально приближенными к стандартному для САПР виду.

Выводы

Внедрение программного продукта NIKAS.ProdEx позволило в ООО «Научно-инженерная компания» сократить время на обнаружение и исправление ошибок, повысить качество выпускаемой конструкторской документации, а также вести учёт и статистику.

Шилов Сергей Александрович – ведущий специалист по САПР ООО «Научно-инженерная компания», Россия, Московская область, город Жуковский, улица Ломоносова 29а, 140181, телефон: + 7 (495) 78-313-78 доб. 355, e-mail: Sergey.A.Shilov@avianik.com.

Константинов Владимир Владимирович – начальник бригады конструкции ООО «Научно-инженерная компания», Россия, Московская область, город Жуковский, улица Ломоносова 29а, 140181, телефон: + 7 (495) 78-313-78 доб. 346, e-mail: V.V.Konstantinov@avianik.com.

Shilov Sergey Alexandrovich – leading CAD specialist Research and Engineering Company NIK Ltd., 140181, Russian Federation, Zhukovsky, 29a Lomonosova Street, phone: + 7 (495) 78-313-78 ext. 355, e-mail: Sergey.A.Shilov@avianik.com.

Konstantinov Vladimir Vladimirovich – lead of design group Research and Engineering Company NIK Ltd., 140181, Russian Federation, Zhukovsky, 29a Lomonosova Street, phone: + 7 (495) 78-313-78 ext. 346, e-mail: V.V.Konstantinov@avianik.com.

УДК 621.396

Шинкаренко Татьяна Вячеславовна

АЛГОРИТМ ПОИСКА ОПТИМАЛЬНОГО МЕСТА НА АВТОМАТИЗИРОВАННОМ МНОГОЯРУСНОМ ПАРКИНГЕ

Целью данной работы является рассмотрение вариантов систем парковок и выявление способов оптимизации работы паркинга, а именно оптимизация поиска свободного места за минимальное время. Сформулированы критерии поиска оптимального места размещения автомобиля на парковке. Предложен алго-

ритм поиска парковочного места с учетом выбранных критериев для одного и нескольких автомобилей.

Оптимизация, паркинг, система, автомобиль, ячейка, критерий, алгоритм.

Tatyana Vyacheslavovna Shinkarenko

ALGORITHM OF SEARCH OF THE OPTIMUM PLACE ON THE AUTOMATED MANY-TIER PARKING

The purpose of this work is consideration of options of systems of parkings and identification of modes of optimization of work of parking, namely optimization of search of empty seat for the minimum time. Criteria of search of the optimum location of the car on the parking are formulated. The algorithm of search of the parking space taking into account the chosen criteria for one and several cars is offered

Optimization, parking, system, car, cell, criterion, algorithm.

Существующие системы управления деятельностью автопарковок не всегда обеспечивают быстрое и удобное обслуживание автомобилистов с сохранением надежности и безопасности обработки информации.

Автоматические паркинги подразумевают полное исключение участия работников в процессе функционирования системы, тем самым исключая негативное влияние человеческого фактора [1]. Исключением является обслуживание оборудования. Полностью автоматические системы особенно актуальны при интенсивном трафике въезда/выезда транспортных средств

Дефицит парковочного пространства выдвигает задачу комплексного решения управления парковками. Это приводит к поискам новых решений, нацеленных на увеличение эффективности функционирования автомобильных парковок [2]. В данной статье рассмотрена проблема выбора оптимального места на парковке и методы ее решения.

Целью исследования является выявление способов оптимизации работы паркинга, а именно оптимизация поиска свободного места за минимальное время.

Объектом исследования процесс оптимизации размещения автомобилей на паркинге.

Предметом исследования является поиск оптимального места парковки автомобиля по выбранному критерию. При поиске места можно руководствоваться следующими критериями:

- 1) обеспечение равномерной загрузки;
- 2) уменьшение времени движения к месту парковки;
- 3) уменьшение фрагментации при заполнении парковочных мест.

Система оптимизации размещения автомобилей повышает организацию пространства отдельных зон и всего паркинга целиком.

Для того чтобы решить задачу поиска оптимального места, необходимо иметь следующую информацию: параметры автомобиля, параметры перемещения по парковке, состояние парковочных мест.

Положение ячейки (парковочного места), куда можно поместить автомобиль, определяется на основании значения равномерности, фрагментации заполнения паркинга и времени перемещения к ячейке.

Парковку можно представить и математически описать в виде матрицы, содержащей некоторое число строк m и некоторое число столбцов n , где каждый элемент матрицы, соответствующий парковочному месту (ячейке), хранит координаты физического парковочного места $P_1(x_1; y_1)$, $P_2(x_2; y_2), \dots, P_n(x_m; y_n)$. Также ячейка (парковочное место) имеет два состояния: свободная (True) и занятая (False).

На парковке имеется передвижной лифт, у которого есть своя скорость движения как в горизонтальном V_g так и в вертикальном V_v направлении.

Данные о состоянии парковочных мест (свободные/занятые) получаем от датчиков автоматизированной системы управления. Если в ячейке f_{ij} находится автомобиль, то в нее заносится параметры автомобиля и состояние меняется на «занято» (False), а если автомобиля нет, то состояние ячейки «свободно» (True).

Чтобы найти парковочное место (ячейку) для автомобиля, необходимо сделать перебор всех свободных парковочных ячеек, вычисляя для каждой из них значение критериев:

1. Обеспечение равномерной загрузки

Равномерность – это расстояние от центра масс (x_c, y_c) системы, в которой располагаются машины, до физического центра площади (x_0, y_0) .

$$\begin{aligned}
 y_c &= \frac{1}{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n m_{ij}} \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n m_{ij} y_j, \\
 x_c &= \frac{1}{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n m_{ij}} \sum_{j=0}^n \sum_{i=0}^m m_{ij} x_i,
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где x_i, y_j – координаты ячеек; m_{ij} – масса автомобиля, размещенного в ячейке с координатами (x_i, y_j) ; m – число строк в матрице парковочных мест (ячеек); n – число столбцов в матрице парковочных мест (ячеек).

Далее вычисляем расстояние, которое и определяет первый критерий:

$$R = \sqrt{(x_c - x_0)^2 + (y_c - y_0)^2} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где x_c, y_c – координаты центра масс; x_0, y_0 – координаты физического центра площади.

2. *Время перемещения* к ячейке, в которой будет размещен автомобиль должно быть минимальным

$$t = \frac{S_h}{V_h} + \frac{S_v}{V_v} \rightarrow \min, \quad (3)$$

где V_h, V_v – скорость движения лифта по горизонтали, вертикали; S_h, S_v – расстояние, на которое перемещается лифт от места погрузки автомобиля, до парковочной ячейки (по горизонтали и вертикали).

3. *Уменьшение степени фрагментации*

(Фрагментация учитывается для повышения плотности заполнения парковки)

$$F = \frac{n_{empty}}{n_{\max\ empty}} \cdot 100\% \rightarrow \min, \quad (4)$$

где n_{empty} – количество последовательностей незаполненных ячеек между заполненными; $n_{empty\max}$ – максимальное количество последовательностей незаполненных ячеек между заполненными для данной парковки.

Таким образом, поиск оптимального места на парковке можно представить в виде многокритериальной задачи. Поиск решения осуществляется на дискретном множестве ячеек (решение – координаты ячейки).

В задачах многокритериальной оптимизации в большинстве случаев абсолютно лучшее решение выбрать невозможно, так как при переходе от одного варианта к другому часто значения одних критериев улучшаются, а значения других ухудшаются. Состав таких критериев является противоречивым, и окончательно выбранное решение всегда будет компромиссным, но не оптимальным. Компромисс разрешается введением дополнительных ограничений или субъективных предположений [3].

Для решения задачи поиска оптимального места на парковке критерии упорядочиваются по степени важности, затем отбираем множество ячеек, которые имеют максимальную оценку по важнейшему критерию. Если

ячейка единственная, то найденной решение является оптимальным. Если же ячеек несколько, то среди них выбирают те, которые имеют максимальную оценку по второму по важности критерию. Если опять остается несколько ячеек, то процесс повторяем для последнего критерия.

Представленную задачу поиска места для одного автомобиля можно решить с помощью метода полного перебора (рис. 1).

Предположим, что критерии расположены по степени важности в такой последовательности:

- 1) равномерности загрузки;
- 2) времени перемещения;
- 3) фрагментация.

Вычисляем для каждой ячейки значение первого критерия (равномерности загрузки), после чего отбираем ячейки, которые имеют одинаковое максимальное значение. Для всех ячеек из этой группы вычисляем значение второго критерия (времени перемещения), после чего отбираем ячейки, которые имеют одинаковое максимальное значение. Из этих ячеек отбираем те, для которых значение третьего критерия максимально.

Если значения одинаковые, то ячейка выбирается по второму критерию (времени перемещения).

Далее сравниваем с текущей ячейкой найденную оптимальную, если найденной парковочное место лучше – запоминаем ячейку и значение критерия, иначе – продолжаем перебор до тех пор, пока выбор ячейки не достигнет оптимального значения критерия.

Таким образом, перебирая по очереди свободные ячейки, и последовательно отбирая те, для которых получаем лучшее значение критериев, определяем место размещения автомобиля.

Рассмотрена задача поиска места для одного автомобиля. ее можно рассматривать как частный случай задачи поиска оптимального места для m автомобилей, где $m = 1$.

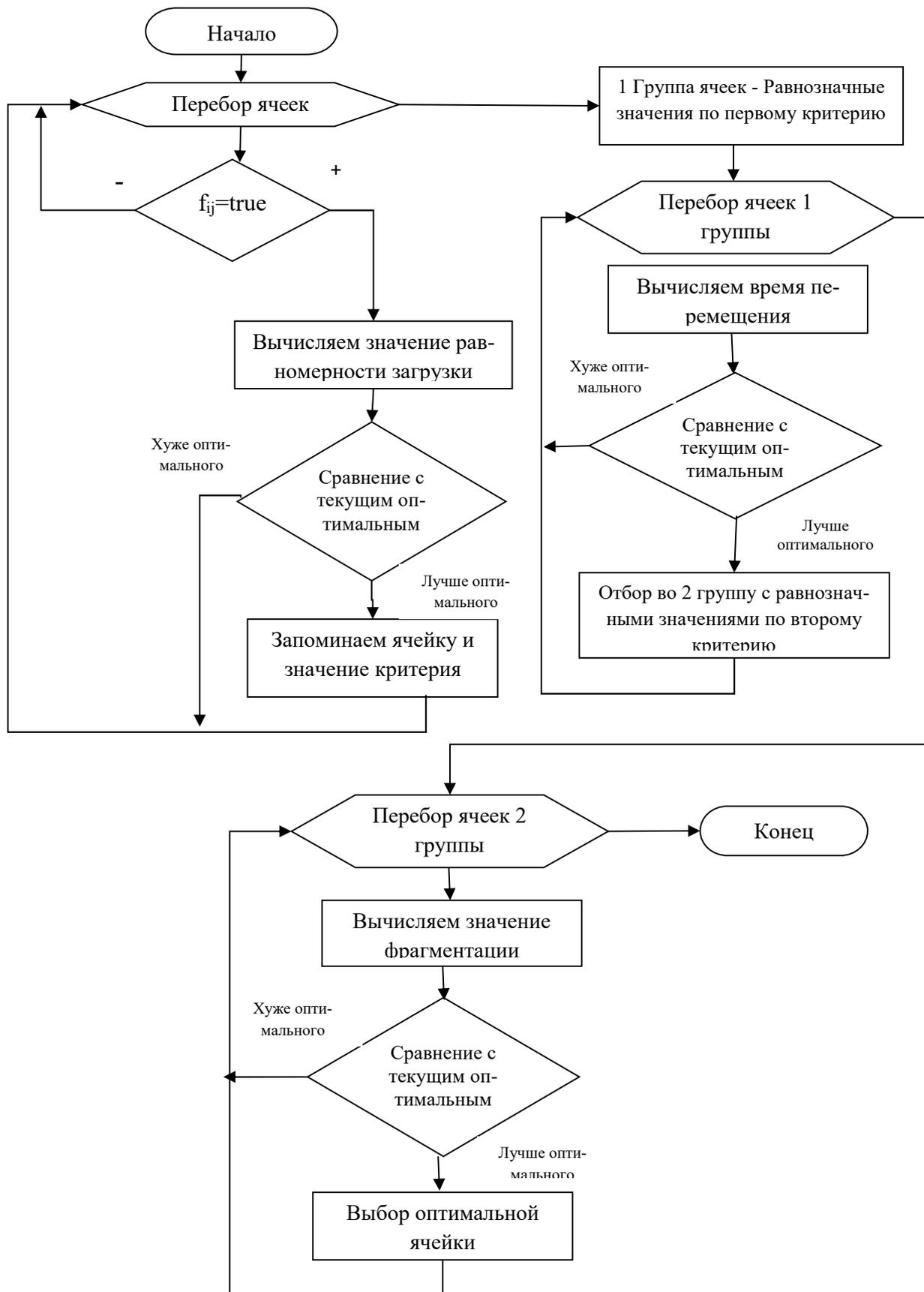


Рис. 1. Алгоритм полного перебора

В общем случае задача поиска места на парковке решается для нескольких автомобилей и размерность задачи существенно возрастает:

$$C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!} = \frac{100!}{1!(100-1)!} \quad (5)$$

где m – количество автомобилей; n – количество свободных парковочных мест.

Среди задач оптимального размещения можно выделить два класса: задачи размещения взаимосвязанных объектов и задачи размещения распределения. В задачах второго класса при размещении объектов связи устанавливаются в результате их решения. Ко второму классу задач относится задача о Р-медиане [4].

Метод полного перебора при больших размерах парковки может потребовать достаточно больших временных затрат, что неприемлемо в реальном времени. Для сокращения времени поиска оптимального решения можно воспользоваться алгоритмом муравьиной колонии [5].

Алгоритм муравьиной колонии построен на моделировании поведения муравьев и использует, принципы поиска муравьями кратчайших путей до источников пищи и строительных материалов [6].

В реальном мире, муравьи (первоначально) ходят в случайном порядке и по нахождению продовольствия возвращаются в свою колонию, прокладывая феромонами тропы [7]. Если другие муравьи находят такие тропы, они, вероятнее всего, пойдут по ним. Вместо того, чтобы отслеживать цепочку, они укрепляют её при возвращении, если в конечном итоге находят источник питания. Со временем феромонная тропа начинает испаряться, тем самым уменьшая свою привлекательную силу. Чем больше времени требуется для прохождения пути до цели и обратно, тем сильнее испарится феромонная тропа. На коротком пути, для сравнения, прохождение будет более быстрым и как следствие, плотность феромонов остаётся высокой [8].

Данный механизм решения проблемы очень сложен и является хорошим примером самоорганизации системы. Такая система базируется на положительной (другие муравьи укрепляют феромонную тропу) и отрицательной (испарение феромонной тропы) обратной связи [9]. Теоретически, если количество феромонов будет оставаться неизменным с течением времени по всем маршрутам, то невозможно будет выбрать путь. Однако из-за обратной связи, небольшие колебания приведут к усилению одного из маршрутов, и система стабилизируется к кратчайшему пути. Эта вариация

называется пропорциональными псевдослучайными правилами. Так же встречаются и другие вариации муравьиного алгоритма (МА) [10].

Рассмотрим решение задачи размещения n автомобилей (для однокритериальной задачи) с использованием МА:

m – число вариантов возможного размещения ячеек;

i – номер группы ячеек;

n – количество автомобилей;

j – номер автомобиля;

t_{ij} – значение фитнес-функции для ячейки при парковке в ней автомобиля.

Тогда частично целочисленная модель будет выглядеть так:

$$1) z_i = \begin{cases} 1 & \text{если ячейка занята,} \\ 0 & \text{если ячейка пустая;} \end{cases}$$

$$2) F(z) = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} t_{ij} z_i \rightarrow \min;$$

$$3) \sum_{i \in I} z_i = P.$$

Третье условие означает, что автомобиль будет припаркован и будут припаркованы все автомобили, которые требовали парковки.

Решением задачи о P -медиане будет называться вектор z .

Феромоном для каждого значения ячейки будет служить статистическая информация a_i , которая накапливается и хранится в векторе $a = (a_i)$, $i \in I$.

Алгоритм МА

1. Определяем начальный вектор статистической информации a и начальный рекорд $F = \infty$.

2. Строим s допустимых вариантов размещений групп ячеек.

3. Выбираем среди них t лучших решений по целевой функции f^* – рекорд на данной итерации.

4. Изменяем значения a_i , $i \in I$.

5. Если $f^* < F$ то для заполненных ячеек соответствующего z^* полагаем что $a_i = a_{min}$, где a_{min} – параметр алгоритма, задающий минимальное возможное значение a_i , $i \in I$. Рекорд $F = f^*$.

6. Если выполнен критерий остановки, то конец.

7. Иначе переходим в пункт 2.

Вычислим статистический параметр для группы ячеек:

$$a_i = \frac{a_{min} + q^{\gamma_i} (a_i - a_{min})}{\beta}, i \in I, \quad (6)$$

где $\beta \in (0,1)$ – коэффициент затухания (испарение феромонов); $\gamma^i \in [0,1]$ – частота выбора группы ячеек i в лучших решениях, выбираемых на шаге 3; $q \in (0,1)$ – параметр.

Таким образом, чем чаще группа ячеек i попадает в t лучших решений, тем меньше становится значение a_i , $i \in I$. Критерием остановки может быть число итераций, оценка целевой функции, повторяемость решений.

Выводы:

Реализована задача поиска оптимального места парковки одного автомобиля, а также разработан алгоритм поиска оптимального места для m автомобилей.

Предложенный алгоритм поиска парковочного места позволяет осуществлять более рациональное управление автомобильным паркингом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ягузинская И.Ю., Тупушова И.О. Современные автоматизированные системы парковки автомобилей // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2015. – Т. 35. – С. 156–160.
2. Июльский Д.В., Кожевников С.О. Технические решения автоматизированных стоянок для легковых автомобилей // Вестник Ивановского государственного политехнического университета. 2015. – №1(2). С.103–107.
3. Дементьев В.Т. Об одной задаче оптимального размещения точек на отрезке / В.Т. Дементьев // Дискретный анализ: Новосибирск: Ин-т математики Сиб. отд. АН СССР, вып. 4, 1965, С.22–27.
4. Александров Д.А. Алгоритм муравьиной колонии для задачи о минимальном покрытии / Д.А. Александров // XI междунар. Байкальская школа-семинар Методы оптимизации и их приложения, Труды, т3 (1998), Иркутск.
5. Штовба С.Д. Муравьиные алгоритмы // Exponenta Pro. Математика в приложениях. – 2003. – Т. 4. – С. 70-75.
6. Dorigo M. Optimization, learning and natural algorithms // PhD Thesis, Politecnico di Milano. – 1992.
7. Blum C. Ant colony optimization: Introduction and recent trends. Physics of Life Reviews, 2: 353—373, 2005.
8. Кажаров А., Курейчик В. Алгоритмы оптимизации колонии муравьев для решения проблем транспортировки, Журнал Computer and Systems Sciences International, Издания 49. № 1. стр 30-43, 2010.
9. Дориго М., Ди Каро Г. & Л. Гэмбарделла М. Алгоритмы муравья для дискретной оптимизации. Искусственная жизнь, 5 (2): 137–172, 1999.

10. *Dorigo M. Ant Colony Optimization / M. Dorigo, M. Birattari, T. Stutzle // Technical Report No. TR/IRIDIA/2006– 023, September 2006.*

Шинкаренко Татьяна Вячеславовна – магистрант 2 курса Донецкого национального технического университета, ДНР, город Донецк, улица Артема, 58, телефон: +3 (8071) 345-56-01, email: shinkarenko95@list.ru.

Shinkarenko Tatyana Vyacheslavovna – undergraduate 2 course, Donetsk National Technical University, DPR, Donetsk, 58 Artem street, phone: +3 (8071) 345-56-01, email: shinkarenko95@list.ru.

УДК 621.313.3

Номерчук Александр Яковлевич, Ольховская Екатерина Сергеевна,
Недомовный Александр Андреевич

РАЗРАБОТКА ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОГО ОШЕЙНИКА ДЛЯ КОШЕК

В работе рассматривается подход к созданию телеметрического ошейника для кошек. Проанализированы аналоги и предпосылки к проектированию устройства. Разработана структурная схема ошейника, выбран комплекс технических средств для изготовления прототипа, предложена функциональная схема работы системы сбора и передачи телеметрических данных.

Телеметрический ошейник, состояние животного, кот, структурная схема, функциональная схема.

Nomerchuk Aleksandr Yakovlevich, Olkhovskaya Ekaterina Sergeevna,
Nedomovny Aleksandr Andreevich

E DEVELOPMENT OF TELEMETRY COLLAR FOR CATS

In the work available approaches to the creation of a telemetric collar for cats. Analyzed similar and reasonable for the design of the device. A structural diagram of the collar has been developed, a set of technical means has been selected for the manufacture of the prototype, and a functional diagram has been proposed for the operation of the telemetry data collection and transmission system.

Введение. Кошки как домашние животные сопровождают человека с еще древних времен, являясь верным другом, защитником от мышей, морально-психологическим антистрессом, поэтому здоровье домашних питомцев так важно для их хозяев. Очень сложно контролировать состояние здоровья животных, как правило, мы начинаем замечать ухудшение состояния питомцев только тогда, когда признаки болезни прогрессируют и становятся очевидными. Например, животное начинает вести себя вяло, мало есть, или вообще лежит на одном месте.

Именно поэтому в начале 21-ого века начали появляться биометрические ошейники [1-3]. Одними из первых появились GPS-ошейники, которые помогают при помощи спутниковой навигации отследить местоположение животного. В настоящее время уже существуют «умные» ошейники, способные на выполнение различных функций. Например, Xiaomi [2] разработала умный ошейник PetBit, который позволяет узнать сколько калорий потратило животное, а также если вы потеряете питомца, то можете отправить сигнал, а на экране отобразится QR-код с вашей контактной информацией.

Из-за частого отсутствия хозяев дома нет возможности постоянно следить за местоположением и состоянием кошки, для этого «умные» ошейники часто создаются в сочетании с мобильным приложением. Данные с датчиков ошейника по беспроводным каналам передаются на сервер, и благодаря приложению для смартфона пользователи могут ознакомиться с ними.

К сожалению, в основном такие ошейники достаточно тяжелы и мешают вести животному привычный для него образ жизни, именно поэтому в работе предложена идея разработки телеметрического ошейника-шлейки для котят, который не будет вызывать явного дискомфорта у домашнего животного.

Основная часть

Предпосылки разработки телеметрического ошейника для кошек. Больше половины населения мира, согласно исследованию GFK [4], держит у себя домашних питомцев, а в некоторых странах, в том числе в России, только каждый 4 житель, не держит у себя домашнее животное, причем кошек из них больше половины. Согласно статистике WSPA за 2013 год [5], более 30% случаев смерти домашних животных приходится на не-

точности данных диагноза и несвоевременного обращения к ветеринару, а по потерям – только 20% из потерянных домашних животных находятся хозяевами. У 70% населения планеты согласно исследованию [6] имеются смартфоны.

Проанализировав эти данные, можно прийти к выводу что разработка телеметрического ошейника способна значительно снизить вероятность смерти из-за несвоевременного обращения в ветеринарную клинику и неточности данных диагноза, а также позволит находить домашнего питомца в случае его пропажи.

Обзор существующих ошейников для кошек. Был проведен анализ трёх продуктов, широко представленных на рынке GPS-ошейников для домашних животных:

- FitBit – усовершенствованный GPS-ошейник от компании Patrace [1];
- PetBit – умный ошейник Xiaomi [2];
- Pod 2 – GPS-трекер и монитор активности для животных [3].

Результаты анализа рассматриваемых систем, представлены, в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительный анализ телеметрических ошейников						
Ошейник \ Система	Приложение	Защита	Трекер	QR-код	Зарядное устройство	Вет. датчики
FitBit	+	Водо-, пыленепроницаемый	+	–	USB	+
Xiaomi	+	Водонепроницаемый	+	+	USB	–
POD2	–	Водонепроницаемый	+	–	USB	–

Предпосылки для разработки собственного ошейника. На основе анализа были выявлены основные предпосылки к разработке телеметрического ошейника:

- 1) *невысокая стоимость* (при сборе своего собственного прототипа ошейника-шлейки на сборку потратиться около 35 долларов на материалы, а также 5 долларов на обслуживание приложения);

2) *легкий вес* (в сравнении с другими ошейниками биометрические датчики размещаются не на позвоночнике, а на все тело, и сам датчик весит меньше по сравнению с конкурентами).

3) *многофункциональность* (имеется 3 функции, по сравнению с аналогами, в которых присутствует только 2).

Итогом разрабатываемого ошейника должен стать комплекс следующих мероприятий:

- разработка конструкции и структуры ошейника;
- разработка интегрированной системы сбора и обработки информации (возможно, с применением облачных технологий);
- разработка алгоритмического обеспечения параметрической обработки телеметрических данных;
- разработка приложения для смартфонов (IOS, Android).

Разработка конструкции и структурной схемы ошейника. Была разработана и предложена структурная схема телеметрического ошейника (рис. 1), состоящая из ошейника, с закрепленным на нем устройством, в состав которого входят:

- ИК-термометр;
- ИК-датчик пульса;
- GPS-трекер.

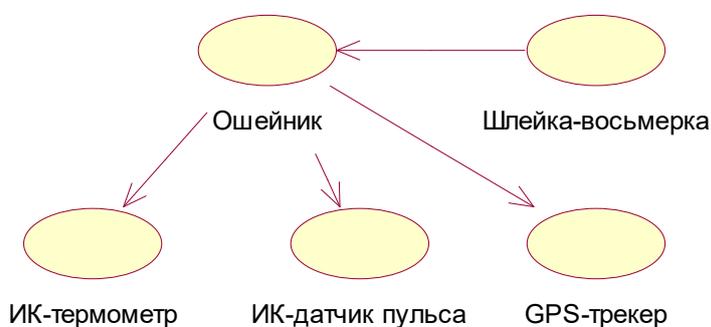


Рис. 1. Структурная схема телеметрического ошейника

Шлейка «Восьмерка». Данная конструкция выполнена в форме двух петель из светоотражающей нейлоновой ленты, которые крепятся в области шеи животного и за передними лапами (рис. 2).



Рис. 2. Схематичное изображение шлейки «Восьмерки»

Корпус оболочки биометрического датчика. Круглый корпус радиусом 3 см, со стеклянной вставкой радиусом 1 см для ИК-датчика, и линза диаметром 1 см для ИК-термометра в нижней части корпуса. 2 «ушка» под крепеж при помощи стальных звеньев.

Основой для разрабатываемой системы является плата Arduino Nano V3 [7], а также оборудование ИК-термометр MLX90614 [8], ИК-датчик сердцебиения MAX30100 [9], GPS-трекер с двумя модулями: SIM800H [10] и GPS NEO-6M V2 [11].

Разработка функциональной схемы работы ошейника. Была предложена функциональная схема работы системы телеметрического ошейника на прием/передачу данных, представленная на рис. 3

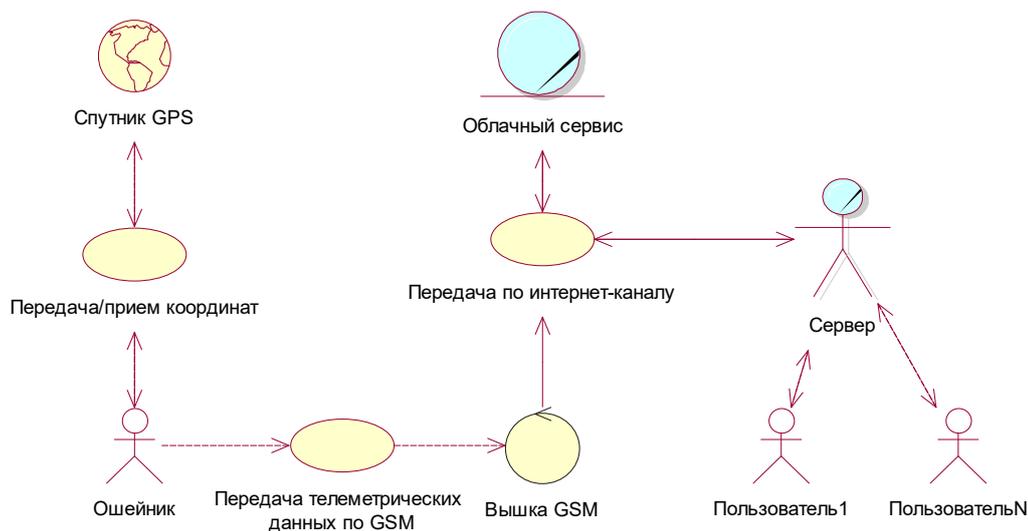


Рис. 3. Функциональная схема работы системы

Выводы.

В ходе работы был проведен анализ существующих на рынке GPS-ошейников, проведено их сравнение и выработаны предпосылки к созданию телеметрического ошейника. Предложена конструкция и структурная схема телеметрического ошейника для кошек, выбраны основные компоненты схемы для разработки тестового прототипа. Разработана функциональная схема передачи данных.

На следующем этапе работы по проекту предполагается сборка опытного образца ошейника, и отработка гипотез и алгоритмов его функционирования и применения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Материалы сайта <https://medgadgets.ru/interesnye-gadzhety/petpase.html> (дата обращения – 20.03.19).
2. Материалы сайта <https://www.ixbt.com/news/2018/06/14/umnyj-oshejnik-xiaomi-stoimostju-30-soobshit-gde-nahoditsja-vash-pitomec.html> (дата обращения – 20.03.19)
3. Материалы сайта <http://fitneschasy.ru/luchshie-trekeryi-i-umnyie-osheyniki-dlya-koshek/> (дата обращения – 20.03.19)
4. Материалы сайта <https://3d-diy.ru/product/infrakrasniy-datchik-temperatury-gy-906-mlx90614> (дата обращения – 17.03.19)
5. Материалы сайта <https://www.gfk.com/ru/insaity/press-release/issledovanie-gfk-bolshe-vsego-domashnikh-zhivotnykh-v-rossii-ssha-i-latinskoi-amerike/>
6. Материалы сайта <https://www.worldanimalprotection.org/blogs/animalstat>
7. Материалы сайта <https://www.ferra.ru/news/mobile/smartphone-penetration-rate-worldwide-26-06-2018.htm>
8. Материалы сайта <https://www.dx.com/p/max30100-pulse-oximeter-heart-rate-sensor-module-2073854#.XOOn9yAzaUI> (дата обращения – 17.03.19)
9. Материалы сайта <https://arduinomaster.ru/platy-arduino/plata-arduino-nano/> (дата обращения – 17.03.19)
10. Материалы сайта https://www.wireless-e.ru/preview/pre_08_03_13_SIM_Com_800_ws.php (дата обращения – 17.03.19)
11. Материалы сайта <https://mysku.ru/blog/aliexpress/39669.html> (дата обращения – 17.03.19)

Номерчук Александр Яковлевич – старший преподаватель Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, город

Таганрог, переулок Некрасовский, 44, 347922, телефон: +7 (905) 430-65-39, e-mail: aynomerchuk@sfnedu.ru

Ольховская Екатерина Сергеевна – студентка Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, переулок Некрасовский, 44, 347922, телефон: +7 (989) 284-01-06, e-mail: esolkhovskaya@sfnedu.ru

Недомовный Александр Андреевич – студент Института нанотехнологий, электроники и приборостроения Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, переулок Некрасовский, 44, телефон: +7 (951) 845-49-51, e-mail: aanedomovnyi@sfnedu.ru

Aleksandr Yakovlevich Nomerchuk – senior lecturer, Institute of Radioengineering Systems and Control Southern Federal University, Taganrog, Nekrasovsky lane, 44, 347922, phone: +7 (905) 430-65-39, e-mail: aynomerchuk@sfnedu.ru

Ekaterina Sergeevna Olkhovskaya – student, Institute of Radioengineering Systems and Control Southern Federal University, Taganrog, Nekrasovsky lane, 44, 347922, phone: +7 (989) 284-01-06, e-mail: esolkhovskaya@sfnedu.ru

Aleksandr Andreevich Nedomovny – student, Institute of nanotechnology, electronics and instrumentation Southern Federal University, Russia, Taganrog, Nekrasovsky lane, 44, phone: +7 (951) 845-49-51, e-mail: aanedomovnyi@sfnedu.ru

УДК 621.396.98

Сытенький Василий Дмитриевич, Максименко Андрей Андреевич

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ РАДИАЛЬНО-БАЗОВЫМ МЕТОДОМ

В работе исследуется возможность использования радиально-базового метода пассивной локации для определения дальности, азимута, угла места, пройденного пути источника излучения. Приведены аналитические выражения лежащие в основе моделирования рассматриваемой задачи в программной среде LabVIEW, а также результаты моделирования.

Пассивная локация, радиально-базовый метод, дальность, направление, помеха, среднеквадратическое отклонение, методическая погрешность.

DETERMINING SOURCE MOTION PARAMETERS RADIATION-BASIC RADIATION METHOD

The paper studies the possibility of using the radial-base method of passive location to determine the range, azimuth, elevation angle, distance of the radiation source path. The analytical expressions underlying the modeling of the problem in the LabVIEW software environment, as well as the simulation results, are presented.

Passive location, radial-base method, range, direction, noise, standard deviation, methodical erro.

Введение

Измерение параметров движения источника излучения всегда была насущной задачей как в активной радиолокации, так и в пассивной. При решении этой задачи существующие радиолокационные системы используют такие закономерности распространения электромагнитных колебаний как их прямолинейность распространения и ограниченная скорость распространения в пространстве [1]. Предлагается исследовать возможность радиально-базового метода, основанного на использовании закономерного затухания колебаний в пространстве при их распространении [2].

Основная часть

В данной работе рассматривается применение радиально-базового метода с тремя приемными пунктами, разнесенными в пространстве [3].

Каждый из приемных пунктов измеряет напряженность поля, создаваемого целью. Причем напряженность A_1 – это напряженность поля на опорном приемном пункте, а A_2 – напряженность поля на приемном пункте, удаленном от опорного на базовое расстояние. Она определяется по формулам [4]:

$$A_1 = \frac{\sqrt{W} \cdot G_1}{4 \cdot \pi \cdot R}, \quad (1)$$

$$A_2 = \frac{\sqrt{W} \cdot G_2}{4 \cdot \pi \cdot (R+D)}, \quad (2)$$

где A_1 и A_2 – напряженности сигнала, создаваемые полем ИИ на приемных пунктах опорном и удаленном от опорного соответственно, W – мощность излучаемого сигнала, G_1 и G_2 – коэффициенты усиления приемных антенн, D – базовое расстояние между приемными станциями, R – дальность до цели.

Формула для определения дальности в этом случае принимает вид [5]:

$$R = D_1 \cdot \cos\alpha \cdot \frac{A_2 \cdot G_1}{A_1 \cdot G_2 - A_2 \cdot G_1}, \quad (3)$$

$$R = D_2 \cdot \cos\beta \cdot \frac{A_3 \cdot G_1}{A_1 \cdot G_3 - A_3 \cdot G_1}. \quad (4)$$

Формулы (3) и (4) упрощаются при использовании антенн с одинаковым коэффициентом усиления. Получаются следующие выражения для нахождения дальности:

$$R = D_1 \cdot \cos\alpha \cdot \frac{A_2}{A_1 - A_2}, \quad (5)$$

$$R = D_2 \cdot \cos\beta \cdot \frac{A_3}{A_1 - A_3}. \quad (6)$$

Приравнивая правые части формул (5) и (6), а также выражая угол β так, что $\beta = 90^\circ - \alpha$, получаем выражение для определения азимута (угол α):

$$\alpha = \arctg \frac{D_1 \cdot \frac{A_2}{A_1 - A_2}}{D_2 \cdot \frac{A_3}{A_1 - A_3}}. \quad (7)$$

Найденный по формуле (7) азимут используется для определения дальности до источника излучения по формуле (5).

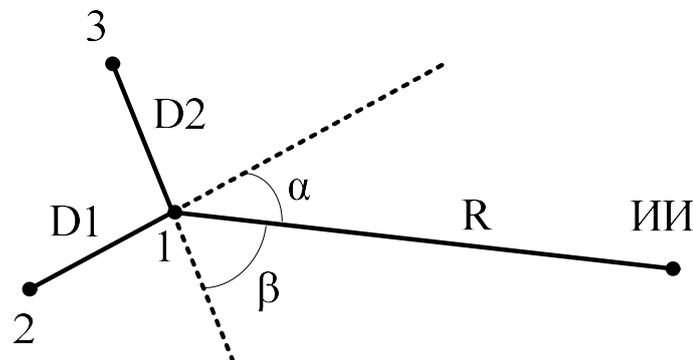


Рис.1. Радиально-базовый метод с тремя приемными пунктами

Для нахождения методических погрешностей радиально-базового метода была создана модель в программной среде LabVIEW [6]. После создания программы была проверена ее работоспособность и найдены методические погрешности [7] в определении дальности и азимута [8].

На рис. 2 показан график изменения методической погрешности определения азимута. Расчет происходил при дальности до цели равной 100 км. Расстояние между базовыми станциями равно 5 км.

На рис. 3 показан график изменения методической погрешности определения дальности. Расчет происходил при азимуте на цель, равном 45°. Расстояние между базовыми станциями равно 5 км.

На рис. 2 по оси абсцисс показаны реальные значения азимута источника излучения в градусах, по оси ординат отклонение измеренных значений азимута от реальных значений в градусах.

На рис. 3 по оси абсцисс показаны реальные значения дальностей до источника излучения в километрах, по оси ординат отклонение измеренных значений дальности от реальных значений в километрах.

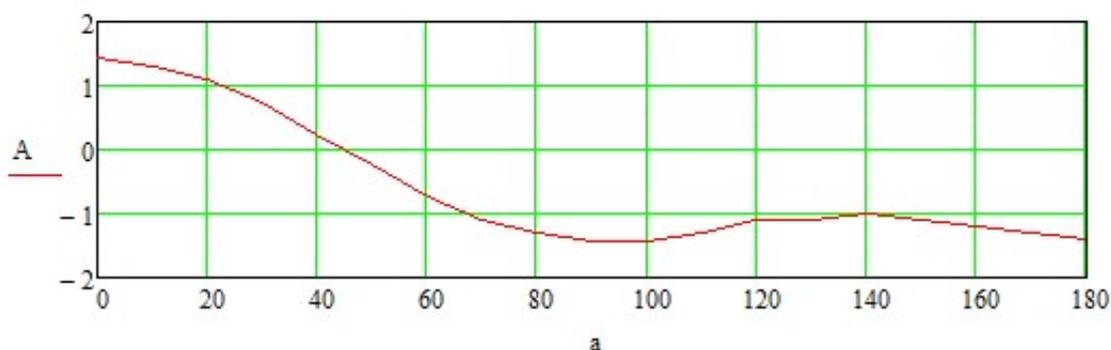


Рис. 2. Погрешность определения азимута (дальность 100 км)

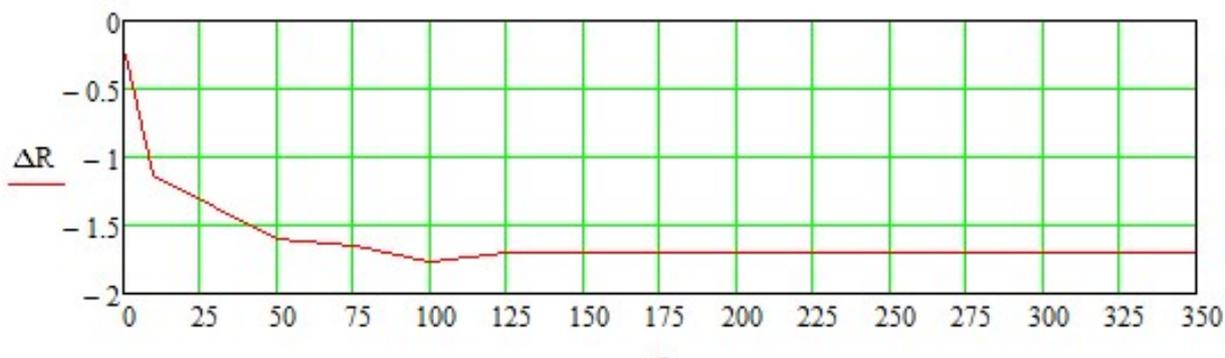


Рис. 3. Погрешность определения дальности (азимут 45°)

Определив через некоторое время дальность до подвижной цели и азимут повторно, можно найти путь, который прошла цель и ее скорость. Повторив измерение в третий раз, появляется возможность определить ускорение цели.

Пройденный целью путь рассчитывается по формуле [9]:

$$S = \sqrt{D_1^2 + D_2^2 - 2 \cdot D_1 \cdot D_2 \cdot \cos \alpha}, \quad (1.2)$$

где D_1 и D_2 – дальности до ИИ в двух точках обнаружения, а α – угол между положениями ИИ в двух точках положения при обнаружении.

Скорость цели рассчитывается по формуле:

$$V = \frac{S}{t}, \quad (1.3)$$

где S – пройденный ИИ путь за время наблюдения t .

Ускорение цели рассчитывается по формуле:

$$a = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1}, \quad (1.4)$$

где V_1 и V_2 – скорость ИИ на отрезках пути S_1 и S_2 , а t_2 и t_1 – время между обнаружением ИИ.

На рис. 4 показана имитация движения цели при отсутствии внешних помех.

Из рис.4 видно, что разработанная модель определила азимут и дальность до ИИ в трех точках, определила пройденный путь, скорость ИИ на двух участках и ускорение.

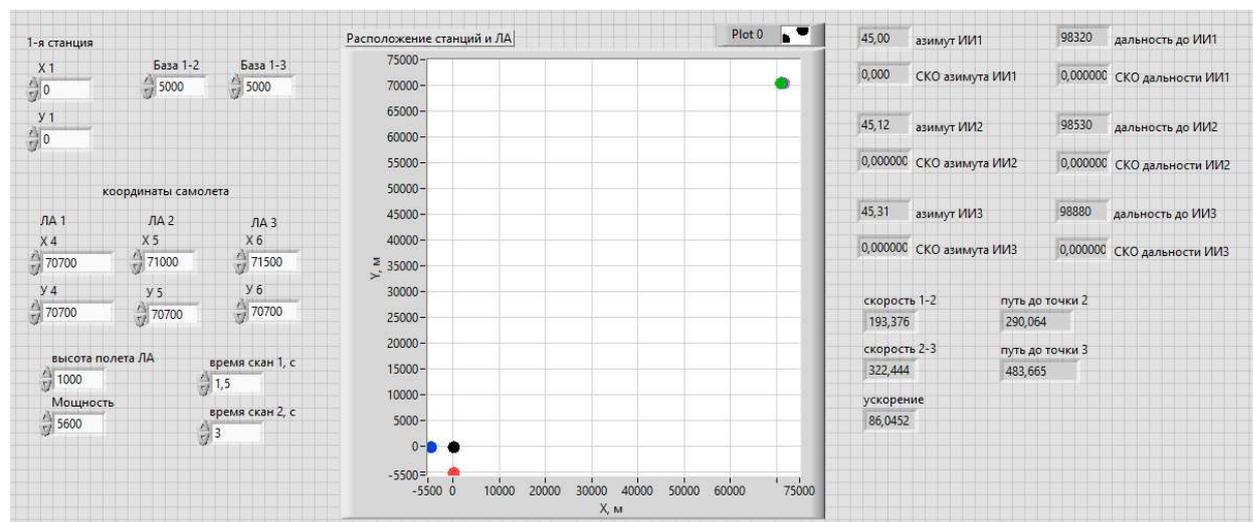


Рис. 4. Имитация движения цели при отсутствии внешних помех

Рассчитанные значения приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры движения источника излучения

В момент 1-ого обнаружения	В момент 2-ого обнаружения	В момент 3-его обнаружения			
Азимут, °	45,00	Азимут, °	45,12	Азимут, °	45,31
Дальность, м	98 320	Дальность, м	98 530	Дальность, м	98 880
Путь, м	-	Путь, м	290,064	Путь, м	486,665
Скорость, м/с	-	Скорость, м/с	193,376	Скорость, м/с	322,444
Ускорение, м/с ²	-	Ускорение, м/с ²	-	Ускорение, м/с ²	86,045

Заключение

Разработанная модель позволяет определять как направление на источник излучения, так и параметры его движения. Методическая погрешность определения азимута не более $1,5^\circ$, методическая погрешность определения дальности не более 1,8 км. Следовательно, с помощью радиально-базового метода можно с достаточной точностью определять параметры движения источника излучения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бакулев П.А. Радиолокационные системы. Учебник для вузов. – М.: Радиотехника, 2004. 320 с.
2. Сытенький В.Д. Определение направления на источник излучения радиально-базовым методом. Материалы международной научной конференции «Анализ и синтез как методы научного познания»-часть 3- Таганрог: ТРТУ, 2004, 76 стр.
3. Сытенький В.Д. Определение координат источника излучения в трехмерном пространстве радиально-базовым методом. Материалы международной научной конференции «Информационные технологии в современном мире» - ч.3 – Таганрог: ТРТУ, 2006, 95 стр.
4. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. Изд. 5-е перераб. и доп. М.: Наука, 1971.- 935 с.
5. Сытенький В.Д. Пассивная локация на основе амплитудных измерений// Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2011. Вып. 1. С. 69 – 76.
6. Тревис Дж. LabVIEW для всех / Джеффри Тревис: Пер. с англ. Клушин Н.А. М.: ДМК Пресс; Прибор Комплект, 2004, - 544 с.: ил.
7. Мирский Г.Я. Радиоэлектронные измерения. – М.: Энергия, 1975. – 265 с. Беляевский Л.С., Новиков В.С., Олянюк П.В. Основы радионавигации. М.: Транспорт, 1982. – 287с.
8. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – 13-е изд. – М.: Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 544 с.

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.

Максименко Андрей Андреевич – 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:

www.uzz@mail.ru.

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.

Maksimenko Andrey Andreevitch– 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: www.uzz@mail.ru.

УДК: 005.521; 51-74

Щербак Дарья Юрьевна, Шадрина Валентина Вячеславовна

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕДИКТИВНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

В работе проанализированы методы, применяемые для выполнения прогнозирования в различных сферах. Рассматривается возможность применения методов предиктивного анализа в промышленности, достоинства, недостатки и ограничения существующих методов в рамках систем удаленного мониторинга.

Big Data, Data Mining, предиктивный анализ, прогнозирование, методы анализа данных, проблемы предиктивного анализа, системы удаленного мониторинга.

FEATURES OF THE APPLICATION OF PREDICTIVE ANALYSIS FOR TECHNICAL OBJECTS

The paper presents the results of the analysis of methods that are used to perform forecasting in various fields. The possibility of applying the methods of predictive analysis in industry is considered. Presents the advantages, disadvantages and limitations of existing methods when used in remote monitoring systems.

Big Data, Data Mining, predictive analysis, forecasting, data analysis methods, predictive analysis problems, remote monitoring systems.

Введение

Мы живем в веке, где информация становится ценнее денег. 21 век обладает техническими возможностями и, следовательно, возрастает количество информации. Благодаря этому возникло новое направление – Big Data. Термин «Big Data» (большие данные) ввел Клиффорд Линч (редактор журнала Nature) 3 сентября 2008 года в специальном выпуске «Как могут повлиять на будущее науки технологии, открывающие возможности работы с большими объёмами данных?» [1]. Big Data – это структурированные и неструктурированные данные огромных объёмов, которые возможно обработать и проанализировать для поиска в них закономерностей [2].

Основная часть

В отчете McKinsey выделены методы и техники анализа, применимые к Big Data [3] такие как методы класса Data Mining: обучение ассоциативным правилам, классификация, кластерный анализ, регрессионный анализ; краудсорсинг; смешение и интеграция данных; машинное обучение; искусственные нейронные сети, сетевой анализ, генетические алгоритмы; распознавание образов; прогнозный анализ; имитационное моделирование; пространственный анализ; статистический анализ; визуализация аналитических данных.

Родственным понятием термина Big Data является Data Mining. Понятие Data Mining началось с семинара Григория Пятецкого-Шапиро в 1989 году, на котором он дал определение этого понятия: Data Mining – это процесс обнаружения в сырых данных ранее неизвестных нетривиальных практически полезных и доступных интерпретации знаний, необходимых для принятия решений в различных сферах человеческой деятельности [4].

Основными методами Data Mining являются всевозможные методы классификации, моделирования и прогнозирования, основанные на применении: деревьев решений; искусственных нейронных сетей; генетических алгоритмов; эволюционного программирования; ассоциативной памяти; нечёткой логики; статистических методов и пр.

Задачи, решаемые методами Data Mining, разделяют на описательные и предсказательные (предиктивные). Описательные задачи основываются на наглядном описании имеющихся скрытых закономерностей, а предсказательные основываются на случаях, когда данных ещё нет.

К описательным задачам относятся: поиск ассоциативных правил или паттернов (образцов); группировка объектов, кластерный анализ и построение регрессионной модели.

К предсказательным задачам относятся: классификация объектов (для заранее заданных классов); регрессионный анализ, анализ временных рядов [5].

В работе этих двух процессов используется такой метод как предиктивный анализ (предсказательный анализ, прогнозный анализ).

Основной целью предиктивного анализа является определение предикторов, которые влияют на прогнозируемое событие. Множество этих предикторов образует модель предиктивного анализа, которая предсказывает определенное событие в будущем с некоторой степенью вероятности. Предикторами являются данные получаемые организованно и непрерывно с датчиков и иных устройств. Таким образом, накапливаются большие объемы данных о различных процессах в режиме реального времени, к которым применяют методы и техники обработки информации и данных. Итогом использования всех инструментов станет выявление закономерности и событие, которое произойдет в ближайшее время [6, 7].

Мировой рынок систем, основанный на предиктивном анализе, в дальнейшем будет расти. Так как данный анализ со временем будет применен во многих областях для минимизации и предотвращения негативных событий и повышения эффективности работы.

Предиктивный анализ (ПА) – класс методов анализа данных, концентрирующийся на прогнозировании будущего поведения объектов и субъектов с целью принятия оптимальных решений [8]. Он основывается на большом объеме данных, в том числе Big Data, которых будет достаточно для составления прогноза в дальнейшем.

Для того чтобы предсказать какое-либо событие в ПА используют различные методы анализа данных, к основным относят: статистические методы; методы интеллектуального анализа данных (Data Mining); теории игр; интеллектуальные системы; метод MSET; анализ текущих и исторических фактов для составления предсказаний о будущих событиях; машинное обучение и др.

Эти методы применяют комплексно, то есть для составления предиктивной модели используют несколько методов, например интеллектуальные системы и машинное обучение.

После получения предиктивной модели ее используют в какой-либо сфере деятельности человека. Область применения ПА очень обширна, что подтверждает Эрик Сигель в своей книге «Predictive Analytics», в которой он приводит большое количество примеров использования данного вида анализа [8], в том числе актуарные расчёты, финансовые услуги, страхование, телекоммуникации, розничная торговля, туризм, здравоохранение, фармацевтика, образование, промышленность, энергокомплекс, банковское дело, логистика, маркетинг и др.

На производстве выделяют следующие цели ПА:

- анализ и прогнозирование влияния воздействий факторов на параметры продукции;
- прогнозирование отказов оборудования – переход от обслуживания по регламенту к обслуживанию по состоянию;
- прогнозирование производства продукции и потребления энергии и ресурсов;
- онлайн упреждающие оповещения о будущих внештатных ситуациях.

Чтобы ПА был успешным, рекомендуется выполнять приведенные ниже действия, начиная с «Получение данных из различных источников» (рис. 1) [6]:

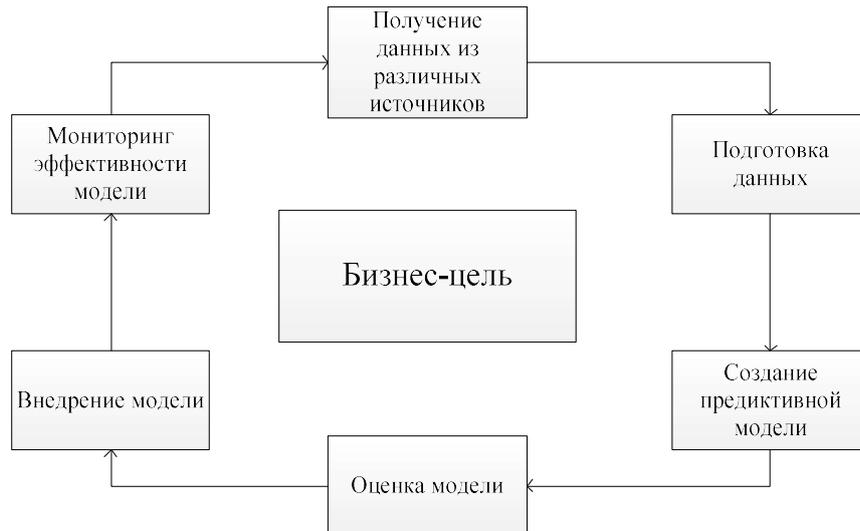


Рис. 1. Основные этапы работы предиктивного анализа

Используя информацию, которая накопилась со временем, ПА сможет в дальнейшем предложить варианты развития событий для принятия оптимальных управленческих решений. В качестве основных направлений применения ПА можно выделить [9]:

- формирование рекомендаций, путем составления информационных сообщений на основе анализа накопленных данных;
- обеспечение безопасности, посредством отслеживания потенциально опасных предикторов;
- оптимизация. В зависимости от собранной информации формируются предположения по улучшению качества работы;
- персональный подход. Опираясь на информацию о клиенте, появляется возможность разработки индивидуального заказа.

На промышленных предприятиях ПА имеет особое значение, так как происходит обработка и понимание большого количества информации, вследствие чего возникают риски при принятии решений. Не всегда руководители промышленных предприятий могут правильно использовать полученные данные, в то время как с помощью них можно оптимизировать производство, снизить риски производственных аварий и улучшить технико-экономические показатели.

Основными затратами на производстве являются ликвидация последствий после аварий и ремонт оборудования, в результате простоя которого предприятие несет убытки. В современное время выгодно планировать бюджет и совершать ремонт оборудования по его состоянию, и чем раньше

будет обнаружено отклонение в работе, тем экономически выгодно это будет для предприятия [7].

Для того чтобы работать с ПА необходима программа, с помощью которой будут считываться данные и строиться модели прогноза. Существуют несколько видов платформ: готовые (Magento, Springbots, Canopy Labs, Shopify); с открытым кодом (для внедрения требуется разработчик: R, Python); полнофункциональный пакет (готовые модели прогнозирования для разных сфер: SAS) [9].

На Российском рынке используют следующие системы ПА зарубежной разработки [10]: «SmartSignal» General Electric; «SPPA-D3000 Plant Monitor» Siemens; «EtaPRO» GP Strategies/Rovsing Dynamics; Avantis PRiSM Schneider Electric; «pSeven» DATADVANCE. Из отечественных разработок можно выделить СМИС компании Эксперт и ПРАНА компании РОТЕК, которые применяют на промышленных предприятиях. Во всех этих системах используют различные математические методы ПА.

К основным проблемам разработки и внедрения ПА на промышленные предприятия можно отнести:

- сложность разработки самой предиктивной модели;
- отсутствие опыта работы с большими объемами данных получаемые с КИП предприятия;
- «слабое» техническое обеспечение предприятия;
- отсутствие единой платформы, совместимой со всеми протоколами и устройствами.

Выводы

Из-за вышеперечисленных проблем использование ПА в промышленности остается на низком уровне.

Таким образом, ПА является молодым и сложным методом обработки данных, который только изучается и разрабатывается, чтобы в дальнейшем расширить его зону применения и помогать руководителям организаций повышать эффективность работы и снижать убытки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Черняк Л.* Большие Данные – новая теория и практика // Открытые системы. СУБД. – 2011. – №10. – ISSN 1028-7493.
2. *Моррисон А. и др.* Большие Данные: как извлечь из них информацию. Технологический прогноз. Ежеквартальный журнал, российское издание. – 2010, выпуск 3. Архивировано 11 марта 2012 года. Дата обращения: 7.04.2018.

3. *Manyika J. et al.* Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity // McKinsey Global Institute, June, 2011. Архивировано 11 декабря 2012 года. Дата обращения: 7.04.2018.
4. Дюк В.А., Флегонтов А.В., Фомина И.К. Применение технологий интеллектуального анализа данных в естественнонаучных, технических и гуманитарных областях // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. – СПб.: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена". – 2011. – С. 77-84, (206).
5. Великие раскопки и великие вызовы. КОМПЬЮТЕРРА. 2007.– №11 (679).
6. TADVISER [Электронный ресурс]. URL: http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Предикативная_аналитика_%28предиктивная%2C_прогнозная%2C_прогностическая%29_Predictive_analytics. [Дата обращения: 18.03.2019].
7. energybase.ru [Электронный ресурс]: Новости: Предиктивная аналитика на производстве. URL: <https://energybase.ru/news/industry/prediktivnaa-analitika-na-proizvodstve-2018-02-21>. [Дата обращения: 12.04.2019].
8. Сигель Э. Просчитать будущее: Кто кликнет, купит, соврёт или умрёт = Predictive Analytics. – М.: Альпина Паблишер. – 2014. – 374 с. –ISBN 978-5-9614-4541-1.
9. 1PS.RU [Электронный ресурс]: Блог: Повышение продаж: Предиктивная аналитика для улучшения бизнеса. URL: <https://1ps.ru/blog/ctr/2018/prediktivnaya-analitika-dlya-uluchsheniya-biznesa/>. [Дата обращения: 20.04.2019].
10. Наумов С.А., Крымский А.В., Липатов М.А., Скрабатун Д.Н. Опыт использования удаленного доступа и предсказательной аналитики состояния энергетического оборудования // Автоматизация и тепловой контроль в энергетике// Теплоэнергетика. – 2018. – №4. – С. 21-33.

Щербак Дарья Юрьевна – ст. лаборант кафедры САУ ЮФУ, Россия, г. Таганрог, пр. Некрасовский 44, телефон: 8-909-395-37-75, e-mail: daria-dasha93@mail.ru.

Шадрин Валентина Вячеславовна – к.т.н., доцент, зав. кафедры САУ ЮФУ, Россия, г. Таганрог, пер. Некрасовский 44, телефон: 8-928-610-30-44, e-mail: valentina@mail.ru.

Scherbak Daria Yurievna – assistant, of the department of automatic control systems, South Federal University, Russia, Taganrog, Nekrasovsky 44, Phone: 8-909-395-37-75, e-mail: daria-dasha93@mail.ru.

Shadrina Valentina Vyacheslavovna – PhD, Associate Professor, head of the department of automatic control systems, South Federal University, Russia, Taganrog, Nekrasovsky 44, Phone: 8-928-610-30-44, e-mail: valentina_@mail.ru.

УДК 621.3

Дубяго Александр Геннадьевич, Полуянович Николай Константинович

МЕТОД ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕСУРСА ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

Рассматриваются вопросы разработки и исследование системы мониторинга состояния изоляции силовых кабельных линий (СКЛ), реконструируемых сетей электроснабжения. Проведены экспериментальные исследования надежности изоляции, а именно разработан алгоритм и выполнено моделирование срока службы изоляции СКЛ от напряженности и температуры. Рассмотрены вопросы технического обслуживания силовых кабельных линий с использованием современных неразрушающих методов диагностики.

Прогнозирование, изоляционные материалы, кабельные линии.

Dubyago Alexander Gennadievich, Poluyanovich Nikolay Konstantinovich

METHOD OF ASSESSING AND RESOURCE FORECASTING OF INSULATION OF POWER CABLE LINES

The questions of development and research of the system of monitoring the state of insulation of power cable lines (SCL), reconstructed power supply networks are considered. Experimental studies of the reliability of the news isolation, namely the algorithm and modeling of service life of isolation from SKL tension and temperature. The questions of maintenance of power cable lines using modern non-destructive diagnostic methods are considered.

Forecasting, insulation materials, cable lines.

Основным аспектом обеспечения надёжности электроснабжения является реализация энерго- и ресурсосберегающей концепции обслуживания

электрооборудования на базисе непрерывного мониторинга его технического состояния [1-3]. Для этого необходимы средства и методы позволяющие определять текущее состояние объекта, проводить контроль и прогнозировать состояние.

Актуальность концепции вызвана усложнением требований электросетей к их надёжности, обеспечиваемые в будущем интеллектуальными системами электроснабжения (smart grids), обязательным элементом которых являются средства мониторинга. При эксплуатации СКЛ подвержены воздействию многих факторов вызывающих: электрическое старение изоляционного материала (электрическое поле); увлажнение, ведущее за собой снижение электрических и физических характеристик изоляционного материала; химическое старение (происходящие под влиянием агрессивных веществ); а также тепловое старение и окисление изоляционного материала (тепловое поле). Старение изоляционного материала кабельных линий (КЛ) вследствие продолжительного взаимодействия с негативными факторами может привести к его пробое. В связи с приведенными аргументами тема работы актуальна.

Достижение указанной цели требует решения задачи, формулируемой следующим образом: разработка диагностических методов которые позволяют обеспечить удаленность и безошибочность мониторинга СКЛ. Обеспечение непрерывного анализа состояния изоляции СКЛ является важным элементом в процессе создания интеллектуальных электрических сетей (smart grids). Решением этой научной и технической проблемы станет обнаружение дефектов изоляционных материалов на ранней стадии их развития и, как следствие, предотвращение аварийных ситуаций, которые способны привести к серьезным негативным последствиям и повлиять на работу системы электроснабжения в целом.

Научная новизна работы состоит в том, что исследуется термофлуктуационная теория разрушения изоляционных материалов, предложен неразрушающий метод диагностики.

Методы измерения характеристик частичных разрядов. Температура изоляции кабеля основной фактор вызывающий старение [4-8, 11, 14], разрушение и выход из строя кабеля. Так в изоляции под продолжительным воздействием напряжения ЧР образуются в газовых пузырях и микротрещинах. А при попадании влаги, возникают водные триинги [13]. Под ЧР понимается частичный электрический пробой изоляционной среды, т.е. при

этом перекрывается лишь какой-то локально ограниченный участок всей изоляции. Поверхности, поврежденные длительными ЧР (рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид пробоя в силовом кабеле

Исследование срока службы изоляции. При диагностике кабеля, на основе метода измерения характеристик ЧР, используют метод измерения и локализации ЧР осциллирующим затухающим напряжением [10]. Что позволит определить величину и расположение ЧР и делать заключение о реальном техническом состоянии кабеля. Объектом исследований в работе являются КЛ с изоляцией из сшитого полиэтилена, применяемые для общих задач электроснабжения. Включения в линии не препятствует работе, но имеет тенденцию к ухудшению ее технического состояния. Завершающей стадией развития включения является процесс выхода линии из строя, т.е. пробой. Время развития включения до пробоя может составлять от нескольких месяцев до нескольких лет. Поэтому задача диагностики технического состояния СКЛ состоит в определении степени развития включения, его опасности и остаточном ресурсе эксплуатации до пробоя. Наличие информации о текущем действительном техническом состоянии СКЛ позволяет исключить внезапные аварии. Проведена комплексная диагностика электрической сети (рис. 2).

Рис. 2 Схема исследуемой кабельной системы

Эксперимент проводился аппаратурой OWTS по всем фазам СКЛ длиной 590м, которая находилась под напряжением 6кВ с 1983 года. Участок энергосети состоит из РП1 и ТП–149, соединенных между собой 3-х жильным кабелем типа ААБ 3*150. СКЛ состоит из трех секций, соединенных между собой муфтами. Распределение основной характеристики ЧР (интенсивности ЧР) на карте, представлено на рис. 3,б. На рисунке 3,а показана схема участка силовой кабельной системы для измерения ЧР.

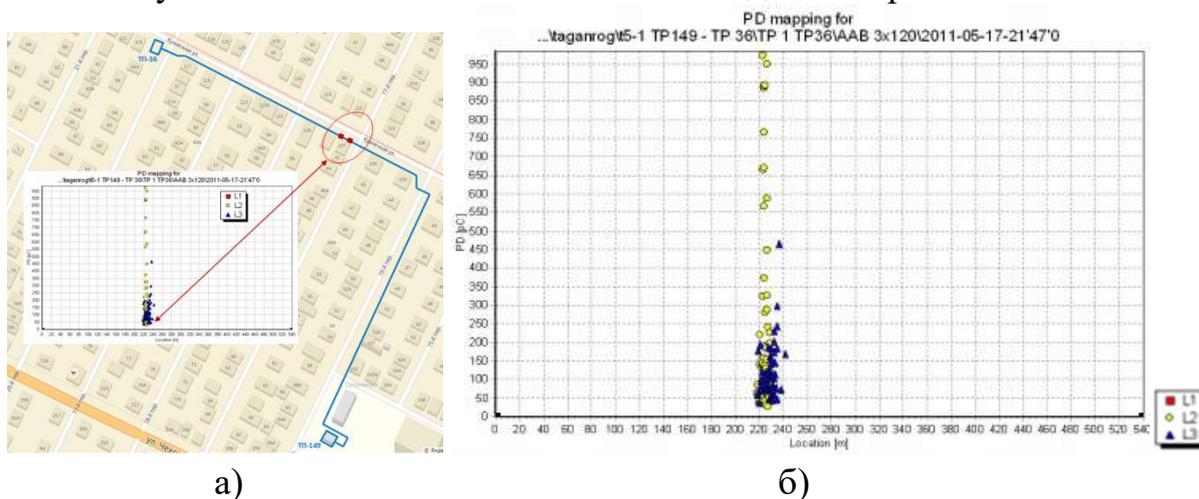


Рис. 3. а) распределение интенсивностей ЧР на участке энергосети;
б) карта распределения и интенсивности ЧР в изоляции СКЛ

Обсуждение полученных результатов. Обнаруженные источники ЧР (рис. 3.) свидетельствуют о наличии включений в ИМ кабельной системы.

По результатам обследования КЛ ее техническое состояние оценивается как удовлетворительное. При обследовании на отметке 230 м по всем фазам от ТП–149 зафиксирована повышенная интенсивность ЧР (рис. 3, б). Результаты исследований участков СКЛ (напряжение возникновения ЧР, $U_{\text{чр}}$; максимальная величина (уровень) ЧР q) сведены в табл. 1, где: $P_{\text{ст}}$ – коэффициент старения; QS – коэффициент нелинейности.

Таблица 1

Исследование диэлектрических параметров состояния СКЛ

Кабель- ная система	Параметры диэлектрическо- го старения ($I_{раб}$, $U_{воз}$)		Рекомендации по техническому обслуживанию			
	$R_{ст}$	QS	Степень увлажненно- сти	Степень старения изоля- ции	Состо- яние	Диагно- сти- рование
РП-1 до ТП-149	0.279	1.172	Влажная	Сильно состарена	Неуд.	Через 1-год

Исследования процессов старения изоляционного материала. Анализ моделей старения показал, что зависимость срока службы изоляционного материала от температуры и напряженности электрического поля существенно зависит от коэффициентов, задаваемых в моделях, которые могут варьироваться в больших пределах.

Для математического моделирования выбрана модель старения изоляционного материала Журкова, так как она базируется на учете энергетических составляющих разрушающих воздействий, которыми является температура изоляционного материала (как параметр термической и термоокислительной деструкции) и мощность ЧР, которая является функцией от напряженности электрического поля:

$$\tau_{сл} = \tau_0 \exp \left[\frac{U_0 - \gamma \sigma}{kT} \right],$$

где τ_0 , U_0 , γ – константы, зависящие от структуры материала и определяемые экспериментальным путем, σ – растягивающее напряжение, k – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура.

Однако в первоначальном виде эту модель нельзя использовать для расчета срока службы изоляционного материала СКЛ, поэтому были предложены уточнения в модель для учета воздействия температуры и электрического поля:

$$\tau_{сл} = \tau_0 \exp \left[\frac{w - \chi E}{RT} \right],$$

где τ_0 – значение срока службы, когда степенное выражение стремится к единице, w – энергия активации структурного пробоя, R – универсальная газовая постоянная, χ – структурный параметр, E – напряженность электрического поля, T – абсолютная температура.

Недостатком определения старения по формуле Журкова является тот факт, что не учитывается энергия ЧР, а также разрывов связей (СС и СН), вызванных этой энергией. То есть предлагается в формуле (2.2) напряженность E учитывать как сумму напряженностей $E = E_0 + E_V$.

В связи с этим расчет остаточного срока службы изоляции необходимо вести в зависимости от:

- напряженности определяемой размерами включения;
- энергии разрыва связи мономера (СС и СН – связи);
- емкости основной изоляции и включения;
- толщины изоляции и размера включения.

Исходными данными для расчета являются r_1 – радиус жилы; r_l – наружный радиус основной изоляции; $\tau_0 = 10^{13}$ – время ожидания распада одной связи; $R = 8.3144598 \cdot 10^{-3}$ – универсальная газовая постоянная; T – температура в Кельвинах; $\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-15}$ – диэлектрическая постоянная; $\varepsilon_{SPE} = 2.4$ – диэлектрическая проницаемость полиэтилена; $\varepsilon_{VKL} = 1$ – диэлектрическая проницаемость полиэтилена; $f = 50$ Гц – частота, $U = 10$ кВ – напряжение; r_{vkl1} – радиус включения 10 мкм; r_{vkl2} – радиус включения 250 мкм; r_{vkl3} – радиус включения 500 мкм; Включение для простоты представлено в виде сферы.

Расчет срока службы. Итоговая формула расчета такова

$$\tau = \tau_0 \exp\left(\frac{W_{ср} - \chi E}{RT}\right),$$

где χ – структурный параметр $\left[\frac{\text{кДж мм}}{\text{моль кВ}}\right] = 0,447$, E – общая напряженность электрического поля. Рассчитывалась по формулам для E_1, E_2, E_3 .

При расчете остаточного срока службы учитывалось, что в одном мономере присутствует две СС связи и четыре СН связи. Энергии разрыва одной связи брались соответственно $W_{CC} = 84 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{моль}}\right]$ и $W_{CH} = 99 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{моль}}\right]$.

Согласно предположению Полякова, в формуле по расчету остаточного ресурса бралась средняя энергия разрыва:

$$W_{ср} = \frac{2 * W_{CC} + 4 * W_{CH}}{6},$$

здесь χ – структурный параметр $\left[\frac{\text{кДж мм}}{\text{моль кВ}}\right] = 0,447$; E – общая напряженность электрического поля рассчитывалась по формулам для E_1, E_2, E_3 .

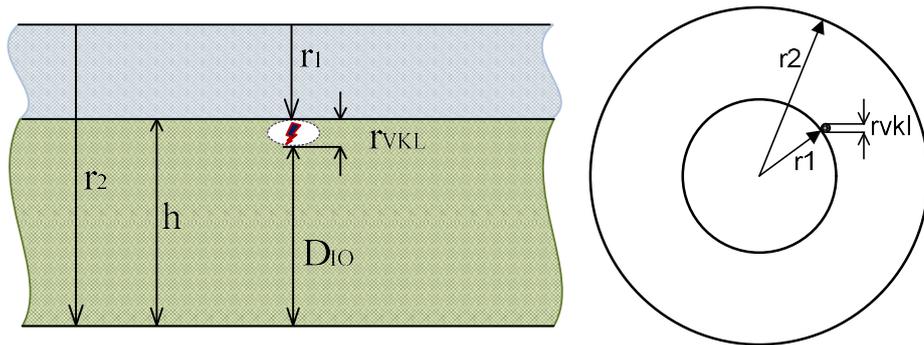


Рис. 4. Исследуемый изоляционный материал

Для этих целей использовался пакет программ Matlab, полученные результаты моделирования представлены на рис. 6. Алгоритм работы программы приведен на рис. 5.

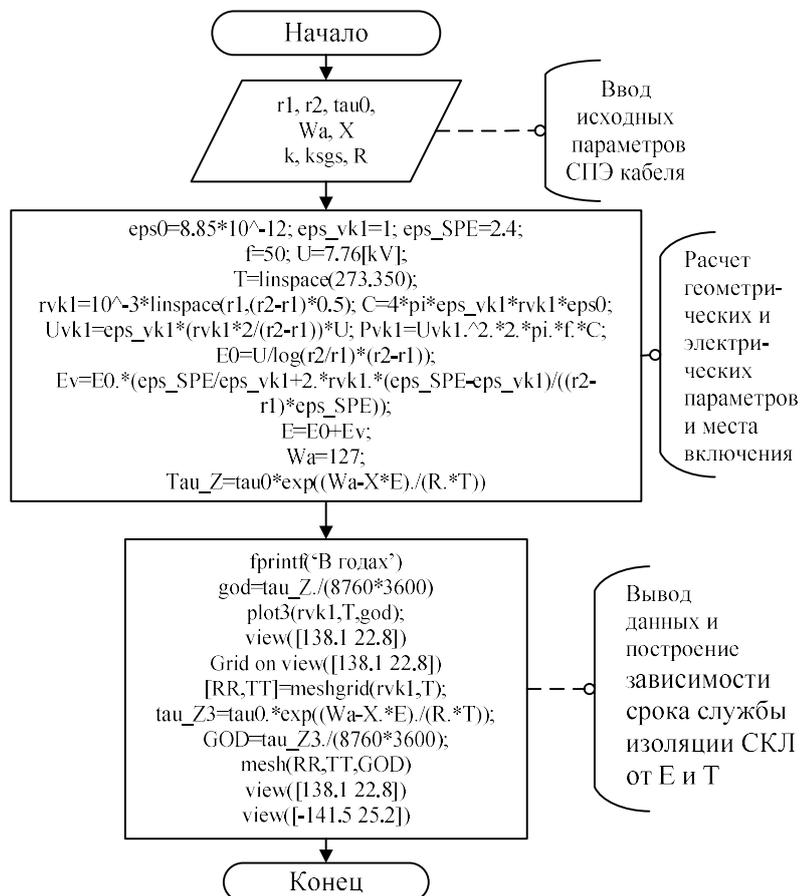


Рис. 5. Алгоритм расчета срока службы изоляции СКЛ

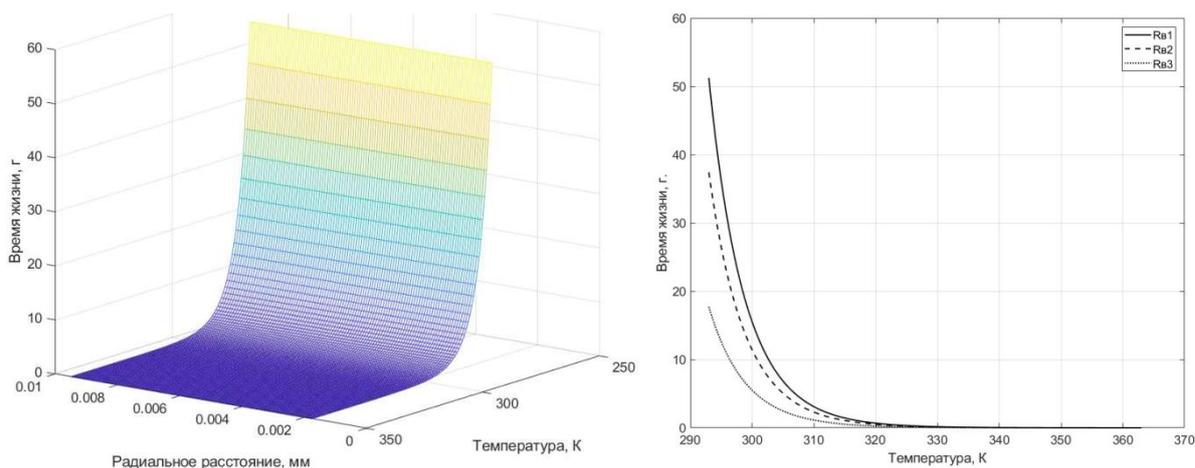


Рис. 6. Контурная поверхность зависимости срока службы изоляции

Заключение. Внедрение неразрушающих методов испытаний и диагностики СКЛ с использованием современного испытательного и диагностического оборудования будет способствовать повышению надежности электроснабжения потребителей, а также позволит эффективнее планировать ремонт и замену КЛ по их техническому состоянию. Проведены экспериментальные исследования надежности изоляции, а именно разработан алгоритм и выполнено моделирование срока службы изоляции СКЛ от напряженности и температуры. Для математического моделирования выбрана модель старения изоляционного материала Журкова, так как она базируется на учете энергетических составляющих разрушающих воздействий, которыми является температура изоляционного материала (как параметр термической и термоокислительной деструкции) и мощность ЧР, которая является функцией от напряженности электрического поля. Внесенные уточнения в модель старения изоляционного материала Журкова для кабелей из сшитого полиэтилена позволят использовать модель старения для определения остаточного ресурса и прогнозирования износа изоляционного материала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А.В. Коржов, Е.В. Томашева. Энергетическая диаграмма силового кабеля для анализа активных потерь, влияющих на состояние изоляции. Вестник ЮУрГУ, №11, 2008. Серия «Энергетика», выпуск 9. С.29-31.
2. Полуянович Н.К., Тибейко И.А. Эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий. Южный Федеральный Университет,

- Инженерно-технологическая академия, Институт радиотехнических систем и управления, Кафедра электротехники и мехатроники. Таганрог, 2014.
3. *Полуянович Н.К., Дубяго М.Н., Щуровский В.А.* Методы испытания силового электрооборудования. / Южный Федеральный Университет, Инженерно-технологическая академия, Институт радиотехнических систем и управления, Кафедра электротехники и мехатроники. Таганрог, 2016.
 4. *Зайцев, Е.С. и др.* Моделирование тепловых процессов в кабеле с изоляцией из сшитого полиэтилена средствами Matlab и Simulink [Текст] / Материалы НПК. Ч. 1. – СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2014. – 176 с.
 5. *Полуянович Н.К., Дубяго М.Н.* Термофлуктуационный метод диагностики состояния изоляционных материалов СКЛ и прогнозирование их остаточного ресурса. ж Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2018. Т.61. №5. С.66-71.
 6. *Дубяго М.Н., Полуянович Н.К., Пшихопов В.Х.* Метод исследования термофлуктуационных процессов в задачах диагностики и прогнозирования изоляционных материалов. Вестник Донского государственного технического университета. 2017. Т. 17. № 3 (90). С. 117-127.
 7. *Дубяго М.Н., Полуянович Н.К.* Термодинамический способ выявления деградации изоляции в задачах диагностики и прогнозирования ресурса кабельных систем. Инженерный вестник Дона. 2017. № 3 (46). с. 25.
 8. *M N Dubyago and N K Poluyanovich.* Thermal Processes of the Isolating Materials in Problems of Nondestructive Diagnostics of the Main and Distributive Power Stations. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 229 (2017).
 9. *Дубяго М.Н.* Оценка и прогнозирование изоляционных материалов силовых кабельных линий [Текст] / М.Н. Дубяго, В.Х. Пшихопов, Н.К. Полуянович // Известия ЮФУ. Технические науки. <http://izv-tn.tti.sfedu.ru/wp-content/uploads/2015/7/21.pdf>.
 10. *Дубяго М.Н., Пшихопов В.Х., Полуянович Н.К.* Оценка и прогнозирование изоляционных материалов силовых кабельных линий. Известия ЮФУ. Технические науки. 2015. № 7 (168). С. 230-237.
 11. *M.N. Dubyago, N.K. Poluyanovich.* Thermal processes of the isolating materials in problems of nondestructive diagnostics of the main and power supply systems. EAI Endorsed Transactions on Energy Web and Information Technologies 18(16): e3.
 12. *Dubyago M.N. and Poluyanovich N.K.* Prediction of residual life of isolating materials in the process of thermal power equipment deterioration. 2017 2nd International Conference on Advanced Materials Research and Manufacturing Technologies

- (AMRMT 2017) 2–5 August 2017, Phuket, Thailand IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. ISSN:1757-899X. Volume 229. (2017) 012036.
13. *Дубяго М.Н., Полуянович Н.К.* Метод амплитудного и фазового распределения импульсов частичных разрядов в задачах исследования изоляции кабельных линий. Известия ЮФУ. Технические науки. 2012. № 7 (132). С. 200-205.
 14. *Dubyago M.N., Poluyanovich I.A., Poluyanovich N.K.* Thermodynamic approach for identifying oxidative processes insulation breakdown. Applied Mechanics and Materials. 2015. Т. 752-753. С. 1153-1157.
 15. *Dubyago M.N., Poluyanovich N.K.* Prediction of residual life of isolating materials in the process of thermal power equipment deterioration. В сборнике: Advances in energy, environment and chemical engineering (aeece 2015) 2015. С. 49-54.
 16. *Poluyanovich N.K., Rassoha D.P., Formanyuk V.S.* The automatic electric isolation defects diagnosing system's algorithm development. В сборнике: Proceedings of x international saum conference on systems, automatic control and measurements (SAUM 2010) 2010. С. 265-269.
 17. *Dubyago M.N., Poluyanovich N.K.* Analysis of insulation materials of cable systems by method of partial discharges. Advances in Materials Science and Applications. 2015. Т. 4. № 1. С. 23-32.
 18. *Дубяго М.Н., Полуянович Н.К.* Неразрушающий метод прогнозирования остаточного ресурса силовых кабельных линий. Информатика, вычислительная техника и инженерное образование.

Дубяго Александр Геннадьевич – магистрант гр. РТмо 1-57; кафедра электротехники и мехатроники; Южный федеральный университет; e-mail: dubyago86@yandex.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: +79508519002.

Полуянович Николай Константинович – доцент, канд. техн. наук; кафедра электротехники и мехатроники; Южный федеральный университет; e-mail: nik1-58@mail.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: +78634371694.

Dubyago Alexander Gennadievich – southern Federal University; e-mail: dubyago86@yandex.ru; 347928, Taganrog, Nekrasovsky lane, 44; tel.: +79508519002; graduate student of gr. RTMO 1-57; Department of electrical engineering and mechatronics.

Poluyanovich Nikolay Konstantinovich – Southern Federal University; e-mail: nik1-58@mail.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone:

+78634371694; the department of computer engineering; cand. of tech. sc.; associate professor.

УДК 621.382

Знайченко Богдан Геннадьевич, Пивнев Виталий Викторович

РАЗРАБОТКА МИКРОКОНТРОЛЛЕРНОЙ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ АССИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ДО 1000 В

В данной работе рассматривается готовый образец микроконтроллерной системы защиты асинхронного электродвигателя до 1000 В на семействе плат Arduino и проведены его испытания. Так же описывается инструкция по эксплуатации устройства. Ключевые слова: микроконтроллеры, система защиты, асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором.

Микроконтроллеры, система защиты, асинхронные двигатели.

Znaichenko Bogdan Gennadyevich, Pivnev Vitaly Viktorovich

DEVELOPMENT OF A MICROCONTROLLER PROTECTION SYSTEM FOR AN ASYNCHRONOUS MOTOR UP TO 1000 V

In this paper, we consider a ready-made sample of a microcontroller protection system for an asynchronous electric motor up to 1000 V on a family of Arduino boards and conducted its tests. Also describes the instructions for use of the device. Keywords: microcontrollers, protection system, asynchronous motors with a squirrel cage rotor.

Microcontrollers, protection system, asynchronous motors.

Введение

Асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором являются основным типом машин переменного тока, используемых в промышленном производстве, и составляют 95% от всех применяемых электродвигателей. Основными достоинствами асинхронных электродвигателей является простота конструкции и надёжность эксплуатации. Но, несмотря на преимущества асинхронных электродвигателей по сравнению с другими электрическими машинами, процент их повреждаемости довольно высок и составляет порядка 20-25% в год от общего числа двигателей, находящихся в эксплуатации. Примерно половина повреждений связана с недостаточ-

ным совершенством существующих устройств релейной защиты и автоматики, а также из-за качества электроэнергии. В связи с этим разработка более совершенных защит с использованием микропроцессорных систем является актуальной.

Ставится цель провести испытания разработанного устройства микроконтроллерной системы защиты асинхронного электродвигателя до 1000 В.

Микроконтроллерная система защиты асинхронного электродвигателя разработана на базе Arduino Mega 2560 [1 - 5].

Ниже рассмотрим модули, на базе которых разработана система микроконтроллерной системы защиты асинхронного двигателя.

Для осуществления ввода уставок и отображения работы устройства необходимо подключить устройство периферии ввода-вывода информации LCD 1602A I2C изображенный на рис. 1.

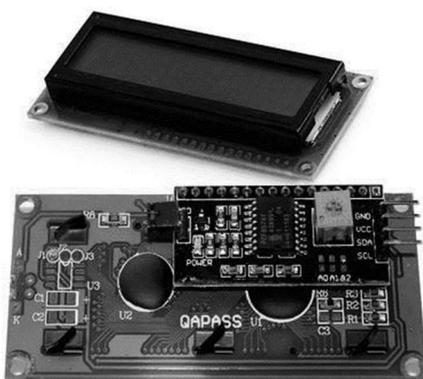


Рис. 1. Дисплей LCD 1602A I2C

На лицевой части модуля располагается LCD дисплей и группа контактов. На задней части модуля расположено два чипа в «капельном» исполнении (ST7066U и ST7065S) и электрическая обвязка.

Для ввода информации используется модуль матричной клавиатуры keypad, изображенный на рис. 2.



Рис. 2. Устройство модуля ввода клавиатуры

Датчики напряжения реализованы с помощью резистивного делителя напряжения.

При возникновении аварийных режимов работы асинхронного двигателя микроконтроллерная система защиты отключает асинхронный двигатель от питающей сети, с помощью механического реле, схема которого показана на рис. 3 [1, 2].

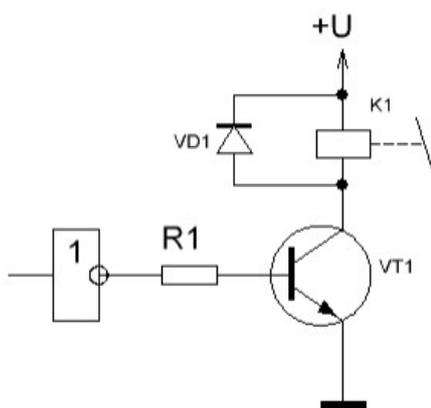


Рис.3. Схема электромеханического реле

Готовый образец представлен на рис. 4.

При подключении устройства к питающей сети загорится LCD Display. Перемещение по меню осуществляется с помощью клавиш «2» и «8». Для выбора необходимого меню клавиша «5». Ввод уставок срабатывания защит производится в пунктах 2, 3, 4, 5 непосредственно цифрами на клавиатуре. Для ввода дробной части числа необходимо нажать «#», для записи числа и выхода в меню «*». После ввода уставок выбрать пункт 1 для запуска защиты.



Рис. 4. Образец микроконтроллерной системы защиты асинхронного электродвигателя до 1000 В

В лаборатории кафедры ЭиМ института ИТА ЮФУ были проведены необходимые расчеты [6 - 8] и испытания устройства (рис. 5).

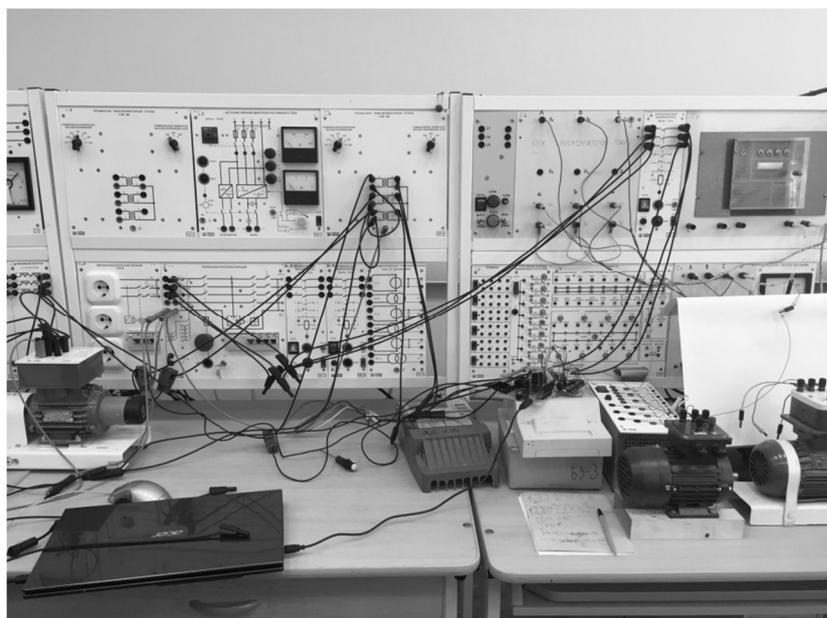


Рис. 5. Испытание разработанного устройства

Схема подключения микроконтроллерного устройства защиты асинхронного двигателя в лаборатории ЭиМ показана на рис. 6.

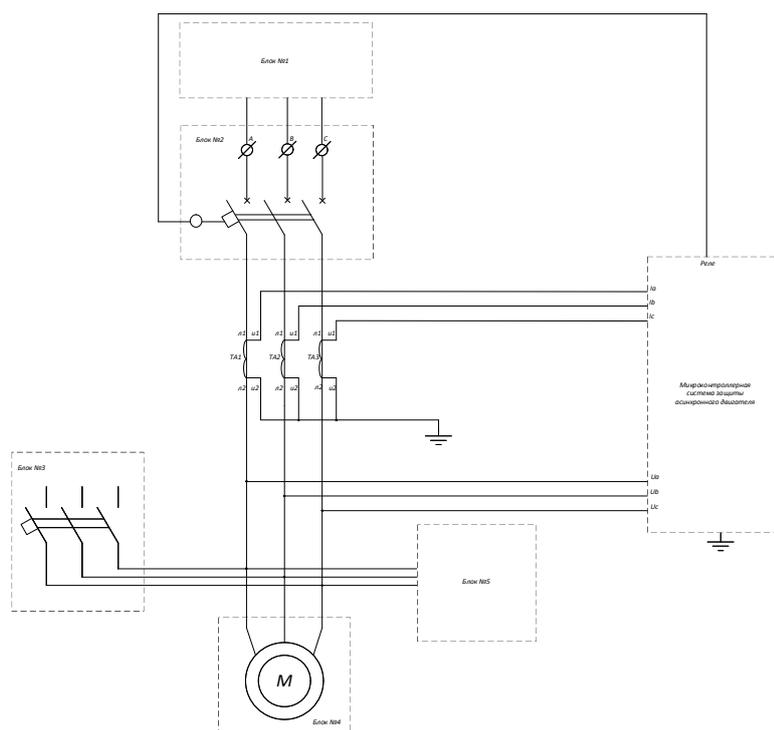


Рис. 6. Схема испытания микроконтроллерной системы защиты асинхронного электродвигателя

На рис.бизображены следующие блоки:

- 1) блок №1 – трансформаторная группа;
- 2) блок №2 – автоматический выключатель асинхронного двигателя;
- 3) блок №3 – автоматический выключатель, имитирующий КЗ;
- 4) блок №4 – асинхронный двигатель;
- 5) блок №5 – эмитирующий перегрузку;

Полученные значения в ходе испытаний занесены в табл. 1.

Таблица 1

Значения, полученные в ходе испытания устройства микроконтроллерной системы защиты асинхронного электродвигателя

Тип неисправности		Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3
КЗ	$I_{КЗ}, A$	3	3	3
	t_{cp}, c	4	5	3
ЗПН	$U_{ЗПН}, B$	410	418	420
	t_{cp}, c	6	7	6
ЗМН	$U_{ЗМН}, B$	170	173	172
	t_{cp}, c	6	8	4
Обрыв фазы	t_{cp}, c	0,2	0,1	0,2

Из табл. 1 видно, что разработанное устройство микроконтроллерной системы защиты асинхронного электродвигателя благополучно справляется с поставленными задачами и при возникновении ненормальных режимов работы асинхронного двигателя отключает его от питающей сети.

Выводы.

Рассмотрен готовый образец микроконтроллерной системы защиты асинхронного электродвигателя до 1000 В на семействе плат Arduino и проведены его испытания. Так же описана инструкция по эксплуатации устройства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Рюмик С.М.* 1000 и одна микроконтроллерная схема. Выпуск 1. – М.: 2011.
2. *Рюмик С.М.* 1000 и одна микроконтроллерная схема. Выпуск 2. – М.: 2011.
3. *Соммер Ул.* Программирование микроконтроллерных плат ArduinoFreeduino. 2012.
4. *Purdum J.* Beginning C for Arduino (Technology in Action). 2012.
5. Arduino.ru: Аппаратная платформа Arduino [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://arduino.ru>.
6. *Федоров В.А.* Библия релейной защиты и автоматики. – Новосибирск: 2004.
7. *Гондуров С.А.* Релейная защита электродвигателей напряжением 6 –10 кВ. - Санкт –Петербург. 2013.
8. *Ребенков Е.С.* Примеры расчетов релейной защиты силового электрооборудования. – Новомосковск, 2011.

Знайченко Богдан Геннадьевич – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ», студент 2 курса магистратуры, тел.: 8-999-696-94-34, e-mail: bog2233@mail.ru.

Пивнев Виталий Викторович – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ», доцент кафедры электротехники и мехатроники Института радиотехнических систем и управления, кандидат технических наук, тел.: 8-198-890-26-02, e-mail: pivnev@sfedu.ru.

Znaichenko Bogdan Gennadyevich – Southern Federal University, master student, phon: 8-999-696-94-34, e-mail: bog2233@mail.ru.

Pivnev Vitaly Viktorovich – Southern Federal University, master student, associate professor, candidate of technical sciences, phon: 8-198-890-26-02, e-mail: pivnev@sfnedu.ru.

УДК 621.311

Азаров Николай Николаевич, Огреничев Александр Васильевич,
Полюянович Николай Константинович

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСА КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Статья посвящена исследованиям термофлуктуационных процессов в изоляционных материалах в соответствии с теорией теплопроводности для решения задач диагностики и прогнозирования остаточного ресурса изоляционных материалов на основе неразрушающего температурного метода. Рассматриваются вопросы создания диагностики и прогнозирования термофлуктуационных процессов изоляционных материалов электроэнергетических систем на основе таких методов искусственного интеллекта, как нейронные сети и нечеткая логика. Разработана нейросеть для определения температурного режима токоведущей жилы силового кабеля.

Искусственный интеллект, нечеткая логика, нейронные сети, термофлуктуационные процессы, изоляционные материалы.

Azarov Nikolay Nikolaevich, Ogrenichev Alexander Vasilyevich,
Poluyanovich Nikolay Konstantinovich

FORECASTING RESOURCE CABLE LINES USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

The article is devoted to the research of thermofluctuation processes in insulating materials in accordance with the theory of thermal conductivity to solve the problems of diagnosis and prediction of the residual life of insulating materials on the basis of non-destructive temperature method. The problems of creation of diagnostics and forecasting of thermofluctuation processes of insulating materials of electric power systems on the basis of such methods of artificial intelligence as neural networks and

fuzzy logic are considered. A neural network was developed to determine the temperature regime of the current-carrying core of the power cable.

Artificial intelligence, fuzzy logic, neural networks, thermal diffusion processes, insulation materials

Введение и постановка задачи. Увеличение объема потребляемой энергии связано с развитием и появлением новых энергоёмких производств. В таких эксплуатационных условиях высокий физический износ оборудования распределительного сетевого комплекса (около 69%, из них сверхнормативного и аварийного использования линий электропередач – 67% и 26% соответственно) приводит к значительным показателям аварийности в энергетическом секторе.

Применение интеллектуальной системы прогнозирования приведет к повышению общей надежности энергосети и повышению энергоэффективности функционирования энергетического сектора, уменьшению влияния человеческого фактора и снижению аварийных ситуаций [1,2].

Ресурс изоляционных материалов зависит от таких параметров как температура, ток, влажность [3,4], поэтому необходимо исследования температурного поля в сечении СКЛ, рис.1. Низкая теплопроводность изоляции кабеля рис.1, приводит к высокому температурному градиенту, поэтому температура наиболее нагретого участка в сечении кабеля (вблизи жилы) значительно отличается от измеренной температуры, а в переходных режимах эта разница может увеличиваться в несколько раз. Поэтому актуальна задача создания нейросетей для оценки пропускной способности, расчёта и прогнозирования температуры жил СКЛ в режиме реального времени на основе данных системы температурного мониторинга, с учетом изменения токовой нагрузки линии и внешних условий теплоотвода [5]. Помимо оценки пропускной способности к задачам мониторинга теплового режима относят оценку температуры жилы в режиме реального времени и своевременное предотвращение токовых перегрузок СКЛ [8], требуется прогнозирование температур жил кабелей в режиме реального времени. Последнее означает, что необходимо постоянно прогнозировать нагрев кабелей на некоторое время вперёд, причем такое, чтобы была возможность принять меры по снижению нагрузки КЛ.

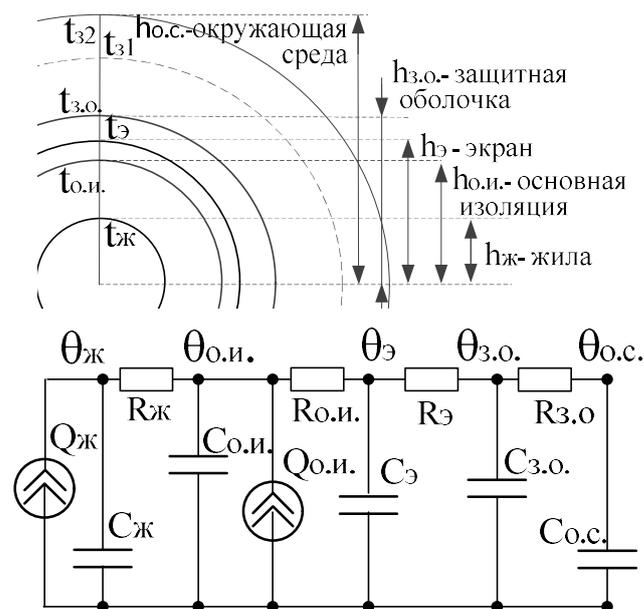


Рис. 1 Сечение кабеля и его эквивалентная тепловая схема замещения

Прогнозирование температуры жилы СКЛ необходимо для правильного прогнозирования электрической нагрузки энергосистем. Для определения температуры токоведущей жилы на основе температур внешней изоляции [6-10] и окружающей среды было решено выбрать рекуррентную сеть, которая по принципу действия схожа с сетью Эльмана. Причина выбора обусловлена необходимостью прогнозирования нелинейных изменений температуры.

Разработка ИНС. Возможность обучения – одно из главных преимуществ нейронных сетей перед традиционными алгоритмами. Построение нейронной сети решается в два этапа: выбор типа (архитектуры) нейронной сети и подбор весов (обучение) нейронной сети. На первом этапе выбираются:

- типы нейронов, которые необходимо использовать (число входов, передаточные функции);
- способы соединения нейронов между собой;
- входные и выходные сигналы нейронной сети.

Существует несколько десятков различных нейросетевых архитектур, причем эффективность многих из них доказана математически. Наиболее популярные и изученные архитектуры – это многослойный перцептрон, нейронная сеть с общей регрессией, нейронные сети Кохонена и др. Для решения задачи с помощью ИНС необходимо выбрать конфигурацию

нейронной сети и сформировать окружение, в котором будет работать данная нейронная сеть. Под формированием окружения понимается реализация следующих этапов:

- создание обучающего задачника;
- обучение нейронной сети;
- тестирование ИНС.

В качестве обучающей выборки (задачника) были использованы результаты измерения динамики температуры в силовом кабеле при постоянном значении тока. Разработанная конфигурация ИНС для суточного прогнозирования нагрузки приведена на рис. 2.

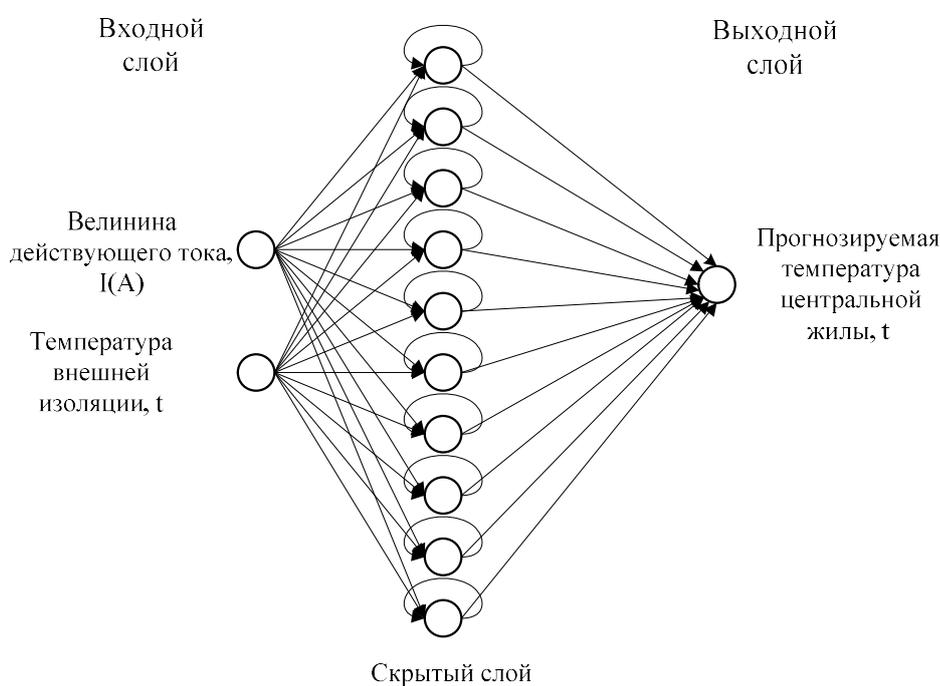


Рис. 2. Структура нейронной сети

Она представляет собой рекуррентную сеть. В качестве входных параметров выбраны ток, проходящий по жиле и температура внешней изоляции кабеля. Выходным параметром является температура токоведущей жилы.

Обучение происходит следующим образом (рис. 3). Имеется некоторая база данных (задачник), содержащая примеры. Предъявляя их на вход нейронной сети, получаем от нее некоторый ответ, не обязательно верный. Известен и верный (желаемый) ответ. Вычисляя разность между желаемым и реальным ответами сети, получаем вектор ошибки.

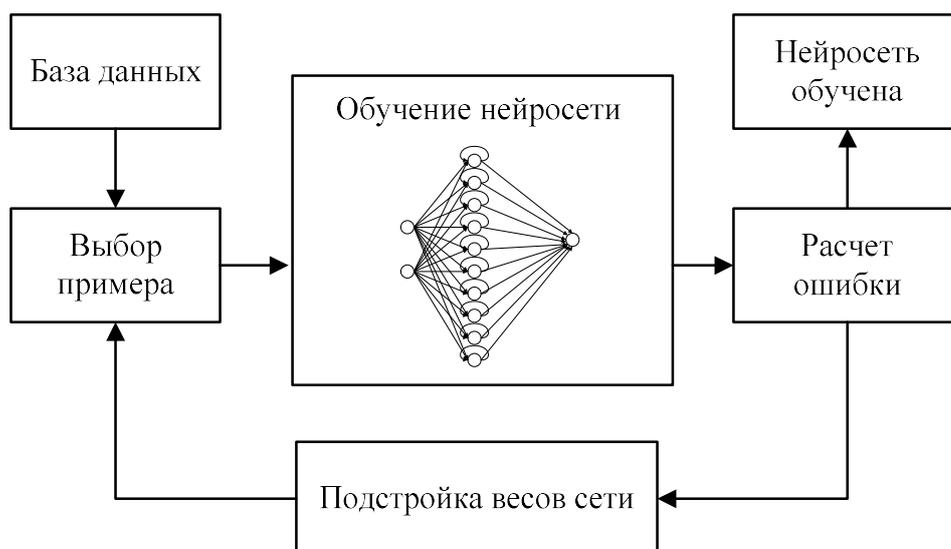


Рис. 3. Процесс обучения нейронной сети

Алгоритм обратного распространения ошибки – это набор формул, который позволяет по вектору ошибки вычислить требуемые поправки для весов нейронной сети. Блок-схема алгоритма обучения искусственной нейронной сети [3] представлена на рис. 4.

Расчет ошибки позволяет определить погрешность в выходных данных полученных из работы ИНС относительно экспериментальных параметров

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_j (t_{pj} - y_{pj})^2. \quad (1)$$

E_p – величина функции ошибки для образа p , t_{pj} – желаемый выход нейрона j для образа p , y_{pj} – активированный выход нейрона j для образа p .

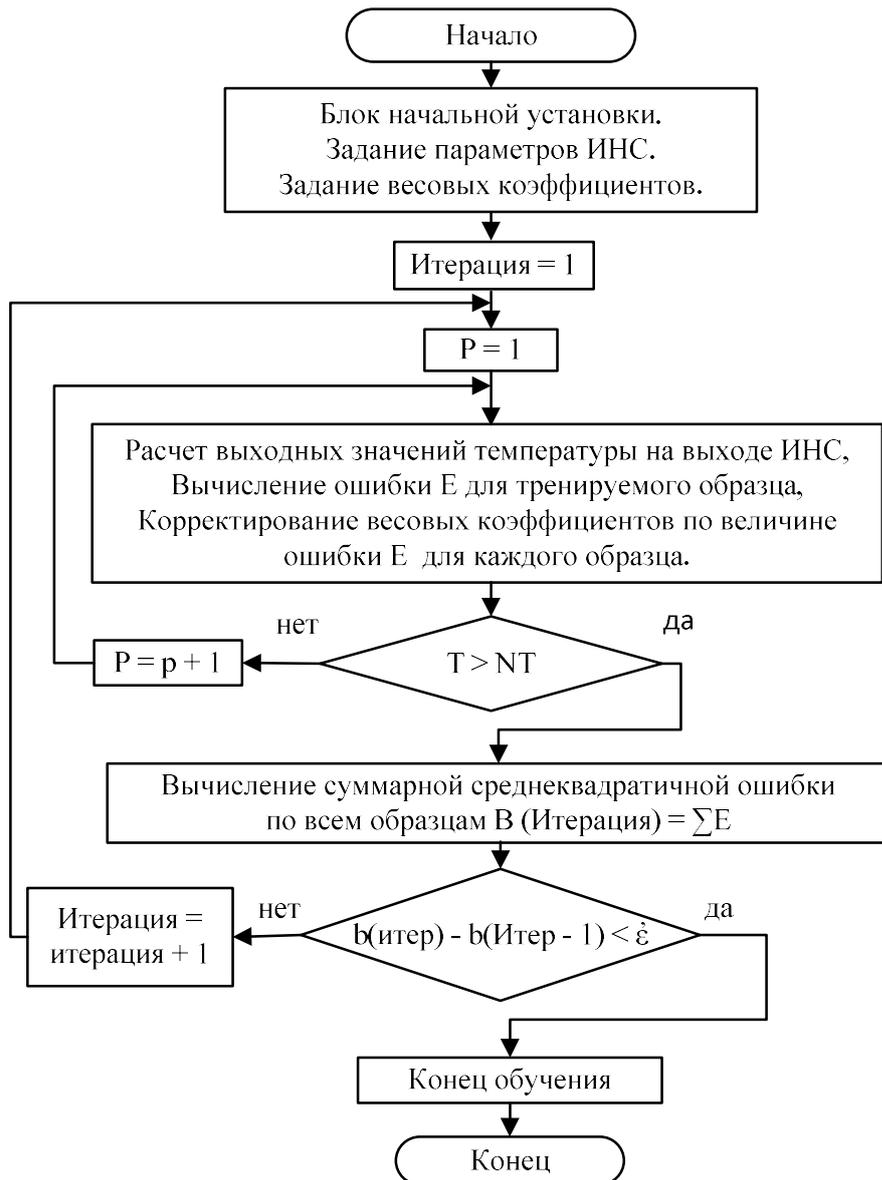


Рис. 4. Блок-схема алгоритма обучения ИНС

В статье моделирование нейронной сети для прогнозирования нагрузки электропотребления осуществлено с помощью Neural Network Toolbox в системе Matlab. Проведены исследования процесса нагрева одного из образцов кабеля при реальной диаграмме действующего значения тока и разработанной модели прогноза с использованием ИНС на ретроспективных данных температур СКЛ за 2015-2019 годы. Средняя ошибка прогноза нагрузки энергосистемы не превышает 2,3 %, что свидетельствует о возможности применения метода искусственных нейронных сетей для целей прогнозирования электрических нагрузок энергосистемы. Построен график (рис. 5) на основе целевых и полученных данных для анализа погрешности

нейросети при расчетах.

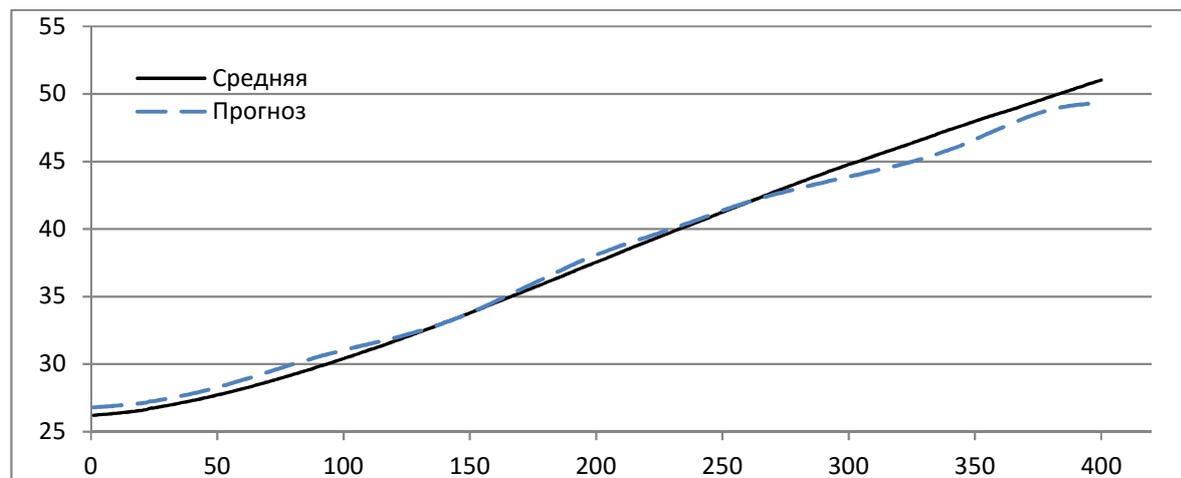


Рис. 5. График экспериментальной температуры образца №1 и данных полученных в результате работы нейросети

Выводы: Разработана нейросеть для определения температурного режима токоведущей жилы силового кабеля. Для повышения точности, необходимо использовать большее количество входных и выходных данных при обучении сети, а также некоторая доработка ее структуры. Основная область применения разработанной нейросети для определения температурного режима токоведущей жилы заключается в диагностике и прогнозировании ресурса ЭИ силового кабеля. Модель позволяет оценивать текущее состояние изоляции и прогнозировать остаточный ресурс СКЛ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Лавренков Ю.Н.* Исследование и разработка комбинированных нейросетевых технологий для повышения эффективности безопасной маршрутизации информации в сетях связи. / Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / МГТУ / 2014 г. / 17-21 с.
2. Короткевич М. А. Курачинский В. В. Прогнозирование электрической нагрузки энергосистемы на следующие сутки с использованием метода искусственных нейронных сетей / Белорусский национальный технический университет / 2009 г.
3. *Полуянович Н.К., Дубяго М.Н.* "Система" измерения и расчета термофлуктуационных характеристик силовых кабельных линий (SMaCTC). Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ. № 2018612492 от 16.02.2018

4. *Полуянович Н.К., Дубяго М.Н.* Термофлуктуационный метод диагностики состояния изоляционных материалов СКЛ и прогнозирование их остаточного ресурса. ж Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2018. Т.61. №5. С.66-71.
5. *Дубяго М.Н.* Оценка и прогнозирование изоляционных материалов силовых кабельных линий / М.Н. Дубяго, В.Х. Пшихопов, Н.К. Полуянович // Известия ЮФУ. Технические науки. <http://izv-tn.tti.sfedu.ru/wp-content/uploads/2015/7/21.pdf>
6. *Дубяго М.Н., Полуянович Н.К.* Термодинамический способ выявления деградации изоляции в задачах диагностики и прогнозирования ресурса кабельных систем. Инженерный вестник Дона. 2017. № 3 (46). с. 25.
7. *Дубяго М.Н., Полуянович Н.К., Пшихопов В.Х.* Метод исследования термофлуктуационных процессов в задачах диагностики и прогнозирования изоляционных материалов. Вестник Донского государственного технического университета. 2017. Т. 17. № 3 (90). С. 117-127.
8. *Dubyago M.N., Poluyanovich N.K.* Thermal processes of the isolating materials in problems of nondestructive diagnostics of the main and power supply systems. EAI Endorsed Transactions on Energy Web and Information Technologies 18(16): e3
9. *Dubyago M.N. and Poluyanovich N.K.* Prediction of residual life of isolating materials in the process of thermal power equipment deterioration. 2017 2nd International Conference on Advanced Materials Research and Manufacturing Technologies (AMRMT 2017) 2–5 August 2017, Phuket, Thailand IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. ISSN:1757-899X. Volume 229. (2017) 012036.
10. *Dubyago M. N. , Poluyanovich N. K.* Thermal Processes of the Isolating Materials in Problems of Nondestructive Diagnostics of the Main and Distributive Power Stations. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 229 (2017).

Азаров Николай Николаевич – студент гр. РТбо 3-3; кафедра электротехники и мехатроники; Южный федеральный университет; e-mail: s.t.a.l.k.e.r999@yandex.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: +79180242843.

Огреничев Александр Васильевич – студент гр. РТбо 3-3; кафедра электротехники и мехатроники; Южный федеральный университет; e-mail: ogrenicheval@mail.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: +79281387763.

Полуянович Николай Константинович – доцент, канд. техн. наук; кафедра электротехники и мехатроники; Южный федеральный университет; e-mail: nik1-58@mail.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: +78634371694.

Azarov Nikolay Nikolaevich – Southern Federal University; e-mail: s.t.a.l.k.e.r999@yandex.ru; 347928, Taganrog, Nekrasovsky lane, 44; tel.: +79180242843; student of gr. RTbo 3-3; Department of electrical engineering and mechatronics.

Ogrenichev Alexander Vasilyevich – Southern Federal University; e-mail: ogrenicheval@mail.ru; 347928, Taganrog, Nekrasovsky lane, 44; tel.: +79281387763; student of gr. RTbo 3-3; Department of electrical engineering and mechatronics.

Poluyanovich Nikolay Konstantinovich – Southern Federal University; e-mail: nik1-58@mail.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371694; the department of computer engineering; cand. of tech. sc.; associate professor.

УДК 620.92

Немцов Дмитрий Анатольевич, Полуянович Николай Константинович

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР И ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ИЗ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

В данной работе были рассмотрены принципы газификации твердого топлива и все возможные варианты использования полученного синтез-газа в целях выработки электроэнергии. Газотурбинная электростанция комбинированного типа была выбрана, так как представляет собой один из самых эффективных способов получения электроэнергии, в рассматриваемой нами тематике. В работе проводится обзор и выбор газотурбинного двигателя и электрического генератора под него, а также паровой турбины и генератора под нее.

Система, электроэнергия, твердые бытовые отходы, генератор

Nemtsov Dmitry Anatolyevich, Poluyanovich Nikolay Konstantinovich

ANALYTICAL REVIEW AND SELECTION OF ELECTRICAL EQUIPMENT FOR THE SYSTEM OF POWER GENERATION FROM SOLID WASTE

In this paper, the principles of solid fuel gasification and all possible options for using the resulting synthesis gas for power generation were considered. The gas turbine power plant of the combined type was chosen as represents one of the most effective ways of receiving the electric power, in the subject considered by us. The paper reviews and selects a gas turbine engine and an electric generator for it, as well as a steam turbine and a generator for it.

System, electricity, municipal solid waste, generator

Введение

Перед современной наукой и цивилизацией в целом встали три глобальных взаимосвязанных проблемы: возрастающее энергопотребление, сокращающееся количество потенциальных топливных ресурсов и увеличение уровня загрязнения окружающей среды.

Специфическим топливным ресурсом, который поможет частично решить сразу все эти проблемы, являются твердые коммунальные отходы (ТКО), постоянно образуемые в результате жизнедеятельности человека и по сути, являющиеся бесплатным сырьем для получения синтез-газа, основной статьей расходов при работе с данным видом топлива будет транспортировка. Фактически использование ТКО является перспективным способом получения электроэнергии, а так как попутно решается экологическая сторона вопроса, то данный способ можно отнести к альтернативной (нетрадиционной) энергетике. Сжигание ТКО не приведет к увеличению экологической нагрузки на природу, а если процесс сжигания правильно организовать, то это может привести даже к уменьшению выбросов в окружающую среду вредных веществ.

На основе результатов предварительного исследования топливом для газотурбинной установки являются продукты газификации ТКО. Рабочей средой для турбины является высокотемпературный воздух, нагретый продуктами сгорания синтез-газа. Во внимание приняты особенности процесса сжигания низкокалорийного сингаза. Как результат этого для ГТУ регене-

ративного цикла введена специальная коррекция газоздушных массовых потоков. При температуре перед турбиной 1173 К, КПД газотурбинной установки будет не ниже 32 %, что в сравнении с традиционными тепловыми электростанциями, КПД которых не превышает 34%, является хорошим результатом, но и этот показатель в теории можно увеличить. Добавив в систему рекуперативный парогенератор и паровую турбину, мы получим ГТЭС комбинированного цикла. Данный вид электростанций обладает очень высоким показателем КПД, вплоть до 58%.

Принцип работы плазменного газификатора

Плазменный газификатор – это камера, из которой вытесняется кислород, нагреваемая до крайне высоких температур, достигаемых при помощи плазмы. Так как среда внутри такой камеры лишена кислорода, обрабатываемый в газификаторе исходный материал не воспламеняется. Вместо этого, тепло разлагает исходный материал на такие элементы, как водород и простые соединения, например, оксид углерода и воду. Образующийся в результате газ называется «синтетический газ» или «сингаз».

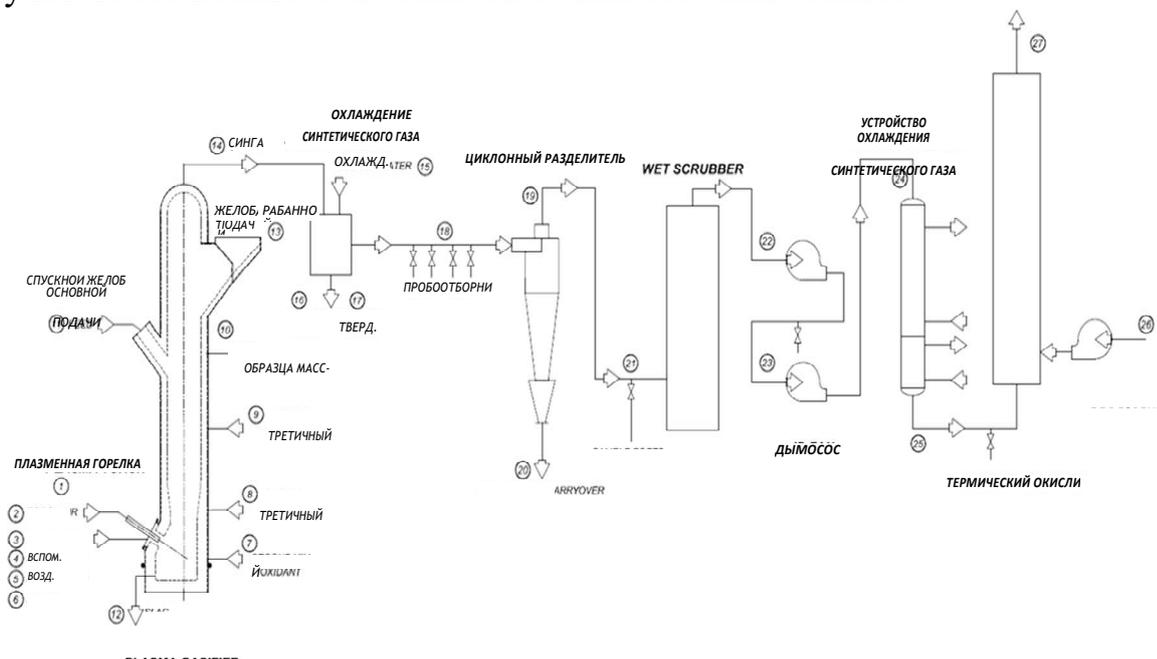


Рис.1. Технологическая блок-схема процессов плазменной газификации

На данный момент, одной из лидирующих организаций по производству оборудования для плазменной газификации является корпорация Westinghouse, предлагающая три стандартных размера плазменных газификаторов. В табл. 1 приведены типовые производственные объемы и другая информация по каждой модели.

Таблица 1

Технические характеристики газификаторов

Модель гази-фи- катора	Исходный материал	Объемы (т/д)				Производимый синтетический газ (нм ³ /час)	Размеры (метры)			
		Подав. воздух		Подав. кислород			Диаметр сверху	Диаметр снизу	Высота камеры	Высота установки ³
		Низк	Выс.	Низк.	Выс.					
G65	ТБО	540	620	1000	1000	65 000	9	4	24	30
	Оп. отходы	430	720	830	1000					
W15	ТБО	120	140	240	290	15 000	6	2,5	15	18
	Оп. отходы	100	160	190	300					
P5	ТБО	40	50	80	100	5000	4	2	10	13
	Оп. отходы	30	50	60	100					

Среди рассмотренных экземпляров, лучшим выбором для нашего проекта станет модель G65, поскольку она обеспечит высокий объем производства сингаза, и несмотря на высокий показатель потребления сырья она не будет испытывать его нехватку, ведь в России переработка ТБО развита относительно слабо и в случае необходимости установка сможет «питаться» ТБО из соседних районов и областей.

Выбор энергетического агрегата

Учитывая установленную выработку сингаза под нужды проекта подойдет газотурбинный энергетический агрегат ГТА-16 созданный для реконструкции и нового строительства энергетических объектов с выработкой электрической и тепловой энергии. Может эксплуатироваться в простом (выработка электроэнергии), когенерационном (комбинированная выработка электрической и тепловой энергии) и парогазовом (выработка электроэнергии с более высоким КПД) циклах.

ГТА-16 может эксплуатироваться при температуре окружающего воздуха от минус 55°С до плюс 50°С. Оборудование ГТА выдерживает сейсмическое воздействие интенсивностью 7 баллов по шкале MSK-64.

Используются приводы ПС-90ЭУ16 (АО «ОДК - Авиадвигатель», г. Пермь) или АЛ-31СТ (ПАО «УМПО», г.Уфа)

Таблица 2

Характеристики газотурбинного энергетического агрегата ГТА-16

Номинальная мощность, МВт	16.3
Напряжение на клеммах ТГ, кВ	6,3/10,5
КПД, %	35
Коэффициент использования топлива (когенерация), %	85
Межремонтный ресурс, час.	25000
Назначенный ресурс, час.	100000
Срок службы, лет	20
Расход топливного газа на номинальном режиме, кг/ч	4746
Габариты станции, м	20,3 x 15,2 x 21

Выбор турбогенератора

Турбогенератор — работающий в паре с турбиной синхронный генератор. Основная функция в преобразовании механической энергии вращения паровой или газовой турбины в электрическую. Скорость вращения ротора 3000, 1500 об/мин. Механическая энергия от турбины преобразуется в электрическую посредством вращающегося магнитного поля ротора в статоре. Поле ротора, которое создается током постоянного напряжения, протекающего в медной обмотке ротора, приводит к возникновению трехфазного переменного напряжения и тока в обмотках статора. Напряжение и ток на статоре тем больше, чем сильнее поле ротора, т.е. больше ток, протекающий в обмотках ротора. Напряжение и ток в обмотках ротора создает тиристорная система возбуждения или возбудитель – небольшой генератор на валу турбогенератора. Турбогенераторы имеют цилиндрический ротор, установленный на двух подшипниках скольжения, в упрощенном виде напоминает увеличенный генератор легкового автомобиля.

Турбогенераторы серии Т предназначены для выработки электроэнергии при сопряжении с паровой (П) или газовой (Г) турбиной. Система охлаждения – воздушная по замкнутому циклу с водяными воздухоохладителями или воздушная по разомкнутому циклу. В табл. 3 представлены генераторы подходящие к выбранной нами турбине.

Таблица 3

Турбогенераторы серии Т

Название	Мощность МВт	Напряжение от, В	Частота вращения об\мин	КПД	Масса
Т-16-2 УЗ-П	16	6300\10500	3000	97,8	52000
Т-16-2 УЗ-г	16	6300\10500	3000	97,8	61800
Т-16-2Р УХЛЗ.1	16	6300\10500	3000	97,8	61580

Выбор паровой турбины

Для данного проекта была выбрана турбина SST-400 (фирмы SIEMENS) – это однокорпусная паровая турбина, способная служить приводом, напрямую или через редуктор, для генераторов 50 и 60 Гц, компрессоров и насосов. Симметричный корпус с горизонтальным разъемом позволяет турбине SST-400 работать в условиях быстрого запуска и резких изменениях нагрузки.

Технические характеристики SST-400:

- Мощность: до 60 МВт
- Скорость: до 8000 об./мин.
- Давление на входе: до 140 бар / до 2030 фунтов на кв. дюйм
- Температура на входе: до 540 °С / до 1004 °F
- Параметры отработанного пара:

Противодавление: до 25 бар / 363 фунтов на кв. дюйм

Давление в конденсационном режиме: до 0,3 бар / 4,4 фунтов на кв. дюйм

- Отбор пара:

Регулируемый отбор (до 4): до 45 бар / 510 фунтов на кв. дюйм

Нерегулируемый отбор: до 60 бар / 870 фунтов на кв.

Заключение

Был произведен обзор существующих методов получения сингаза из ТБО, проведен анализ проблемы экологии затрагиваемой проектом. Итогом работы стал выбор перспективного метода переработки ТБО, а также подбор способа реализации полученного синтез-газа и других веществ, полу-

ченных в результате плазменной газификации. Выбраны основные энергетические узлы газотурбинной электростанции комбинированного цикла.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Алексашина В.В.* «Экология города мусоросжигательные заводы» 2014
2. *Ковалёв В.Е., Гусев А.Л., Шалимов Ю.Н.* // Альтернативная энергетика и экология, 2010. - № 6 (86). - С. 20-25.
3. *Иванов В. Л., Заживихина Т. А.* Газотурбинный двигатель для установки по термической переработке твердых бытовых и промышленных отходов методом газификации // Известия вузов. Сер. Авиационная техника - 2006- № 2- С.38-42.
4. *Гуров В.И., Шестаков К.Н., Суровцев И.Г.* Эффективная газотурбинная установка для работы на продукт-газе и биогазе. - М., 2014.
5. *Полуянович Н.К., Дубяго М.Н.* "Система" измерения и расчета термофлуктуационных характеристик силовых кабельных линий (SMaСТС). Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ. № 2018612492 от 16.02.2018
6. *Полуянович Н.К., Дубяго М.Н.* Термофлуктуационный метод диагностики состояния изоляционных материалов СКЛ и прогнозирование их остаточного ресурса. ж Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2018. Т.61. №5. С.66-71.
7. *Дубяго М.Н.* Оценка и прогнозирование изоляционных материалов силовых кабельных линий / М.Н. Дубяго, В.Х. Пшихопов, Н.К. Полуянович // Известия ЮФУ. Технические науки. <http://izv-tn.tti.sfedu.ru/wp-content/uploads/2015/7/21.pdf>
8. *Дубяго М.Н., Полуянович Н.К.* [Термодинамический способ выявления деградации изоляции в задачах диагностики и прогнозирования ресурса кабельных систем.](#) *Инженерный вестник Дона.* 2017. № 3 (46). с. 25.
9. *Дубяго М.Н., Полуянович Н.К., Пшихопов В.Х.* [Метод исследования термофлуктуационных процессов в задачах диагностики и прогнозирования изоляционных материалов.](#) *Вестник Донского государственного технического университета.* 2017. Т. 17. № 3 (90). С. 117-127.
10. *M.N. Dubyago, N.K. Poluyanovich.* Thermal processes of the isolating materials in problems of nondestructive diagnostics of the main and power supply systems. [EAI Endorsed Transactions on Energy Web and Information Technologies 18\(16\): e3](#)
11. *Dubyago M.N. and Poluyanovich N.K.* Prediction of residual life of isolating materials in the process of thermal power equipment deterioration. 2017 2nd Interna-

tional Conference on Advanced Materials Research and Manufacturing Technologies (AMRMT 2017) 2–5 August 2017, Phuket, Thailand IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. ISSN:1757-899X. Volume 229. (2017) 012036.

12. *M N Dubyago and N K Poluyanovich*. Thermal Processes of the Isolating Materials in Problems of Nondestructive Diagnostics of the Main and Distributive Power Stations. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 229 (2017).

Немцов Дмитрий Анатольевич, студент гр. РТбо 4-5; кафедра электротехники и мехатроники; Южный федеральный университет; e-mail: nemcov.1997@mail.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: +79287587948.

Полуянович Николай Константинович – доцент, канд. техн. наук; кафедра электротехники и мехатроники; Южный федеральный университет; e-mail: nik1-58@mail.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: +78634371694.

Nemtsov Dmitry Anatolyevich – suthern Federal University; e-mail: dubyago86@yandex.ru; 347928, Taganrog, Nekrasovsky lane, 44; tel.: +79287587948; student of gr. RTbo 4-5; Department of electrical engineering and mechatronics.

Poluyanovich Nikolay Konstantinovich – Southern Federal University; e-mail: nik1-58@mail.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371694; the department of computer engineering; cand. of tech. sc.; associate professor.

УДК 004.89.032

Болдырев Антон Сергеевич, Веревкин Александр Леонидович

НЕЙРОННЫЙ АЛГОРИТМ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ С УЧЕТОМ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

В настоящее время одним из менее затратных направлений является моделирование надежности элементов с учетом климатических условий. Такой подход позволяет сократить расходы на дорогостоящие эксперименты, и во вторых сокращает время испытаний. Предлагается укрупненный алгоритм для моделирования надежности элементов, на базе коэффицентного метода оценки надежности, в сочетании с самообучаю-

щейся нейронной сетью для моделирования, воздействующих на элементы климатических условий.

Надежность элементов, интенсивность отказов, алгоритм, нейронная сеть

Boldyrev Anton Sergeevich, Verevkin Alexander Leonidovich,

NEURON ALGORITHM FOR MODELING RELIABILITY OF ELEMENTS WITH REGARD TO CLIMATIC CONDITIONS

Currently, one of the less expensive areas is the modeling of the reliability of the elements, taking into account climatic conditions. This approach reduces the cost of expensive experiments, and secondly reduces the time of testing. An enlarged algorithm is proposed for modeling the reliability of elements, based on a coefficient method for assessing reliability, in combination with a self-learning neural network for modeling affecting elements of climatic conditions.

Reliability of elements, intensity of failures, algorithm, neural network

Коэффициентный метод расчета надежности

Для стадии рабочего проекта и более точных расчетов и моделирования надежности одним из эффективных методов является коэффициентный метод [1]. Метод состоит в том, что используют коэффициент надежности k_i , связывающий значения расчетной интенсивности отказов λ_i и базового элемента $\lambda_{i b}$ [2]

$$k_i = \lambda_i / \lambda_{i b} ,$$

где k_i , показывает влияние на надежность элементов всех дестабилизирующих факторов окружающей среды и каждому фактору соответствует поправочный коэффициент k_a .

Коэффициент надежности k_i , определяют, как произведение всех поправочных коэффициентов [2]

$$k_i = k_{a1} * k_{a2} * \dots * k_{ak}.$$

Моделируя различные условия температуру, влажность, росу, иней и туман в модель вводятся поправочные коэффициенты.

Постановка задачи. В результате моделирования рассчитывается интенсивность отказов каждого элемента с учетом различных факторов. В

табл.1 приведен пример исходных данных элементов устройства для прогнозирования λ_i в зависимости от климатических условий.

Таблица 1

Исходные данные элементов устройства [3]

Элемент, компонент	Позиционное обозначение	Тип	Функциональное назначение	Количество	Примечание
ИМС	DA1	KP512ПC11	Преобразователь частоты	1	5652 элемента
ИМС	DD1	KP533AГ3	Формирователь импульсов	1	238 элементов
ИМС	DD2 – DD11	KP533ИК4	Комбинированная цифровая ИС	10	2200 элементов
ИМС	DD12 – DD17	KP533ИР28	Регистр	6	560 элементов
ИМС	DD18 – DD23	KP533ИЕ17	Счётчик	6	455 элементов
ИМС	DD24	KP541PУ5	ОЗУ	1	8192 бит
ИМС	DD25	KP541PТ2	ПЗУ	1	16384 бит
Диоды импульсные	VD1 – VD12	КД520А	Переключающий режим работы	12	$I_{пр.ср \max TУ} < 1 \text{ А}$, $U_{обр} = 60 \text{ В}$, $K_H^{(U)} < 0,6$
Тиристор	VS1	КУ709Г2	Симистор	1	$I_{пр.ср \max TУ} = 10 \text{ А}$
Биполярные транзисторы	VT1 – VT12	КТ3130А	Переключающий режим работы	12	Мощность до 1 Вт, $K_H^{(U)} < 0,5$
Конденсаторы керамические	C1 – C30	K10–73	–	30	$C = 0,01 \text{ мкФ}$, $U = 100 \text{ В}$
Резисторы	R1 – R52	C2–34	Постоянные, металлодиэлектрические	52	$P_{ном} = 0,125 \text{ Вт}$, $R < 1 \text{ кОм}$; допуск $\pm 10 \%$

Целевой функцией является прогнозируемая λ_i интенсивность отказа i -го элемента, от факторов среды, которая стремится к минимуму, для ее определения используется нейронная самообучающаяся сеть.

Ограничениями являются предельные значения климатических условий испытаний или моделирования.

Модель интенсивность отказа каждого элемента рассчитывают по формуле

$$\lambda_i = \prod_i K_i \cdot \lambda_{0i},$$

где $\prod K_i$ - произведение всех учитываемых коэффициентов жёсткости условий эксплуатации;

λ_{0i} –интенсивность отказов базового элемента при нормальных условиях.

Модели надежности элементов [3] и введенные входные и выходные данные приводятся в табл. 2.

Таблица 2

Модели надежности элементов

Входные	Позиционное обозначение	Количество n_j	K_H	$\lambda_B \cdot 10^{-6}$ 1/ч	Вид математической модели расчета λ_{Σ}	Выходные
1. → □	DA1	1	—	0,028	$\lambda_{\Sigma} = \lambda_1 K_f K_{ис} K_{эфп} K_v K_3 K_{\Pi}$	1. → □
2. → □	DD1	1	—	0,023	$\lambda_{\Sigma} = \lambda_2 K_f K_{ис} K_{эфп} K_v K_3 K_{\Pi}$	2. → □
3. → □	DD2–DD11	10	—	0,023	$\lambda_{\Sigma} = \lambda_3 K_f K_{ис} K_{эфп} K_v K_3 K_{\Pi}$	3. → □
4. → □	DD12–DD17	6	—	0,023	$\lambda_{\Sigma} = \lambda_4 K_f K_{ис} K_{эфп} K_v K_3 K_{\Pi}$	4. → □
5. → □	DD18–DD23	6	—	0,023	$\lambda_{\Sigma} = \lambda_5 K_f K_{ис} K_{эфп} K_v K_3 K_{\Pi}$	5. → □
6. → □	DD24	1	—	0,030	$\lambda_{\Sigma} = \lambda_6 K_f K_{ис} K_{эфп} K_v K_3 K_{\Pi}$	6. → □
7. → □	DD25	1	—	0,018	$\lambda_{\Sigma} = \lambda_7 K_f K_{ис} K_{эфп} K_v K_3 K_{\Pi}$	7. → □
8. → □	VD1–VD12	12	0,4	0,025	$\lambda_{\Sigma} = \lambda_8 K_f K_{ис} K_{эфп} K_v K_3 K_{\Pi}$	8. → □
9. → □	VS1	1	0,3	0,2	$\lambda_{\Sigma} = \lambda_9 K_f K_{ис} K_{эфп} K_v K_3 K_{\Pi}$	9. → □
10. → □	VT1–VT12	12	0,2	0,044	$\lambda_{\Sigma} = \lambda_{10} K_f K_{ис} K_{эфп} K_v K_3 K_{\Pi}$	10. → □
11. → □	С1–С30	30	0,1	0,022	$\lambda_{\Sigma} = \lambda_{11} K_p K_c K_3 K_{\Pi}$	11. → □
12. → □	R1–R52	52	0,1	0,044	$\lambda_{\Sigma} = \lambda_{12} K_p K_A K_M K_{\Delta} K_3 K_{\Gamma}$	12. → □
13. → □						13. → □

Однако каждый коэффициент необходимо рассчитывать по формуле с учетом условий эксплуатации, например, при изменении температурных режимов для модели надежности диода в зависимости от среды можно представить выражением

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda_{0d} * K_p * K_t * K_{\phi} * K_{\delta} * K_u * K_{\varepsilon} * K_n,$$

значения температурного коэффициента K_p полупроводниковых диодов необходимо рассчитать с помощью математической модели [3]

$$(1) \quad K_p = A * \exp \left[\frac{N_T}{273 + t_{окр} + \Delta t * K_H} + \left(\frac{273 + t_{окр} + \Delta t * K_H}{T_M} \right)^p \right]$$

где $A=44,1$; $N_T=-2138$; $\Delta t = 150$; $T_M= 448$; $p= 17,7$; - константы модели [4 см. табл. 2.]

$t_{окр}$ – температура окружающей среды;

K_H – коэффициент электрической нагрузки;

$K\phi$ – 1,5 коэффициент для выпрямительного режима;
 $K\delta$ – коэффициент нагрузки по мощности (току)
 Ku – коэффициент нагрузки по напряжению
 $K\varepsilon^*$ – коэффициент условий эксплуатации для лаборатории
 Kn – коэффициент жесткости приемки для ОТК.

Для модели интенсивности отказов разъема (необходимо рассчитывать $K_{p.раз}$) [3]

$$\lambda_p = \lambda_{0p} * K_{p.раз} * Kt * K\varepsilon * Kn,$$

$$\text{где } K_{p.раз} = \exp \left[9000 \left(\frac{1}{298+t_n} - \frac{273+t_{окр}+\Delta t * K_n}{298+t_{окр}+t_n e^{-1,8(1-K_n)}} \right) \right] \quad (2),$$

где $t_n = 10-30$ °С температура перегрева контакта разъема по ТУ;

$t_{окр}$ – температура окружающей среды;

K_n – коэффициент электрической нагрузки по току;

$$K_t = \exp \left[0,023(t_{раб} - 25) \right];$$

$t_{раб}$ рабочая температура разъема;

Нейронный алгоритм для моделирования надежности элементов

Для прогнозирования λ_i в зависимости от климатических условий используется нейронная самообучающаяся сеть и следующий алгоритм:

I. Дают описание переменных и входные базовые интенсивности отказов λ_{0i} . $t_{окр}$ – температура окружающей среды и данные для обучения – выходные интенсивности отказов λ_i в зависимости от среды.

II. Каждый слой содержит весовые коэффициенты – k коэффициенты жесткости условий эксплуатации и их аналитические выражения (пример формулы 1 и 2).

III. Нейросеть - ее вид для обучения (рис.1 – рис. 3).

IV. Умножим базовые интенсивности отказов λ_0 элементов моделируемого устройства на веса PK_i для формирования последнего скрытого слоя.

V. Выходные данные из скрытого слоя передаются через нелинейную функцию ([функцию активации](#)), для получения выхода сетина (интенсивность отказов с учетом воздействующих факторов)

$$VI. y_- = fn(h1, h2, h3).$$

VII. Обратное распространение. Суммарная ошибка (total_error) вычисляется как разность между ожидаемым значением «у» (из обучающего набора) и полученным значением «у» (посчитанное на этапе прямого распространения ошибки), проходящих через функцию потерь (cost function).

VIII. Частная производная ошибки вычисляется по каждому весу (эти частные дифференциалы отражают вклад каждого веса в общую ошибку (total_loss)).

IX. Затем эти дифференциалы умножаются на число, называемое скоростью обучения или learning rate (η).

X. Полученный результат затем вычитается из соответствующих весов. В результате получатся следующие обновленные веса:

$$w1 = w1 - (\eta * \partial(err) / \partial(w1)); w2 = w2 - (\eta * \partial(err) / \partial(w2));$$

$$w3 = w3 - (\eta * \partial(err) / \partial(w3))$$

XI. В цикле расчет повторяется с обновленными весами Обратное распространение ошибки имеет конечный результат.

При выборе нейронной сети, необходимо руководствоваться, числом типов элементов, которое соответствует числу входных данных (из табл. 2 определяем, что входных и выходных данных 13). Число требуемых к рассмотрению скрытых слоев определяем, как число коэффициентов 16 в моделях элементов из табл. 3 .

Таблица 3

Коэффициенты моделей и данные тренировочного примера

Позиционное обозначение	Значение поправочного коэффициента																$\prod_i K_i$	$\lambda_{э/л}, \times 10^{-6} 1/ч$
	$K_{ис}$	K_p	K_t	$K_{коп}$	K_v	K_{Φ}	K_d	K_U	K_C	K_R	K_M	K_A	K_K	K_n	K_{ε}	K_{Π}		
DA1	4,25		2,82	3	1										2	5,5	395,5050	11,0741
DD1	1,62		2,57	3	1										2	5,5	137,3922	3,1600
DD2–DD11	3,08		2,57	3	1										2	5,5	261,2148	60,0794
DD12–DD17	2,08		2,57	3	1										2	5,5	176,4048	24,3439
DD18–DD23	1,96		2,57	3	1										2	5,5	166,2276	22,9394
DD24	2,13		2,57	3	1										2	5,5	180,6453	5,4194
DD25	3,33		2,57	3	1										2	5,5	282,4173	5,0835
VD1–VD12		0,26				0,6	0,6	0,7							3	8	1,5725	0,4717
VS1		0,24				6									1,7	8	19,5840	3,9168
VT1–VT12		0,25				0,7	0,5	0,5							4	8	1,4000	0,7392
C1–C30		0,12							1,21						3	5	2,1780	1,4375
R1–R52		0,48								1	0,7	1			3	3	3,0240	6,9189
R53–R54		1,03								1	1,5	1			3	3	13,9050	1,2236

Затем необходимо определиться с видом нейронной сети. Необходимо руководствоваться следующим. В однослойной нейронной сети рис. 1 обучается первый слой, и передается на выход. В широкой нейронной рис.1 б) сети большое число нейронов в одном слое не приводит к глубокому пониманию данных. Но это приводит к изучению большего числа признаков климатических условий (если в устройстве элементов много, но одного типа).

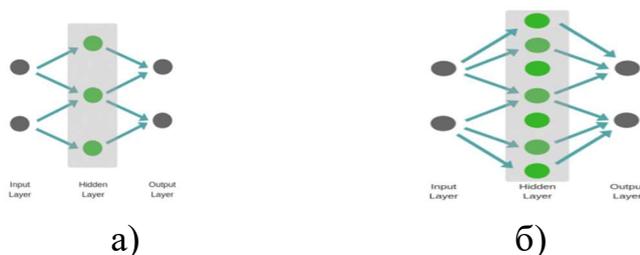


Рис. 1. Нейронные сети: а) однослойная; б) широкая

В двухслойной нейронной сети рис. 2 обучается первый скрытый слой, и он затем передается на второй скрытый слой (аналитическое выражение коэффициентов), где продолжает обучаться.

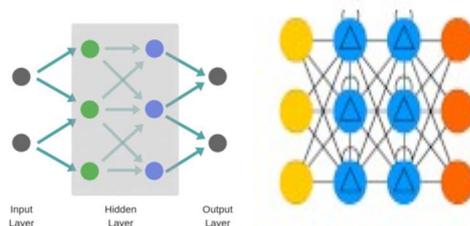


Рис. 2. Нейронная двухслойная сети

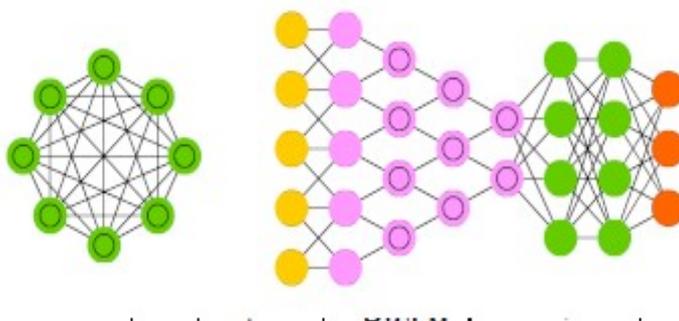


Рис. 3. Нейронные глубокие сети

Функция потерь находится в центре нейронной глубокой сети рис.3. Она используется для расчета ошибки между реальными и полученными ответами. Функция потерь должна удовлетворять двум условиям: 1)должна быть записана, как среднее; 2) должна зависеть только от значе-

ний, выдаваемых на выходе. Для рассматриваемого устройства, средне-квадратичное отклонение – самая простая функция потерь. Цель — минимизировать эту ошибку. Чтобы добиться этого сеть обучают. Для этого необходима база тренировочных примеров, то есть множество пар векторов $X - Y$, на которых будет обучаться сеть. Для тренировочных примеров используются известные данные интенсивности отказов и коэффициентов (таб.3).

Обучается нейросеть с помощью алгоритма [обратного распространения ошибки, выбираем](#) XOR программу, которая приводится в [4] и алгоритм дается ниже.

- 1 Подать на вход сети обучающий пример (один входной вектор).
- 2 Распространить сигнал по сети вперед (получить выход сети).
- 3 Вычислить ошибку (разница получившегося и ожидаемого векторов).
- 4 Распространить ошибку на предыдущие слои.
- 5 Обновить весовые коэффициенты для уменьшения ошибки.

Заключение. В статье приводятся модели элементов сложного устройства и предложен алгоритм моделирования надежности элементов с учетом климатических условий с использованием нейронных сетей. Определены условия для выбора разных видов сетей прямого распространения с функцией обучения. Предложено использовать нейронную глубокую сеть с числом входных и выходных параметров соответствующих числу типов элементов и числом глубоких слоев равным числу видов коэффициентов моделей надежности. Для обучения сети приведен пример расчета и выбрана оценка ошибки - среднеквадратичное отклонение между реальными и полученными ответами для [обратного распространения ошибки](#).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Веревкина Л.С., Алпатова О.В., Веревкин А.Л.* Стадии разработки и уровни расчета надежности. Всемирный технологический университет ЮНЕСКО. Московский технологический институт. Материалы международного форума. Выпуск 2. «Человек в современном мире» . Ростов н/Д: Гинго, 2014, с 308 – 312.
2. *Пшихонов В.Х., Веревкина Л.С., Веревкин А.Л.* Учебное пособие. «Проектирование электротехнических устройств. Часть 1. Стадии проектирования. Техническое задание» – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2013. – 50с.

3. Расчёт показателей надёжности радиоэлектронных средств: учеб.-метод. пособие / С. М. Боровиков, И. Н. Цырельчук, Ф. Д. Троян; под ред. С. М. Боровикова. – Минск: БГУИР, 2010 – 68 с.
4. <https://wikimetall.ru/oborudovanie/elektrod-ionizatsii.html>

Веревкин Александр Леонидович – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», аспирант первого курса, тел.: 8-904-507-61-80, e-mail: verevkin@sfnu.ru.

Болдырев Антон Сергеевич – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», директор Института радиотехнических систем и управления, кандидат физико-математических наук, доцент, тел.: +7(988) 898-78-77, e-mail: boldyrev@sfnu.ru.

Verevkin Alexander Leonidovich – Southern Federal University, graduate student, graduate student, phon: 8-904-507-61-80, e-mail: verevkin@sfnu.ru.

Boldyrev Anton Sergeevich – Southern Federal University, Director of the Institute, candidate of physics and mathematics, associate professor, phon: +7(988) 898-78-77, e-mail: boldyrev@sfnu.ru.

УДК 519.72

Веревкин Александр Леонидович, Пшихопова Карина Вячеславовна,
Веревкина Лина Станиславовна

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ МНОГОКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ С УЧЕТОМ ВАРИАНТОВ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ

Для настоящего времени актуальной задачей оптимизации резервирования каналов в системах контроля. В статье предложен эвристический метод решения задачи оптимизации резервирования посредством матрицы и генетического алгоритма. Приведены схема многоканальной системы контроля, генетический алгоритм, целевая функция и пример решения задачи с результатами двух циклов итерации подтверждающих работу алгоритма.

Генетический алгоритм, резервирование, надежность, многоканальная система контроля,

Verevkin Alexander Leonidovich, Pshihopova Karina Vyacheslavovna,
Verevkina Lina Stanislavovna

GENETIC ALGORITHM FOR THE ASSESSMENT OF THE RELIABILITY OF A MULTICHANNEL MONITORING SYSTEM, TAKING INTO ACCOUNT RESERVATION OPTIONS

For the present, the urgent task of optimizing the reservation of channels in monitoring systems. The article proposes a heuristic method for solving the problem of optimizing redundancy through a matrix and a genetic algorithm. The scheme of the multichannel control system, the genetic algorithm, the objective function, and an example of solving the problem with the results of two iteration cycles confirming the operation of the algorithm are presented.

Genetic algorithm, redundancy, reliability, multichannel monitoring system,

Введение

Многоканальные системы контроля в настоящее время находят широкое применение в системах требующих особых требований безопасности взрывоопасных объектов с процессами горения или в системах автоматического охлаждения газа с числом контролируемых вентиляторов до 500штук. На рис. 1 показан пример схема многоканальной системы контроля датчиков. В многоканальных системах контроля для обеспечения надежности применяется резервирование. Под резервированием по схеме $N+X$ понимают такую ситуацию, когда N — это число каналов, которые присутствуют в системе для выполнения заданной функции, а X —каналов, которые могут быть неисправными без негативных влияний на работу системы контроля.

В статье предлагается решать задачу оптимизации выбора схемы резервирования матричным методом и с использованием генетического алгоритма.

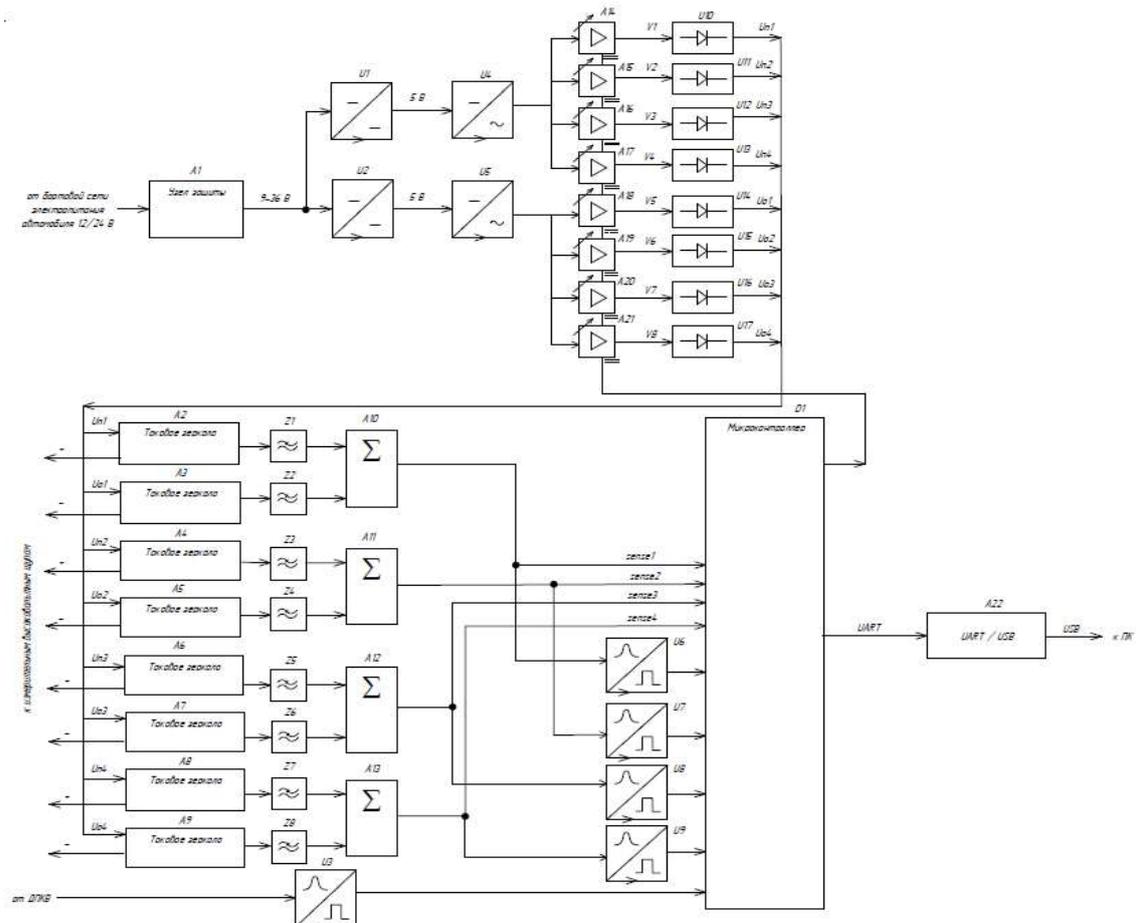


Рис. 1. Схема многоканальной системы контроля датчиков

Генетический алгоритм выбран потому, что [1]:

1. В нем работают с кодовыми строками, которым соответствуют численные значения аргументов целевой функции.
2. В нем на отдельном шаге рассматриваются сразу несколько вариантов решения задачи одновременно.
3. Он использует, как вероятностные правила, так и детерминированные для перехода от одних к другим вариантам.

Укрупненная схема работы генетического алгоритма представлена на рис.2 . Критерием остановки работы генетического алгоритма является [2]:

достигнуто заданное число поколений; исчерпано время эволюции; популяция достигла заданного качества; уровень сходимости такой, что особи в популяции стали схожие, и дальнейшее их улучшение замедляется.

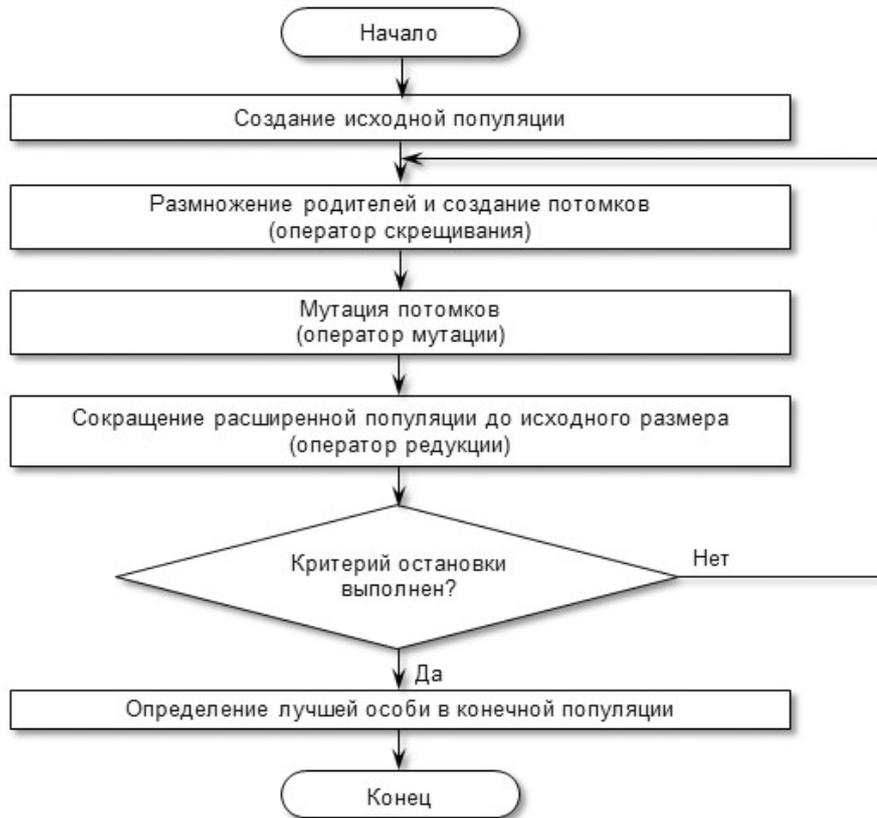


Рис.2 . Укрупненная схема работы генетического алгоритма

Оценка надежности с резервированием. Для предложенной схемы (рис.1) многоканальной системы контроля возможно резервирование каналов по схеме $N+X$, в которой возможно резервирование измерительных до 8 каналов.

T_X - среднее время безотказной работы X работающих каналов с резервированием определяется по формуле [3],

$$T_X = \left[\sum_0^8 \frac{1}{1+X!} \right] * T_1 \leq 5 \text{ тыс. час,} \quad (1)$$

где $T_1 = 1/\lambda_1$ - среднее время безотказной работы без резервирования одного канала 2000час; X - число каналов в резерве.

Для расчета генетическим алгоритмом выбираем функцию (1) целевой при заданном ее максимальном значении 5тыс. час и ограничениях $0 \leq X \leq 8$, необходимо определить оптимальное число каналов в резерве при наработке на отказ одного канала $T_1 = 2$ тыс. час.

Составим матрицу всех вариантов резервирования, в которой первая строка соответствует условию, когда один канал в резерве, а последняя строка, когда семь каналов в резерве у одного рабочего канала

$$T_N = \begin{bmatrix} \frac{1}{1+0} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{1+0} & \frac{1}{1+1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{1+0} & \frac{1}{1+1} & \frac{1}{1+2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{1+0} & \frac{1}{1+1} & \frac{1}{1+2} & \frac{1}{1+3} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{1+0} & \frac{1}{1+1} & \frac{1}{1+2} & \frac{1}{1+3} & \frac{1}{1+4} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{1+0} & \frac{1}{1+1} & \frac{1}{1+2} & \frac{1}{1+3} & \frac{1}{1+4} & \frac{1}{1+5} & 0 & 0 \\ \frac{1}{1+0} & \frac{1}{1+1} & \frac{1}{1+2} & \frac{1}{1+3} & \frac{1}{1+4} & \frac{1}{1+5} & \frac{1}{1+6} & 0 \\ \frac{1}{1+0} & \frac{1}{1+1} & \frac{1}{1+2} & \frac{1}{1+3} & \frac{1}{1+4} & \frac{1}{1+5} & \frac{1}{1+6} & \frac{1}{1+7} \end{bmatrix} * T_1 = \begin{bmatrix} 1,00 \\ 1,50 \\ 1,83 \\ 2,08 \\ 2,28 \\ 2,45 \\ 2,71 \\ 2,835 \end{bmatrix} * T_1 .$$

Рис.3. Матрица коэффициентов резервирования

Решение посредством генетического алгоритма выполнено на примере двух итераций целевой функции.

Битовая строка будет соответствовать целочисленному значению X в заданном интервале. Ген – это отдельный бит строки, хромосома – последовательность из 6 битов, генотип состоит из одной хромосомы (генотип ↔ хромосома), Фенотип (соответствует численному значению X) – определяем как десятичное представление битовой строки минус 10.

Пусть размер популяции будет 4 особи, число скрещиваний – 2, число мутаций – 1 потомок на поколение. Процесс мутации заключается в инверсии одного из битов строки, выбираемого случайно. Последовательность расчетов следующая

1. Случайным образом генерируются исходная популяция в табл. 1.

Таблица 1

Исходная популяция

№	Представление особи		Фенотип, X	Значение целевой функции, $f(x) = \left[\sum_0^N \frac{1}{1+N!} \right] * 2$, тыс. час
	биты	десятичное		
1	011011	17	7	5,67
2	100010	13	3	3,66
3	000100	11	1	2
4	111001	12	2	3

2. Первая итерация – оператор скрещивания (табл.2). Для скрещивания выбираем две пары особей (1, 2) и (1, 4) с наиболее близкими к максимуму целевой функции 5тыс. час. В каждой паре разбиваем бит чертой на две части и случайным образом. Потомки получаются в результате объединения противоположных частей битов родителей.

Таблица 2

Оператор скрещивания

№ пары	Родитель		Потомок	
	№	биты	№	бит
1	1	01 | 1011	5	010010
	2	10 | 0010	6	101011
2	1	01 | 1011	7	011001
	4	11 | 1001	8	111011

3. Первая итерация – оператор мутации. Для мутации случайным образом выбран потомок 7, а в нем для инверсии случайно выбран 3 бит. В результате код особи изменился с 011001 на 01**0**001.

4. Первая итерация – оператор редукции (табл.3). Отбор лучших особей из родителей и потомков значениям целевой функции (ближе к 5тыс. час).

Таблица 3

Оператор редукции первой итерации

№	Представление особи		Фенотип, x	Значение целевой функции, $f(x) = \left[\sum_0^N \frac{1}{1+N!} \right] * 2$, тыс. час
	биты	десятичное		
Родители				
1	011011	17	7	5,42
2	100010	14	3	3,66
3	000100	11	1	2
4	111001	12	2	3
Потомки				
5	010010	12	2	3
6	101011	21	11	-

7	010001	14	4	4,16
8	111011	41	31	-

Из результатов первой итерации таб. 3 для второй итерации формируем популяцию, приведенную в табл.4.

Таблица 4

Популяция второй итерации

№	Представление особи		Фенотип, x	Значение целевой функции, $f(x) = \left[\sum_0^N \frac{1}{1+N!} \right] * 2$, тыс. час
	биты	десятичное		
1	011011	17	7	5,67
2	100010	13	3	3,66
7	010001	14	4	4,16
5	010010	12	2	3

5. Вторая итерация – оператор скрещивания (табл. 5). Отбор лучших особей из родителей и потомков выполняется по максимальным значения целевой функции с учетом требуемого размера популяции.

Таблица 5

Оператор скрещивания второй итерации

№ пары	Родитель		Потомок	
	№	биты	№	бит
1	1	0110 | 11	9	011011
	6	1010 | 11	10	101011
2	1	011 | 011	11	011010
	5	010 | 010	12	010011

6. Вторая итерация – оператор редукции (табл.6). Отбор лучших особей из родителей и потомков выполняется по максимальным значения целевой функции с учетом требуемого размера популяции.

Таблица 6

Оператор редукции второй итерации

№	Представление особи		Фенотип, x	Значение целевой функции, $f(x) = \left[\sum_0^N \frac{1}{1+N!} \right] * 2$
	биты	десятичное		
Родители				
1	011011	17	7	5,67
2	101011	16	6	4,9
3	011010	15	5	4,56
4	111001	12	2	3
Потомки				
5	010010	12	2	3
6	101011	61	51	-
7	010001	14	4	4,16
8	111011	18	8	5,67

Из приведенного расчета видно, что для заданной целевой функции $T=5$ тыс. час оптимальным вариантом резервирования является схема $N+X=1+6$, для которой $T=4,9$ тыс. час, при наработке на отказ одного канала 2000 час.

Заключение. Пример иллюстрирует процесс улучшения популяции в целом. За одну итерацию качество популяции значительно улучшилось. В исходной популяции (табл. 1) среднее значение целевой функции было 3,5825, а ее минимальное значение 2, то в популяции после первой итерации (табл. 4) среднее значение возросло до 4,1225, а минимальное значение равно 3. За вторую итерацию качество популяции (табл. 6) среднее значение возросло до 4,56. Результатами двух циклов итерации подтверждается работа алгоритма для задачи оптимального резервирования каналов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. <https://www.sites.google.com/site/anisimovkhv/learning/iis/lecture/tema15>
2. <https://www.syl.ru/article/393626/geneticheskie-algoritmyi-sut-opisanie-primeryi-primeneniye>

3. <https://sibac.info/journal/student/6/76889> Гарматина И.А., Маркитантов М.В. Применение генетических алгоритмов в управлении программными проектами // Студенческий: электрон. научн. журн. 2017. № 6(6). URL: (дата обращения: 02.04.2019).
4. Пшихопов В.Х., Веревкина Л.С., Веревкин А.Л. Учебное пособие. «Проектирование электротехнических устройств. Часть 1. Стадии проектирования. Техническое задание» – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2013.-50с.

Пшихопова Карина Вячеславовна – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», студентка 1 курса магистратуры, тел.: 8-961-403-92-52, e-mail: pshihopova@yandex.ru.

Веревкин Александр Леонидович – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», аспирант первого курса, тел.: 8-904-507-61-80, e-mail: verevkin@sfedu.ru.

Веревкина Лина Станиславовна – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», Доцент кафедры электротехники и мехатроники Института радиотехнических систем и управления, Кандидат технических наук, тел.: 8-951-505-75-13, e-mail: l.valchack@yandex.ru.

Pshihopova Karina Vyacheslavovna – Southern Federal University, master student, phon: 8-961-403-92-52, e-mail: pshihopova@yandex.ru.

Verevkin Alexander Leonidovich – Southern Federal University, graduate student, phon: 8-961-403-92-52, e-mail: pshihopova@yandex.ru.

Verevkina Lina Stanislavovna – Southern Federal University, associate professor, candidate of technical sciences, phon: 8-951-505-75-13, e-mail: l.valchack@yandex.ru.

Север Константин Олегович, Горемыкин Евгений Викторович

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

В статье выполнено описание современных инновационных технологий беспроводной передачи электроэнергии с выявлением их достоинств, недостатков и области применения, а также произведён выбор наиболее перспективной технологии для развития энергоснабжения.

Беспроводное энергоснабжение, бесконтактная передача электроэнергии, беспроводная передача электроэнергии, КПД.

Sever Konstantin Olegovich, Горемыкин Евгений Викторович

REVIEW OF MODERN WIRELESS TECHNOLOGIES ELECTRIC POWER TRANSMISSIONS

The article describes modern innovative technologies for wireless transmission of electricity with the identification of their advantages, disadvantages and scope, as well as the choice of the most promising technology for the development of energy supply.

Wireless power supply, non-contact power transmission, wireless power transmission, efficiency.

Беспроводная, бесконтактная передача энергии – это способ передачи электрической энергии без использования проводников. Этот способ предназначен для питания потребителей электроэнергии, где необходимо избавиться от проводников или применение проводников опасно (например, в воде). На данный момент развиваются две технологии беспроводной передачи энергии: с использованием электромагнитных и ультразвуковых волн.

В зависимости от длины электромагнитной волны беспроводная передача энергии делится на две категории: ближнего (безызлучательного) поля и дальнего (излучательного) поля.

В методах ближнего поля энергия передается магнитными полями с использованием индуктивной связи между катушками проводов. Эти поля не излучают, то есть энергия локализуется около передатчика. Метод включает в себя индуктивный и резонансно-индуктивный способ передачи электроэнергии.

В методах дальнего поля энергия передается в виде электромагнитного излучения, при этом расстояния между передатчиком и приёмником может достигать нескольких километров. Данный метод включает в себя микроволновой и лазерный способ передачи электроэнергии.

Индуктивная передача энергии

В индуктивном способе передачи энергии передатчик и приемник представляют собой трансформатор с разделенными в пространстве обмотками. Энергия передается между обмотками с помощью магнитного поля. На основе этой технологии был разработан стандарт питания Qi для индук-

ционной передачи энергии на расстояние до 4 см. Создаваемое устройством электрическое поле является безопасным и распространяется всего на 1 см от излучателя. Однако дальность магнитных полей мала и зависит от размера и формы обмоток передатчиков. Передаваемая мощность экспоненциально уменьшается с расстоянием [1 с.126-129], поэтому, если расстояние между передатчиком-приёмником намного больше диаметра обмотки, то КПД системы стремится к нулю. Устройство предусматривает работу лишь с мощностями до 5 - 10 Вт.

Индуктивная связь широко используется в зарядных стойках для беспроводных приборов - электрические зубные щетки и бритвы. Еще одна область применения - «чрескожная» перезарядка биомедицинских протезных устройств, имплантированных в организм человека, таких как кардиостимуляторы и инсулиновые помпы. Однако самыми распространенными являются беспроводные зарядные площадки для зарядки мобильных и карманных устройств - ноутбуки и планшетные компьютеры, мобильные телефоны, цифровые медиа-плееры и контроллеры видеоигр.

Резонансно-индуктивная передача энергии

Данная технология развивается компанией WiTricity. Резонансно-индуктивная передача энергии представляет собой форму индуктивной передачи энергии, в которой оба контура (передатчик и приёмник) настроены в резонанс. Резонаторы с высокой добротностью обмениваются энергией с более высоким КПД. Тогда, расстояние между двумя катушками может достигать в 4 - 10 раз больших значений, чем диаметры катушек [1 с.40]. Другое преимущество - резонансные цепи взаимодействуют друг с другом гораздо сильнее, чем с нерезонансными объектами, поэтому потери мощности из-за поглощения в смежных объектах незначительны. Еще система не требует точного позиционирования приёмника относительно передатчика, давая некоторую пространственную свободу. Благодаря использованию магнитных полей, передача не восприимчива к препятствиям. Устройство позволяет передавать энергию нескольким приёмникам одновременно. Сейчас диапазон передаваемых мощностей составляет от 1 мВт - 3,3 кВт. Также устройство соответствует всем стандартам и нормам безопасности.

Недостатком резонансной передачи является то, что при близких расстояниях, когда две резонансные схемы плотно связаны, резонансная частота системы уже не постоянна, а «расщепляется» на два резонансных пика [2], поэтому максимальная передача мощности больше не возникает на

исходной резонансной частоте, а частота передатчика должна быть настроена на новый резонансный пик.

Резонансная индуктивная передача энергии сейчас широко внедряется в современное беспроводное энергоснабжение. Компания WiTricity уже обеспечивает беспроводное питание для мобильных устройств и бытовой техники. Компания занимается разработкой беспроводной зарядной станции для электромобилей и гибридных электромобилей с передачей мощности от 3,6 до 11 кВт. [3].

Микроволновое излучение

Данный метод передачи энергии заключается в использовании микроволнового диапазона (СВЧ). Для преобразования СВЧ в электроэнергию используется ректенна (нелинейная антенна), которая преобразует энергию СВЧ в энергию постоянного тока. Сейчас КПД микроволновой передачи энергии достигает 95%. Было предложено применение СВЧ для передачи энергии от солнечных батарей из космоса на Землю.

Одной из сложностей создания СВЧ луча являются размеры передающей антенны и приемной ректенны. Согласно исследованиям NASA требуется передающая антенна диаметром 1 км и приемная ректенна длиной 10 километров для передачи СВЧ лучей на частоте 2,45 ГГц [4]. Эти размеры могут быть снижены путем уменьшения длины волны, однако более короткие волны могут поглощаться атмосферой земли и каплями воды. Также требуется прямая видимость между приемником и передатчиком.

К плюсам данной системы можно отнести возможность передачи больших мощностей до 750 МВт, что сравнимо с мощностью современных электростанций. Хотя главными проблемами всё же остаются стоимость запуска космических аппаратов и опасность СВЧ для жизни.

Лазерное излучение

В случае электромагнитного излучения, близкого к оптической области спектра, мощность может передаваться путем преобразования электроэнергии в лазерный луч, который с помощью фотогальванических приёмников преобразуется обратно в электроэнергию. Благодаря такому концентрированному узконаправленному потоку излучения передача энергии возможна на больших расстояниях с высоким КПД до 40-50%. Твердотельные лазеры имеют компактные размеры и не дают никаких радиочастотных помех для систем радиосвязи, таких как Wi-Fi и сотовая связь.

Однако лазерное излучение опасно для жизни. Малые уровни мощности могут ослепить людей и животных. Высокие уровни мощности могут

убивать за счет локального нагрева. Требуется прямая оптическая видимость приемник-передатчик, так как атмосферное поглощение, поглощение и рассеяние облаками, туманом, дождем вызывает до 100% потерь.

Лазерная технология передачи энергии используется для подзарядки беспилотных летающих аппаратов, позволяя им неограниченное время находиться в воздухе. Также лазер рассматривается как способ передачи энергии от солнечных батарей из космоса на Землю.

Ультразвуковые волны

Ультразвуковой способ передачи энергии основан на том, что передатчик отслеживает устройства с приемниками и посылает на них высокочастотные ультразвуковые лучи. Приемник преобразует вибрации звука в электроэнергию, которая питает подключенное устройство. Мощность ультразвукового преобразователя для передачи звуковых волн работающего на частоте от 45 кГц до 75 кГц с выходом от 145 дБ до 155 дБ ($316 \text{ Вт/м}^2 - 3 \text{ кВт/м}^2$) [5].

Прототип устройства будет предназначен для питания как минимум мощностью 1,5 Вт. Устройство сможет заряжать несколько устройств одновременно в радиусе 4 м от одного передатчика.

Но ультразвуковая технология подверглась критике. Ряд проблем - трудность достижения высокой эффективности передачи звука, достижение беспрепятственного пути к приемнику (необходима прямая непрерывная видимость между передатчиком и приемником и параллельное позиционирование для высокого КПД) и большое поглощение ультразвука в воздухе. Вредно для людей.

Следовательно, самая наиболее перспективная технология беспроводной передачи энергии - резонансная индуктивная связь. Экологическая и экономическая выгода данной технологии в том, что она может резко сократить количество уничтожаемых ежегодно миллиардов аккумуляторных батарей.

Север Константин Олегович – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», Студент 1 курса магистратуры, тел.: 8-988-546-79-23, e-mail: remales@mail.ru.

Горемыкин Евгений Викторович – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», Доцент кафедры электротехники и мехатроники Института

радиотехнических систем и управления, Кандидат технических наук, доцент, тел.: 8-904-447-93-17, e-mail: goremykin@sfedu.ru.

Sever Konstantin Olegovich – Southern Federal University, master student, phon: 8-988-546-79-23, e-mail: remales@mail.ru.

Goremykin Evgeny Viktorovich – Southern Federal University, associate professor, candidate of technical sciences, associate professor, phon: 8-904-447-93-17, e-mail: goremykin@sfedu.ru.

УДК 621.3.078

Лобов Павел Николаевич, Волощенко Юрий Петрович

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ БЛОКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ШАРОВЫМ КРАНОМ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

Регулирование системы отопления подразумевает приведение процесса потребления тепловой энергии в соответствие с реальными потребностями в ней. Самый простой способ регулирования системы отопления состоит в ручном управлении работой котла и отопительных приборов. На сегодняшний день ручное управление устарело и для приборов отопления используются системы автоматического контроля и регулирования, позволяющие создавать в доме комфортные условия и оптимизировать расходы на отопление. В данной работе произведен обзор систем контроля и регулирования систем отопления, разработан и исследован блок автоматизированного управления шаровым краном системы отопления, разработан алгоритм управления электроприводом крана.

Блок автоматизированного управления, система отопления, микроконтроллер, алгоритм управления.

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF THE AUTOMATED CONTROL UNIT FOR THE BALL VALVE OF THE HEATING SYSTEM

Regulation of the heating system involves bringing the process of consumption of heat energy in line with the real needs for it. The easiest way to control the heating system is to manually control the operation of the boiler and heating devices. Today, manual control is outdated and automatic control and regulation systems are used for heating devices that allow creating comfortable conditions in the house and optimizing heating costs. In this work, an overview of the heating systems control and regulation systems was made, the automated control unit for the ball valve of the heating system was developed, the algorithm for controlling the electric drive of the crane was developed.

Automated control unit, heating system, microcontroller, control algorithm.

Введение

Во многих странах все больше внимания уделяется оптимизации расходования энергоресурсов. Это связано с экологическими и экономическими аспектами. Для достижения наиболее рационального использования энергоресурсов разрабатываются системы автоматизированного управления [1]. В такой области как отопительная система жилых домов уже существуют подобные технологии. Однако стоимость подобных систем очень велика, это связано с тем, что конкуренция в данной области достаточно небольшая. Компании, занимающиеся производством такой продукции, зачастую выпускают системы автоматизации лишь для собственных котловых установок, что позволяет завязать цену товара. Поэтому представляется целесообразным разработать новую систему автоматического управления водяного отопления частного жилого дома.

Цель данной работы рассмотреть имеющиеся системы регулирования температуры и разработать универсальное устройство с возможностью его установки в помещениях с разным микроклиматом. Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач: рассмотреть представленные на рынке системы регулирования температуры; определить принцип автоматического управления водяным отоплением; рассмотреть элементную базу; разработать алгоритм работы и программу системы автоматического управления; разработать устройство на основе элементной базы.

Обзор существующих методов регулирования температуры.

На рынке имеются подобные системы управления температурой в помещении и во всем здании, но их принцип основан либо на термомеханических устройствах, либо контроле отдельных радиаторов отопления и температуры в помещении, а здания или части здания. Ниже рассмотрены основные устройства регулирования.

Термостатический вентиль. Принцип этого устройства заключается в расширении рабочего вещества и выталкивании им поршня, который уменьшает проходное сечение вентиля и через него проходит меньшее количество теплоносителя [2]. Основным недостатком такого устройства является в том, что температура в помещении выставляется вручную и при изменении внешних факторов может сильно отличаться от необходимой, так как фактическое регулирование происходит относительно температуры теплоносителя.

Комнатный регулятор температуры со связью с котлом отопления. Этот принцип регулирования заключается в измерении температуры в контрольном помещении и передачи информации котлу отопления, который, в свою очередь, принимает решение об изменении температуры теплоносителя для достижения заданной температуры [3-4]. Недостаток данной системы в невозможности регулирования температуры в отдельных помещениях.

Регулятор разницы температуры теплоносителя в подающих и обратных трубопроводах. Суть метода заключается в измерении разницы температур между подающим и обратным трубопроводом и регулировании протока теплоносителя путем открытия или закрытия вентиля на подающем трубопроводе [5-6]. Это устройство позволяет лишь увеличить КПД отопительной системы, но не регулировать температуру в отдельных помещениях, так как контролируемый параметр – разницы температур между подающим и обратным трубопроводом. Таким образом, проанализировав имеющиеся устройства можно сделать вывод, что абсолютных аналогов на рынке нет.

Разработка конструкции для управления краном системы отопления

Конструкция состоит из следующих элементов: кран системы отопления, сервопривод, крепление сервопривода к крану радиатора, микроконтроллер с потенциометром и дисплеем, датчик температуры. Для обеспечения универсального крепления электропривода к шаровому крану раз-

работана конструкция крепления. Вал сервопривода закреплен цанговым соединением с осью шарового крана. Вторая точка крепления это зажим хомутного типа, который опоясывает шаровой кран (рис.1).

Выбор сервопривода

Для выбора сервопривода производим измерения усилия открытия шарового крана.

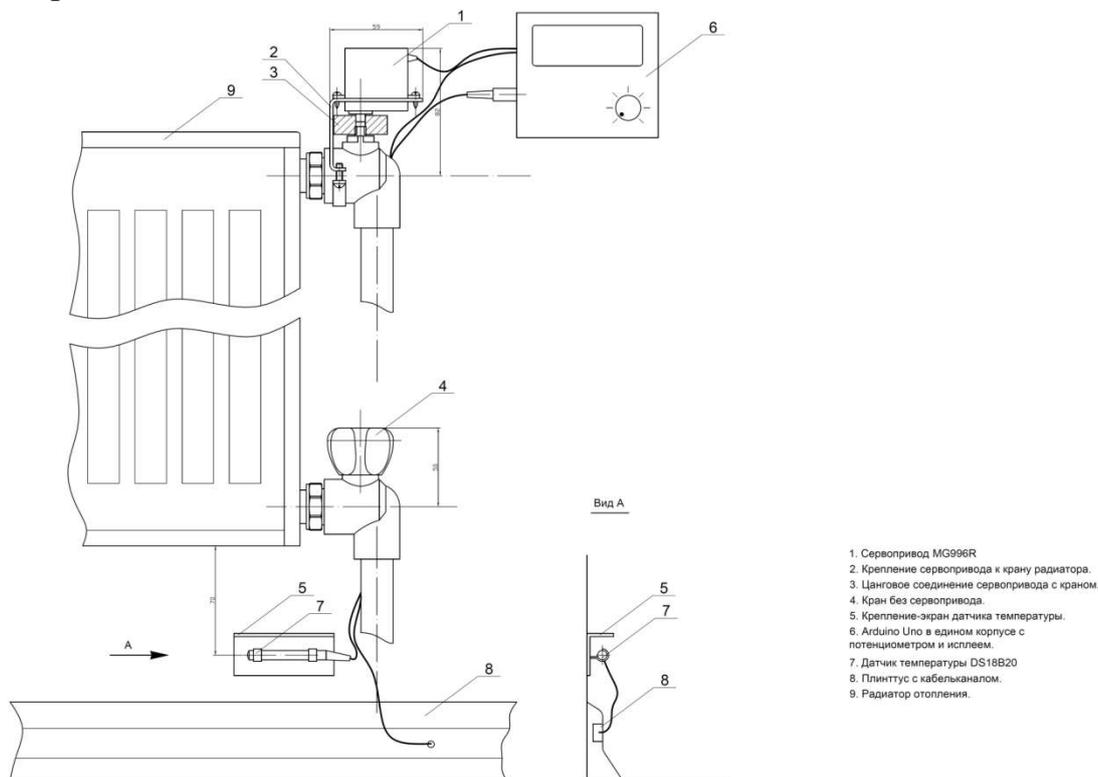


Рис.1. Общий вид конструкции для управления краном системы отопления

Для этого используем рычаг известной длины ($L=300$ мм) и динамометр (АМЦ 2-50). Сила поворота шарового крана, $F=0,15$ кгс. Вычисление момента поворота шарового крана производится по формуле:

$$M = (F \times g) / L \text{ Н / м};$$

Исходя из полученных данных измерений, вычислим максимальный момент поворота шарового крана $M_{\max}=4,9$ Н/м. По M_{\max} выбираем сервопривод MG996R [7].

Разработка схемы электрической функциональной блока управления

Для корректной работы, а также ввода необходимого значения и поддержания контролируемого параметра на заданном уровне, температуры в помещении, блок управления должен иметь: микроконтроллер; датчик

температуры; дисплей; потенциометр (для задания значения температуры); внешний блок питания; устройство понижения напряжения (для питания сервопривода номинальным напряжением). Схема электрическая функциональная блока управления приведена на рис. 2.

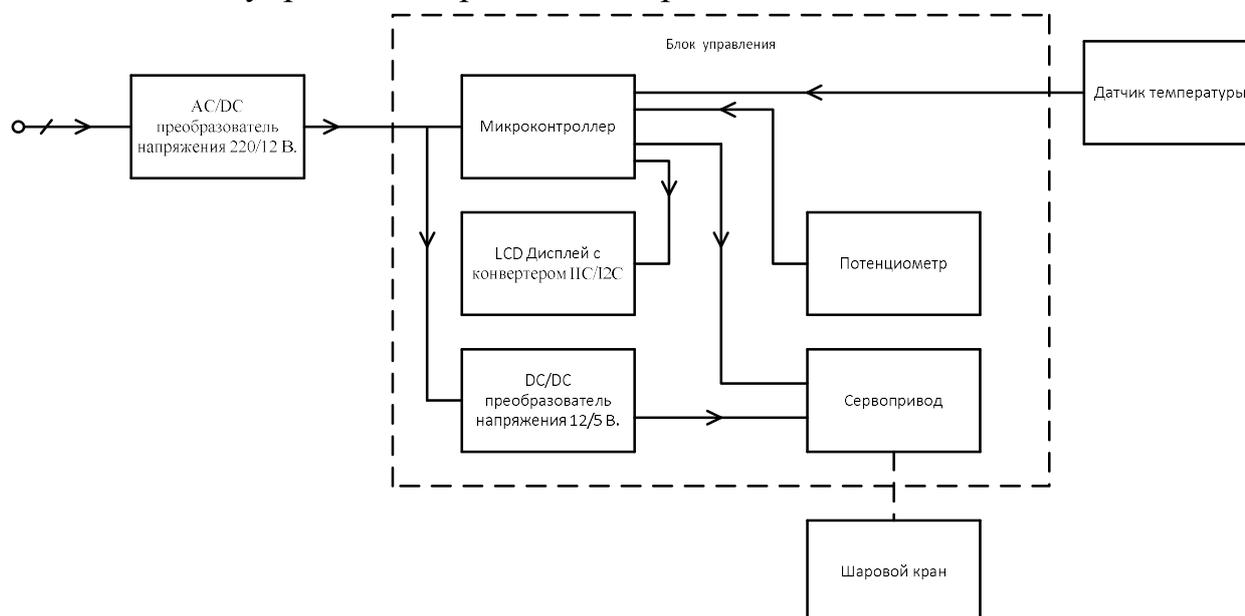


Рис. 2. Схема электрическая функциональная блока управления.

Выбор микроконтроллера

В настоящий момент наиболее распространённой и недорогой микроконтроллерной платформой с широкими возможностями прототипирования является Arduino Uno. Большое количество датчиков и модулей различного назначения, а также программного обеспечения, выпускается для микроконтроллера ATmega328, на основе которого осуществлена работа Arduino Uno [8]. Технические характеристики Arduino Uno: микроконтроллер - ATmega328; рабочее напряжение - 5 В; входное напряжение (рекомендуемое) - 7-12 В; входное напряжение (предельное) - 6-20 В; цифровые входы/выходы - 14 (6 из которых могут использоваться как выходы ШИМ); аналоговые входы - 6; постоянный ток через вход/выход - 40 мА; постоянный ток для вывода 3,3 В - 50 мА; флеш-память - 32 Кб из которых 0,5 Кб используются для загрузчика; ОЗУ - 2 Кб; EEPROM - 1 Кб; тактовая частота - 16 МГц.

Выбор датчика температуры

При выборе датчика контролируемого параметра необходимо учитывать: погрешность датчика; необходимую дискретность измеряемого пара-

метра; совместимость с микроконтроллерной платформой; удаленность датчика от блока управления. Датчик DS18B20 удовлетворяет требованиям технического задания и имеет разработанные протоколы работы с платформой Arduino Uno. DS18B20 цифровой термометр с программируемым разрешением от 9 до 12 бит, которое может сохраняться в EEPROM памяти прибора (при 12 битах дискретность температуры составляет $1/16$ °C) [8]. Датчик обменивается данными по шине 1-Wire. Диапазон измерений температуры от -55 °C до $+125$ °C и точностью $0,5$ °C в диапазоне от -10 °C до $+85$ °C. DS18B20 может питаться напряжением линии данных при отсутствии внешнего источника напряжения.

Разработка схемы электрической структурной блока питания.

Внешний блок питания подключается к сети 220В и располагается вне корпуса блока управления, так как от него может питаться несколько подобных устройств. Датчик температуры устанавливается также удаленно от блока управления. Он находится под радиатором системы отопления для наиболее корректного и своевременного отображения температуры в помещении, которое достигается путем измерения температура потока конвекционного воздуха. Сервопривод располагается в корпусе блока управления и служит одним из узлов крепежа корпуса устройства, при помощи кангового соединения вала привода с осью шарового крана. Структура описанного выше устройства представлена на рис. 3.

Разработка алгоритма и программы управления блоком.

Программная среда Arduino Uno использует язык C++ и библиотеки, созданные для разных модулей и датчиков. Основная программа делится на нециклическую и циклическую части. В нециклической части программы переменным присваиваются начальные значения и указывается тип переменных. В циклической части осуществляется: предварительная настройка; вычисление коэффициентов регулятора; работа регулятора с имеющимися коэффициентами. Предварительная настройка осуществляется, когда разница между текущей и установленной пользователем температурами позволяет произвести вычисления коэффициентов регулятора.

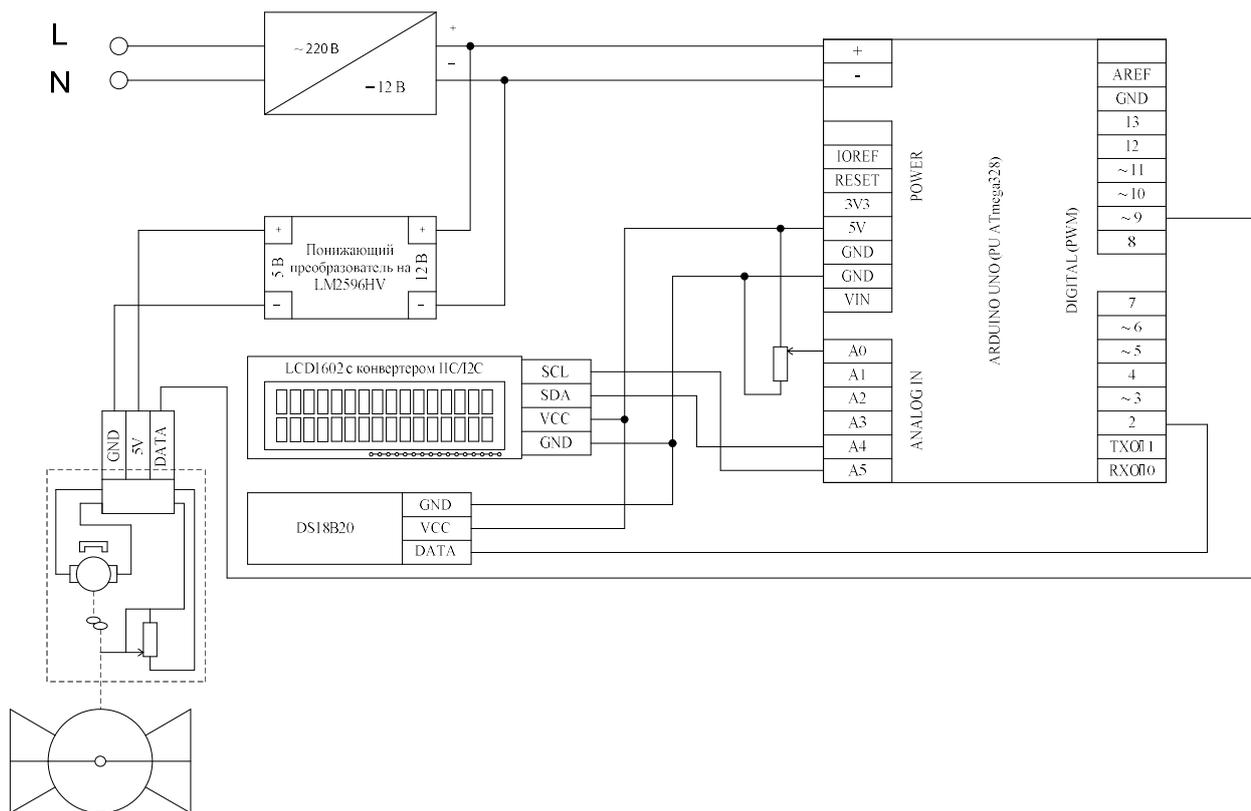


Рис. 3. Схема электрическая структурная блока питания.

Задача предварительной настройки заключается в выходе контролируемого параметра на стабильный уровень, меньшего значения, чем выставил пользователь. Во время выполнения алгоритма система постоянно проводит проверку на изменение заданной температуры, если оно изменилось, то вновь проверяется условие на разность текущей и выставленной температуры. В момент перехода на стадию вычисления коэффициентов регулятора температура в помещении стабилизирована и имеет значение ниже выставленного пользователем. Для анализа и вычисления коэффициентов регулятора в алгоритме применен метод настройки регулятора по отклику на единичное воздействие.

Выводы

В ходе выполнения работы был произведен: обзор существующих методов регулирования температуры; выбор типа электропривода; выбор сервопривода; выбор микроконтроллера; выбор внешнего блока питания и проводников; выбор электрической схемы понижения напряжения со встроенной системой защиты; выбор датчика температуры; выбор дисплея. Основываясь на выбранной микроконтроллерной платформе, разработан

алгоритм и программа управления сервоприводом. Произведенный анализ технико-экономических показателей разработки указывает на имеющуюся экономическую целесообразность внедрения разработки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волощенко П. Ю., Волощенко Ю. П. Моделирование электронных компонентов интегральных схем методами теории электрических цепей: учебное пособие / Южный федеральный университет. - Ростов-наДону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2017. - 104 с.
2. Термостатические вентили: описание и принцип работы / [Электронный ресурс] / URL: <http://fb.ru/article/> (дата обращения: 15.05.2019).
3. Управление котлом отопления в доме, квартире или коттедже / [Электронный ресурс] / URL: <https://termogorod.ru/> (дата обращения: 15.05.2019).
4. Комнатный регулятор / [Электронный ресурс] / URL: <http://teplo4life.ru/?p=45> (дата обращения: 15.05.2019).
5. Современные тепловые пункты / [Электронный ресурс] / URL: <http://umnоеotoplenie.ru> (дата обращения: 15.05.2019).
6. Регуляторы температуры теплоносителя в обратных трубопроводах / [Электронный ресурс] / URL: <http://www.irimex.ru> (дата обращения: 15.05.2019).
7. Сервопривод TowerPro MG996R / [Электронный ресурс] / URL: <http://amperkot.ru> (дата обращения: 15.05.2019).
8. Робототехника для детей и взрослых / [Электронный ресурс] / URL: <http://amperka.ru> (дата обращения: 15.05.2019).

Лобов Павел Николаевич – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», Студент 2 курса магистратуры, тел.:

Волощенко Юрий Петрович – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», Доцент кафедры электротехники и мехатроники Института радиотехнических систем и управления, Кандидат технических наук, тел.:

Lobov Pavel Nikolaevich – Southern Federal University, master student, 8-918-582-06-41, 8-961-696-81-36, e-mail: lobov.pavel@inbox.ru.

Voloshchenko Yuri Petrovich – Southern Federal University, . associate professor, candidate of technical sciences, phon: 8-918-540-59-91, e-mail: yvoloshchenko@yandex.ru.

УДК 681.21

Расол Муртадха Наджах, Баграмян Артур Владимирович,
Финаев Валерий Иванович

АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Обоснована актуальность применения информационное обеспечение для исследования загрязнений внешней среды. Определены задачи информационного анализа. Предложено применение модели стохастического регрессионного анализа для решения задач исследования. Рассмотрена модель стохастического регрессионного анализа. Разработано программное обеспечение.

Экология, загрязнения, информационный анализ, моделирование, стохастическая регрессия.

Rasol Murtadha Najah, Bagramyan Arthur Vladimirovich,
Finaev Valery Ivanovich

HARDWARE AND INFORMATION SUPPORT FOR RESEARCH OF POLLUTION

The urgency of application information support for research of pollution of environment is proved. Problems of the information analysis are defined. Application of model of the stochastic analysis for the decision of research problems is offered. The model of the stochastic analysis of regress of parametres is considered. The software is developed.

Ecology, pollution, the information analysis, modelling, stochastic regress

Введение. Зависимость прямого воздействия уровня антропогенного загрязнения окружающей среды на состояние здоровья населения вызывает необходимость принятия управленческих решений, направленных на обеспечение экологической безопасности населения, вложения все большего объема средств в природоохранные мероприятия [1]. Информационное обеспечение – это совокупность системы классификации и кодирования информации, унифицированных систем документации, схем информационных потоков, циркулирующих на предприятии, методология построения баз данных.

Основной целью экологического управления является охрана окружающей природной среды, рациональное использование природных ресурсов и обеспечение экологической безопасности [2]. Использование информационного подхода, базирующегося на новых информационных технологиях, позволяет не только количественно описать процессы, происходящие в сложных эко- и геосистемах, но и, смоделировав механизмы этих процессов, научно обосновать методы оценки состояния различных компонентов окружающей природной среды.

Применение информационной системы экологического мониторинга позволяет выявить эффекты воздействия различных факторов на окружающую среду, определить допустимые экологических воздействий и нагрузки на компоненты окружающей среды с учетом комплексного и комбинированного воздействия на экосистему. Таким образом, применение аппаратных средств и информационное обеспечение для исследования загрязнений внешней среды является актуальной задачей.

Задачи информационного анализа. Этапы информационного анализа экологической информации включают следующие стадии:

- сбор информации о состоянии окружающей среды: экспедиционные исследования; стационарные исследования; аэровизуальные наблюдения; дистанционное зондирование; космическая и аэрофотосъемка; тематическое картографирование; гидрометеорологические наблюдения; система мониторинга; литературные, фондовые и архивные данные;

- первичная обработка и структуризация: кодирование информации; преобразование в машинную форму; цифрование картографического материала; обработка изображений; структуризация данных; приведение данных к стандартному формату;

- заполнение базы данных и статистический анализ: выбор логической организации данных; заполнение базы данных и редактирование; интерполяция и экстраполяция недостающих данных; статистическая обработка данных; анализ закономерностей в поведении данных, выявление трендов и доверительных интервалов;

- моделирование поведения экосистем: использование усложняющихся моделей; варьирование граничными условиями; имитация поведения экосистем при единичных воздействиях; картографическое моделирование; исследование диапазонов отклика при различных воздействиях;

- экспертное оценивание: оценка диапазонов изменения воздействий на экосистемы; оценка поведения экосистем при различных воздействиях

по принципу «слабого звена»; анализ неопределенности входных данных; параметров моделей; результатов моделирования; величин экспертных оценок;

- выявление закономерностей и прогнозирование экологических последствий: разработка возможных сценариев поведения экосистем; прогнозирование поведения экосистем; оценка результатов различных сценариев;

- принятие решений по ограничению воздействий на окружающую природную среду: выработка «щадящих» (сберегающих) стратегий сокращения воздействий на окружающую природную среду; обоснование выбранных решений (экологическое и социально-экономическое) [3].

Для решения задач информационного анализа экологического состояния внешней среды важен выбор моделей и программного обеспечения для выполнения анализа.

Стохастическая регрессионная модель. Реальные объекты экологических систем нелинейные, обладают последствием, а параметры их являются случайными. Можно применять модели в виде статистических закономерностей функционирования экологических систем, что позволит исследовать стохастические параметры и процессы с применением методов теории вероятности и математической статистики [4]. Интерес представляют модели, позволяющие исследовать стохастическую регрессию одного случайного фактора на другом случайном факторе объекта.

В двумерной табл. 1 показан общий вид представления данных об отклонениях от номинального значения гипотетических экологических параметров, например, на некотором входе x экосистемы и на некотором выходе y этой же экосистемы.

Таблица 1

Двумерное распределение

X	x_1	x_2	...	x_i	...	x_n	...
Y							
y_1	$p(x_1, y_1)$	$p(x_2, y_1)$	...	$p(x_i, y_1)$	...	$p(x_n, y_1)$	$p(y_1)$
y_2	$p(x_1, y_2)$	$p(x_2, y_2)$	...	$p(x_i, y_2)$	...	$p(x_n, y_2)$	$p(y_2)$
...
y_j	$p(x_1, y_j)$	$p(x_2, y_j)$	...	$p(x_i, y_j)$	...	$p(x_n, y_j)$	$p(y_j)$
...
y_m	$p(x_1, y_m)$	$p(x_2, y_m)$	...	$p(x_i, y_m)$	...	$p(x_n, y_m)$	$p(y_m)$
...	$p(x_1)$	$p(x_2)$	...	$p(x_i)$	...	$p(x_n)$	

В ячейках табл. 1 указывается вероятность $p(x_i, y_j)$ того, что в результате испытания случайная величина X примет значение x_i и вместе с этим случайная величина Y примет значение y_j . Все события образуют полную группу. Сумма вероятностей табл. 1 равна единице, т. е. $\sum_i \sum_j p(x_i, y_j) = 1$.

Сумма вероятностей i -го столбца

$$p(x_i, y_1) + p(x_i, y_2) + \dots + p(x_i, y_j) + \dots + p(x_i, y_m) = \sum_j p(x_i, y_j) \quad (1)$$

представляет собой вероятность события $X=x_i$:

$$\sum_j p(x_i, y_j) = P(X = x_i) = p(x_i). \quad (2)$$

Сумма вероятностей j -ой строки

$$p(x_1, y_j) + p(x_2, y_j) + \dots + p(x_i, y_j) + \dots + p(x_n, y_j) = \sum_i p(x_i, y_j) = P(Y = y_j) = p(y_j) \quad (3)$$

представляет собой вероятность события $Y=y_j$. Из табл. 1 распределения двумерной случайной величины получили одномерные законы распределения случайных величин X и Y в отдельности.

Чтобы исследовать влияние одного параметра экологической системы на изменение другого параметра, рассматривают условные законы распределения первого параметра при фиксированных значениях второго параметра. Если параметр X получил значение $X=x_i$, то другой параметр Y может принять любое из своих возможных значений y_1, y_2, \dots , но вероятности этих значений будут отличаться от вероятностей $p(y_1), p(y_2), \dots$.

Действительно, условная вероятность события $Y=y_j$ при событии $X=x_i$ будет равна $\frac{p(x_i, y_j)}{p(x_i)}$. Обозначим эту вероятность через $p(y_j/x_i)$ так, что

$$p(y_j / x_i) = P(Y = y_j / X = x_i) = \frac{p(x_i, y_j)}{p(x_i)}. \quad (4)$$

Совокупность условных вероятностей $p(y_1/x_i), p(y_2/x_i), \dots, p(y_j/x_i), \dots$, соответствующих одному и тому же условию $X=x_i$, и называют условным распределением Y при $X=x_i$ [4]. Сумма условных вероятностей равна единице

$$\sum_j p(y_j / x_i) = \frac{\sum_j p(x_i, y_j)}{p(x_i)} = \frac{p(x_i)}{p(x_i)} = 1. \quad (5)$$

Для исследования параметров экологических систем наиболее важной характеристикой является условное математическое ожидание $M(Y/x)$

величины Y при фиксированном значении $X=x$, $x=\{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots\}$. Математическое ожидание определяется равенством: $M(Y/x) = \sum_j y_j p(y_j/x)$, где x - одно из значений $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots$. Можно

определить условные моменты более высоких порядков. Приняв во внимание (2) и (4), определим:

$$\bar{y}(x) = M(Y/x) = \frac{\sum_j y_j p(x, y_j)}{\sum_j p(x, y_j)}, \quad (6)$$

которое определяет $M(Y/x)$ как функцию $M(Y/x) = \bar{y}(x)$, определенную для значений $x=x_1, x_2, \dots, x_i, \dots$, и носящую название регрессии случайного параметра Y по случайному параметру X .

Также можно представить модель в виде условного распределения случайного параметра X при фиксированных значениях параметра $Y=y_j$, определяемого совокупностью условных вероятностей

$$p(x_i/y_j) = \frac{p(x_i, y_j)}{p(y_j)}, \quad i=1, 2, \dots, \quad (7)$$

причем:
$$\sum_i p(x_i/y_j) = \frac{\sum_i p(x_i, y_j)}{p(y_j)} = \frac{p(y_j)}{p(y_j)} = 1$$

Так же задается модель в виде регрессии случайного параметра X по параметру Y

$$\bar{x}(y) = M(X/y) = \sum_i x_i p(x_i/y) = \frac{\sum_i x_i p(x_i, y_j)}{p(y_j)}. \quad (8)$$

Модели (6) и (8) эффективны для статистического анализа состояния экологических объектов и осуществления вероятностных прогнозов, так как с их помощью выявляется стохастическая связь между параметрами экосистемы так в текущий момент, так и на выбранной последовательности моментов t_1, t_2, \dots, t_k .

Информационное обеспечение стохастической регрессионной модели. На рис. 1 приведен алгоритм информационного обеспечения стохастической регрессионной модели

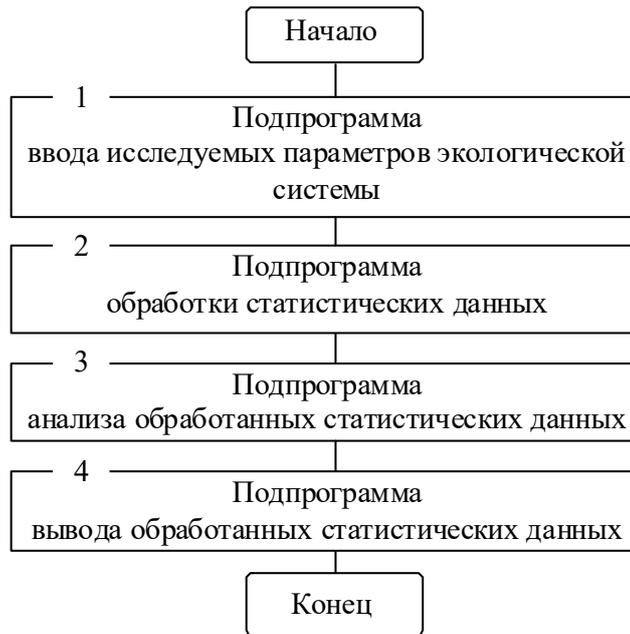


Рис. 1. Алгоритм информационного обеспечения стохастической регрессионной модели

Для ввода значений случайной величины $x \in X$, $i = \overline{1, n}$ предназначен массив $X[I]$. Для ввода значений случайной величины $y \in Y$, $j = \overline{1, m}$ предназначен массив $Y[J]$. Вероятности $p(x_i, y_j)$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$ заносятся в массив $P[I, J]$. Гипотетический вид гистограммы частот показан на рис. 2.

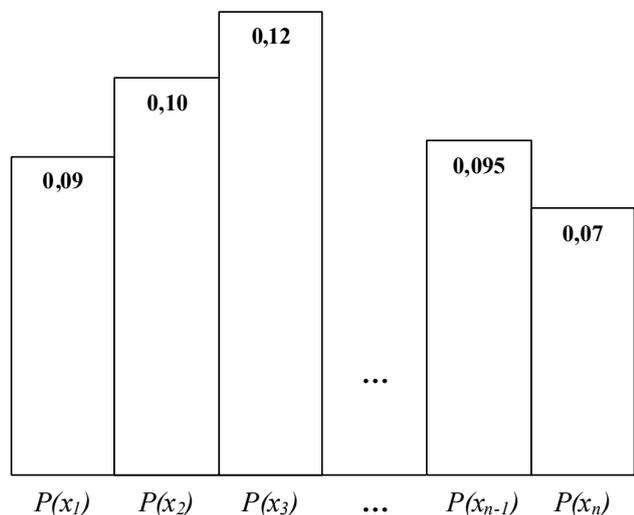


Рис. 2. Гипотетический вид гистограммы частот событий X

Оценка условных вероятностей события $Y=y_j$ при событии $X=x_i$ осуществляется с применением формулы (6). Для этого для каждого элемента

$J, J = \overline{1, M}$ массива $P[I, J]$ выполняется деление на элемент массива $PX[I]$ при фиксированном значении $I, I = \overline{1, N}$. В результате получаем массив $PYX[J, I]$, элементы которого представляют собой вероятности $p(y_1/x_i), p(y_2/x_i), \dots, p(y_m/x_i)$ условного распределения Y при $X=x_i$. Вывод полученных оценок условных вероятностей также можно осуществить в виде гистограмм. Гипотетический вид гистограмм регрессии показан на рис. 3.

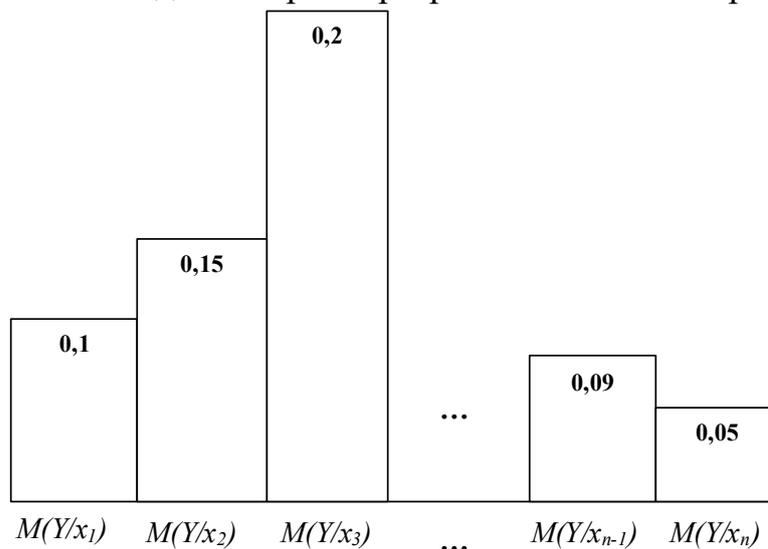


Рис. 3. Гипотетический вид гистограммы регрессии случайного параметра Y по случайному параметру X

Разработано информационное обеспечение, запуск которого осуществляется из файла SAU.StohRegresModel.exe.

Выводы. Разработанная стохастическая регрессионная модель и информационное обеспечение для её применения позволяет проводить исследования по результатам набранных статистических данных о влиянии одних параметров экологической системы на изменения других параметров.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта №19-07-00936.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Нейман Е.Я.* Организация экоаналитического контроля в Российской Федерации. // Журнал экологической химии. – 1993. - №1 – С. 59- 63.
2. *Сафарова В.И., Кудашева Ф.Х., Фаухутдинов А.А., Шайдулина Г.Ф.* Экоаналитический контроль в системе оценки качества окружающей среды. – М.: «Интер», 2004. – 228 с.

3. *Сизов А.П.* Мониторинг городских земель с элементами их охраны: Учеб. пос. / Рекомендовано Минобразования РФ для студентов вузов. – М.: 2000. – 156 с.
4. *Смирнов Б.Я., Дунин-Барковский И.В.* Краткий курс математической статистики для технических приложений. - М: Физматгиз, 1969. – 512 с.

Расол Муртадха Наджах - ЮФУ, e-mail rasol@sfedu.ru; 44, Некрасовский, Таганрог, 347928, Россия; телефон: +7-960-469-08-71; кафедра системного анализа и телекоммуникаций; аспирант.

Баграмян Артур Владимирович – ЮФУ, e-mail: artur_31.08.94@inbox.ru; 44, Некрасовский, Таганрог, 347928, Россия; телефон: +7-938-124-04-13; кафедра систем автоматического управления; студент.

Финаев Валерий Иванович – ЮФУ; e-mail: vifinaev@sfedu.ru; 44, Некрасовский, Таганрог, 347928, Россия; телефон: +7-928-133-34-62; кафедра систем автоматического управления; д.т.н.; профессор.

Rasol Murtagha Nadjah - Southern Federal University; e-mail: rasol@sfedu.ru; 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phone: +7-960-469-08-71; the department of automatic control systems; postgraduate student..

Fomin Andrey Anatolievich - Southern Federal University; e-mail: artur_31.08.94@inbox.ru; 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phone: +7-938-124-04-13; the department of automatic control systems; the student.

Finaev Valeri Ivanovich – Southern Federal University; e-mail: vifinaev@sfedu.ru; 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phone: +7-928-133-34-62; the department of automatic control systems; dr. of eng. sc.; professor.

УДК 681.21

Султанова Мария Ильдаровна, Финаев Валерий Иванович

МОДЕЛИ НАЗНАЧЕНИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Работа посвящена разработке программного обеспечения и моделированию сложных систем для решения задачи назначений применительно к робототехническим системам. Рассмотрен пример решения задачи распределения целей

между группами интеллектуальных мобильных роботов с прогнозированием изменения общего целевого функционала на основе итерационного метода решения с применением разработанного программного обеспечения. Особое внимание было уделено реализации функции экспертной оценки состояния множества робототехнических комплексов противоположной стороны (стороны предполагаемого противника). Приложение написано на объектно-ориентированном языке программирования высокого уровня – C#.

Роботы, цели, назначение, распределение, модели назначений, знания экспертов, программное обеспечение.

Sultanova Mariya Il'darovna, Finayev Valeriy Ivanovich

MODELS OF APPOINTMENTS FOR THE SOLUTION OF ROBOTIC TASKS

Work is devoted to development of the software and modeling of difficult systems for the solution of a problem of appointments in relation to robotic systems. An example of the solution of a problem of distribution of the purposes between groups of intelligent mobile robots with forecasting of change of the general target functionality on the basis of an iterative method of the decision with application of the developed software is reviewed. The special attention was paid to realization of function of an expert assessment of a condition of a set of robotic complexes of the opposite side (the party of the alleged opponent). The appendix is written in an object-oriented programming language highly of level - C#.

Robots, purposes, appointment, distribution, models of appointments, knowledge of experts, software.

Введение. Применение роботов и робототехнических комплексов разнообразно, являются задачи оценки количества, целесообразности применения тех или иных робототехнических комплексов, распределение целей между роботами для достижения результатов. Среди многообразия задач выделим одну из наиболее интересных по возможностям ее решения и применения – задачу целераспределения.

Сам термин «распределение задач» описывает проблему распределения доступных объектов для конкретных задач или целей на основе особенностей их характеристик. При этом количество объектов может быть

очень разнообразным как по численности, так и по составу. Задача назначений является задачей комбинаторной и математической оптимизации [1].

Необходимо также задать правила взаимодействия отдельных объектов и функции движения, оценки внешней среды и иерархии взаимодействия в строю или в робототехнической системе. Кроме того, знания о цели могут быть неточными, чтобы их оценить необходимо дать им понятие достоверности. Актуальными являются задачи целераспределения, учитывающие способности отдельных моделей роботизированной гетерогенной мульти-робототехнической системы, позволяющие на основе анализе способности отдельных отличий роботов выполнять оптимальный поиск назначений роботов конкретным целям.

Решение задачи целераспределения следует осуществлять с применением программного обеспечения. Для этого предложено применить IDE: Microsoft Visual Studio, Monodevelop, в качестве программной основы – кроссплатформенная среда разработки 3D приложений для всех видов устройств Unity3d, объектно-ориентированный язык высокого уровня C#.

Анализ видов моделей и методов решения задач назначений.

Можно выделить блок задач, где активно используется распределение целей между двумя группами или отдельно взятыми роботами. Для решения задач назначения существует несколько распространенных моделей. Первая модель является наиболее простым примером и подразумевает назначение на каждую цель не более одного робота. Количество роботов равно количеству целей. Группа роботов при этом гетерогенная. Тогда для парка из n роботов существует $n!$ возможных распределений целей. Назначение роботов должно быть организовано так, чтобы обеспечить максимально эффективное выполнение задачи при минимальных затратах и времени. Задача о назначениях, в отличие от целочисленных задач, имеет свои особенности:

- количество роботов равно количеству целей;
- один робот не может иметь две цели, каждый робот обязательно должен получить свою цель;
- любой из роботов может выполнить задачу, но качество и эффективность выполнения зависят от функциональных особенностей робота;
- управляемые факторы представляют собой соответствие робота i цели j таким образом, что переменная x_{ij} , описывающая факт соответствия цели (задачи) роботу, принимает значение либо 0 (в случае несоответствия), либо 1 (в случае назначения задачи роботу).

Рассмотрим в качестве примера математическую модель. Целевая функция F - сумму эффективностей от достижения результата всеми роботами. При условии, что роботу i поставлена в соответствие цель j ($x_{ij}=1$), эффективность a_{ij} войдет в целевую функцию. Если же не поставлена и $x_{ij}=0$, то эффективность a_{ij} будет отсутствовать. Условие вхождения в целевую функцию запишется как $a_{ij}x_{ij}$. В реальной ситуации не сможем сказать, какой цели поставят в соответствие какого робота. Следует предусмотреть возможность назначения робота i любой цели $j=1,2,3,\dots,m$, т.е. $F = \sum_{i=0}^m a_{ij} x_{ij}$. Так при количестве роботов $i=1 \dots n$ суммарная составляющая эффективности запишется: $F = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m a_{ij} x_{ij} \rightarrow \max$.

Ограничением является соответствие одному роботу не более одной цели. Назначение робота на j -ю цель опишется уравнением: $x_{1j}+x_{2j}+x_{3j}+\dots+x_{nj}=1$

Условие назначения только одного i -того робота на одну из n целей запишется: $x_{i1}+x_{i2}+x_{i3}+\dots+x_{in}=1$. Совокупность всех управляемых факторов x_{ij} представляет собой решение задачи назначения, а целевая функция – общая эффективность выполнения задач достижения целей. Оптимальное назначение заранее неизвестно, целевая функция должна включать в себя все возможные назначения и равняться сумме эффективностей всех достижений целей всеми роботами.

В основном данную задачу предлагается решать венгерским алгоритмом [1]. Входные данные для решения данной задачи представляются в виде матрицы $n \times m$, где в i -й строке j -го столбца расположено значение эффективности выполнения i -м роботом j -й целевой функции.

Существуют и другие подходы к решению задач целеназначения (целераспределения). Распределение целей может выполняться с применением нечеткой модели нейронных сетей, как отмечено в работе [2].

Распределение целей может выполняться централизованно – оператором, децентрализованно – сами роботами, или комбинированным образом, т.е. с частичным участием оператора. В работе [3] приведено решение задачи децентрализованного распределения целей и показана эффективность этого распределения по сравнению с централизованным планированием.

В работе [4] показана связь задачи целераспределения с задачей формирования структуры и строя роботов, а также задачей управления движением. В работе [5] субъектом целеполагания является оператор, но целераспределение среди роботов реализовано за счет применения адаптивных

алгоритмов обучения, которые обеспечивают адекватное отражение целей оператора в действиях роботов. Алгоритм обучения способен компенсировать воздействие внешних и внутренних факторов нестационарности целевых предпочтений.

В работе [6] решается задача обеспечения группового информационного взаимодействия беспилотных летательных аппаратов с определением робота, как интеллектуального агента, а группы роботов, как многоагентной системы, и показана связь задачи целераспределения с задачей формирования структуры и строя роботов. Применена иерархическая комбинированная централизованно-децентрализованная система управления с тремя уровнями иерархии. В результате в статье изложен агентно-ориентированный подход к решению задачи группового информационного взаимодействия беспилотного комплекса. И построена архитектура информационного взаимодействия внутри автоматизированного беспилотного комплекса.

В работе [7] для распределения целей между роботами группы в условиях противодействия приведено описание трех методов распределения целей при групповом управлении, направленных на минимизацию потерь. Первый метод содержит приоритет целей и основан на учете расстоянии до робота, а также на расстоянии до защищаемой области. Второй метод - модифицированный метод роя частиц. Третий метод основан на эволюционно-генетическом алгоритме.

Возможности применения программного продукта при решении задач назначений. Для решения задачи было написано программное обеспечение на языке высокого уровня, повышающее скорость подсчетов для задачи целераспределения между двумя группами роботами, вне зависимости от того, гетерогенная или гомогенная это группа.

На рис. 1 представлено начальное окно для вычисления целей для каждого из роботов. Рассмотрим каждый из 4 блоков более подробно.

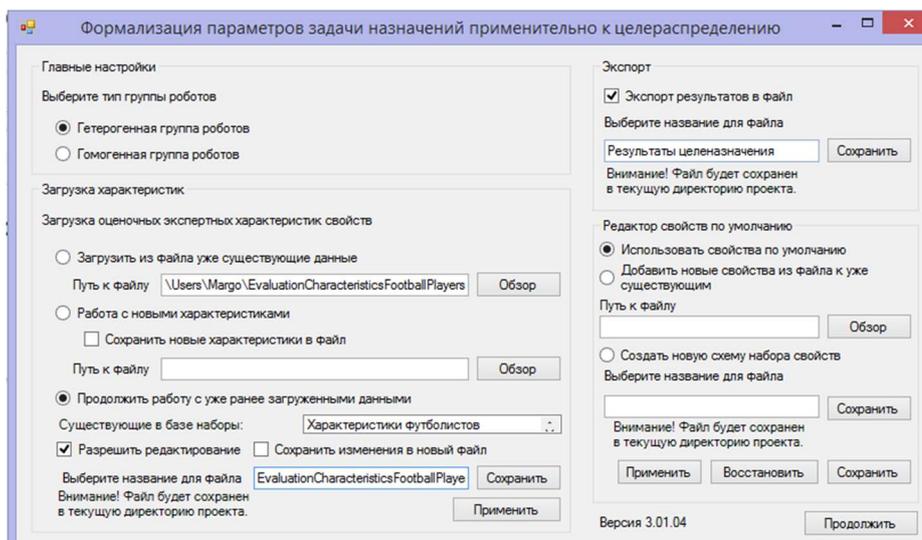


Рис. 1. Настройки системы разработанного программного обеспечения

Левый верхний блок отвечает за алгоритм вероятного распределения группы роботов на основе одной из характеристик группы – однородности. В данном случае настройка гомогенная группа роботов показывает, что все роботы в группе имеют одинаковые заложенные свойства и, вероятно, характеристики. Стоит отметить, что нельзя выбрать гомогенную и гетерогенную группу одновременно. Если в группе присутствуют разнородные подвижные объекты, то следует выбрать гетерогенную группу роботов.

Следующий блок называется «Загрузка характеристик» представлен на рис. 2. Он расположен под блоком «Главный блок» и является наибольшим. В нем пользователю предлагается выбрать точку, откуда будем загружать свойства для подвижных объектов.

Результирующий файл будет доступен в директории созданного проекта и будет иметь расширение «.trg».

После завершения настройки системы необходимо нажать кнопку «Продолжить» для задания параметров робототехнических комплексов. На рис. 3 показано, что можно выбрать не все из предложенных свойств, тем самым подстраивая возможности системы под решение конкретной задачи. На рис. 3 пользователем были выбраны «Свойства по умолчанию» из блока «Редактор свойств по умолчанию».

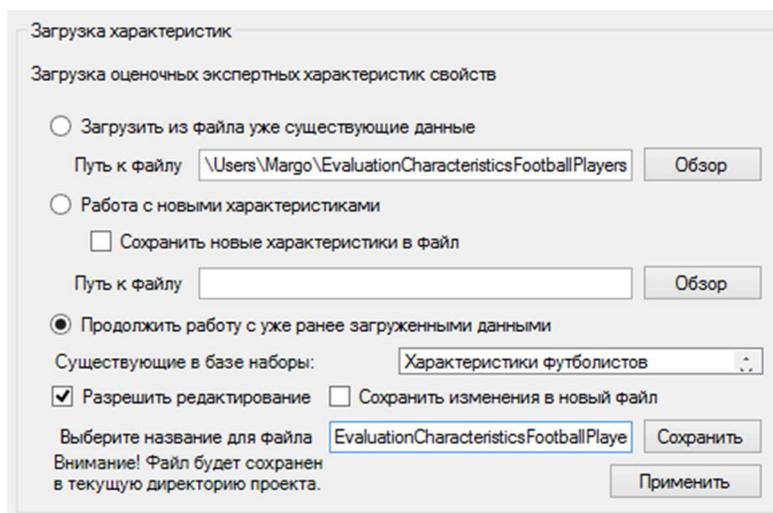


Рис. 2. Загрузка характеристик

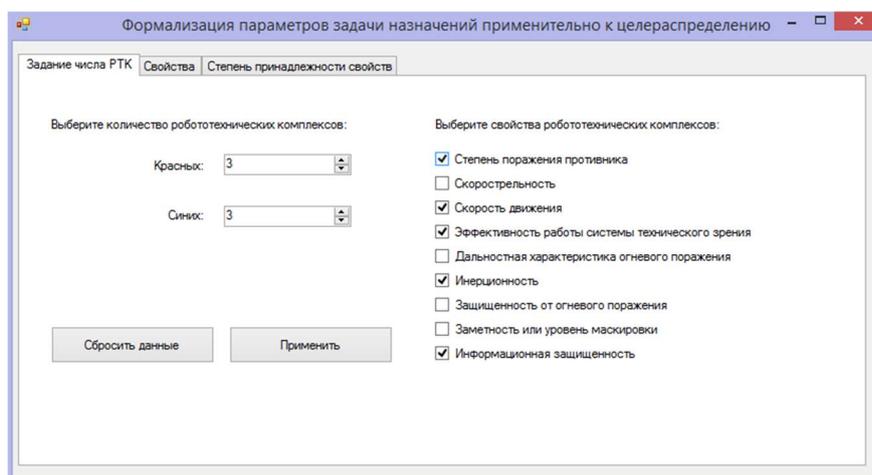


Рис. 3. Настройка количества роботов и выбор свойств

На рис. 4 представлены две таблицы, отражающие свойства красных (слева) и свойства синих (справа). Столбцы представляют собой каждого из подвижных объектов по порядку. Строки отражают выбранные свойства в соответствии также в соответствии с их порядком в предыдущем окне.

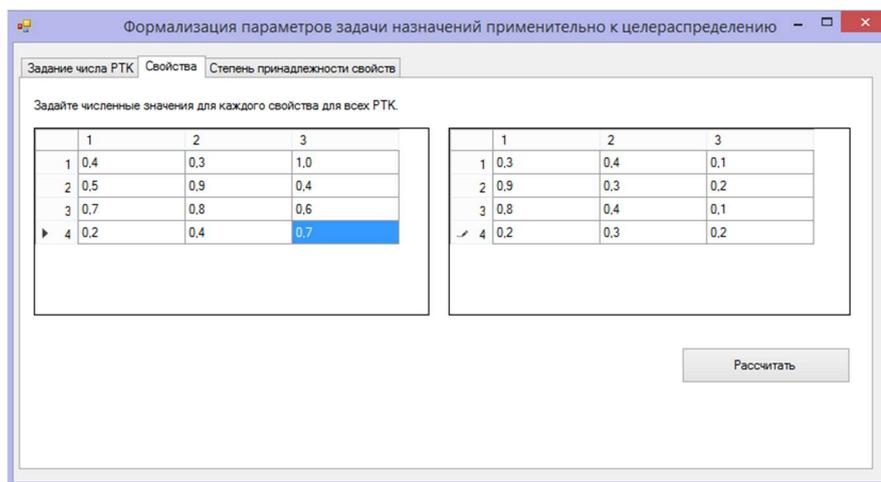


Рис. 4. Пример заполнения свойств для 3-х роботов в каждой группе

Отметим, что свойства каждого робота в группе формализуются с применением знаний экспертов, т.е. свойства определяются, как лингвистические переменных со своими терм-множествами. Функции принадлежности нечетких множеств задаются на базовых множествах.

Для каждого конкретного робота известны значения его параметров. В результате выполняется формализация свойств роботов в нечеткой области значений, что позволяет в дальнейшем эти значения применять в моделях нечеткого логического вывода [8] относительно назначения каждому роботу той или другой конкретной цели.

Выводы. Существует целый спектр алгоритмов решения задач целераспределения. В конкретных ситуациях оправданно использовать наиболее подходящие для прихода к оптимальному результату с минимизацией затрат и потерь, с учетом влияния возмущений внешней среды. Для решения задачи целераспределения при минимизации времени и достижения максимального эффективного результата необходимо полагаться на основные известные алгоритмы. Для упрощения прохождения итераций расчетов и достижения оптимального результата разработанное программное обеспечение, позволяющее в короткие сроки с большой достоверностью прийти к желаемому результату. Приведены основные элементы пользовательского интерфейса и настройки разработанной системы для решения задачи целераспределения.

Acknowledgments

The work was supported by grant of the Southern Federal University "Development of theoretical foundations and intellectual methods of controlling the terminal

state of mobile vehicles under conditions of uncertainty" No. AAAA-A17-117060610002-8.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Хемди А. Таха*. Введение в исследование операций, 7-е издание.: Пер с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005, - 912 с.
2. *Mukhedkar R., Naik S.* Weapon Target Allocation Problem Using Fuzzy Model // Intern. J. of Application or Innovation in Engineering & Management. – 2013. – Vol. 2, № 6. – P. 279–289.
3. *Małgorzata Żabińska, Tomasz Sośnicki, Wojciech Turek, Krzysztof Cetnarowicz.* Robot Task Allocation Using Signal Propagation Model: <https://ac.els-cdn.com/S1877050913004614/1-s2.0-S1877050913004614-main.pdf?>
4. *Ahmed Benzerrouk, Lounis Adouane, Philippe Martinet.* Stable navigation in formation for a multi-robot system based on a constrained virtual structure: <https://ac.els-cdn.com/S0921889014001316/1-s2.0-S0921889014001316-main.pdf>
5. *Вилисов В.Я.* Исследование эффективности обучения робота в условиях изменяющихся критериев / 1 Международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника». - Санкт-Петербург, 2014. Электронный ресурс: <http://docplayer.ru/67880616-Issledovanie-effektivnosti-obucheniya-robotov-v-usloviyah-izmenyayushchihsyakriteriev.html>
6. *Смирнов Д.С.* Задача обеспечения группового информационного взаимодействия беспилотных летательных аппаратов / Проблемы развития корабельного вооружения и судового радиоэлектронного оборудования. Вып. 4(9), 2016. – С. 17 – 22.
7. *Лазарев В.С., Черногоров И.В., Полях В.В.* Методы распределения целей между роботами группы в условиях противодействия / Инженерный вестник Дона, №4 (2017). Электронный ресурс: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4513
8. *Финаев В.И.* Модели принятия решений. – Таганрог: ТРТУ, 2005. – 101с.

Султанова Мария Ильдаровна – ЮФУ, e-mail: supremacums5@gmail.com; 44, Некрасовский, Таганрог, 347928, Россия; телефон: +7-906-420-52-01; кафедра систем автоматического управления; студент.

Финаев Валерий Иванович – ЮФУ; e-mail: vifinaev@sfedu.ru; 44, Некрасовский, Таганрог, 347928, Россия; телефон: +7-928-133-34-62; кафедра систем автоматического управления; д.т.н.; профессор.

Sultanova Maria Ildarovya - Southern Federal University; e-mail: suprema-cyms5@gmail.com; 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phone: 7-906-420-52-01; the department of automatic control systems; the student.

Finaev Valeri Ivanovich – Southern Federal University; e-mail: vifinaev@sfnedu.ru; 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phone: +7-928-133-34-62; the department of automatic control systems; dr. of eng. sc.; professor.

УДК 681.21

Курбанов Намаз Тариелович, Фомин Андрей Анатольевич,
Финаев Валерий Иванович

ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗАЦИИ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Рассматривается задача передачи и сбора технологических данных в сетях информационно-управляющих систем энергетического назначения. Предложено применить технологию распределенного реестра, которая является основой различных платформ для проведения операций между участниками системы сбора и передачи информации. Определены задачи системы передачи данных. Для обеспечения единства данных между узлами сети энергетической системы предложено применять технологию блокчейна. Приведен алгоритм безопасного хеширования SHA-256 и рассмотрены математические основы блокчейна.

Энергетика, диспетчер, данные, передачи, блокчейн, программирование.

Kurbanov Namaz Tarielovich, Fomin Andrey Anatolyevich,
Finaev Valery Ivanovich

PROBLEMS OF AUTOMATION OF DISPATCHING MANAGEMENT IN SYSTEMS OF DISTRIBUTION OF ELECTRIC ENERGY

The problem of transfer and gathering of the technological data in networks of information-operating systems of power appointment is considered. It is offered to apply technology of the distributed register which is a basis of various platforms for carrying out of operations between participants of system of gathering and information transfer. Problems of system of data transmission are defined. Between knots of a network of a power system it is offered to apply technology to maintenance of unity of the data

blockchain. The algorithm safe hash algorithm SHA-256 is resulted and mathematical bases blockchain are considered

Power, the dispatcher, the data, transfers, blockchain, programming.

Введение. Задачи автоматизации диспетчерского управления в системах распределения электрической энергии имеют трудности в решении из-за дорогостоящей разработки систем мониторинга, диспетчеризации и их внедрения [1]. Остается актуальной задачей дистанционного сбора и учета потребления электрической энергии. Системы мониторинга позволяют уменьшить затраты по времени и средствам при энергетическом обследовании предприятий и производств [2].

Высокие темпы роста распределённой генерации ставят перед энергетикой новые цели и задачи, в которых участникам энергетического рынка необходимо создать интеллектуальную систему, основанную на транзакциях, позволяющую быстро обслуживать постоянно растущее количество участников, с которым централизованному оператору не удастся эффективно справляться. В связи с этой ситуацией энергетики обратили внимание на технологию распределенного реестра, которая является основой различных платформ для проведения операций между участниками. Данная технология позволяет передавать любой вид информации сразу на несколько узлов сети, что в свою очередь обеспечивает безопасность данных, прозрачность и неизменность данных.

Своевременное получение информации диспетчерскими службами в энергетических АСУ ТП является востребованной задачей. Существуют различные подходы к мониторингу энергии, которые обеспечивают обратную связь о потреблении энергии на производстве и в быту. Уже существуют устройства способные контролировать общее потребление энергии в домашних хозяйствах, которые могут контролировать только отдельные бытовые приборы с дополнительным аппаратным устройством, подключенным к системе мониторинга энергии [3].

Сейчас разработчиками разных стран уже создано большое количество приложений, базирующихся на технологии распределенного реестра и направленных на оптимизацию работы различных сфер услуг. При объединении отдельных приложений может появиться децентрализованная система энергетических транзакций и энергоснабжения. Объемы производства и потребления электроэнергии могут измеряться с помощью «умных счетчи-

ков», а операции по торговле электроэнергией и платежи могут контролироваться с помощью специальных компьютерных алгоритмов [4].

Структуры и задачи АСУ ТП. Использование современных систем мониторинга энергопотребления является актуальной задачей для предприятий и распределительных подстанций. Применение таких систем позволяет оптимизировать энергопотребление на различных технологических установках и получать информацию о состоянии объектов. Основу такой системы составляют анализаторы электросети, индикаторы короткого замыкания и электросчетчики со встроенными GSM/Wi-Fi модулями.

Анализатор предназначен для мониторинга качественных стандартов энергоснабжения. Прибор позволяет осуществлять дистанционный контроль качественных и количественных параметров сети, измерять гармонические составляющие и мощность. Поддерживается протокол передачи данных MODBUS RTU [5].

Однофазный многотарифный счётчик НЕВА МТ 114 АS WF1P 5(60)А ООО «ТАЙПИТ-ИП» с Wi-Fi модемом измеряет следующие параметры: среднее квадратическое значение напряжения, частоты сетевого напряжения и активную мощность. Получаемые данные хранятся на информационном сервисе энергоснабжения Тайпит. Можно получить доступ к счетчикам электричества используя смартфон, компьютер или планшет [6].

Взаимодействие программной и аппаратной части позволяет построить многоуровневый системный комплекс для мониторинга электрических сетей. Примером такой системы может служить КОМОРСАН 2 – программно-аппаратный комплекс, осуществляющий непрерывный мониторинг распределенных электрических сетей (РЭС) [7]. Информация поступает от диагностических приборов таких, как индикаторы короткого замыкания (ИКЗ) для воздушных линий, ИКЗ для кабельных линий и анализаторы для подстанций. Клиент-серверное решение КОМОРСАН 2 состоит из следующих компонентов: сервер сбора и обработки информации; база данных; программные продукты Web-сервер и Web-клиент.

Немаловажной задачей является борьба с хищением электроэнергии. Для коммунального сектора жилья характерны следующие особенности: занижение показаний счетчиков при оплате за электроэнергию потребителями, коммерческие потери могут достигать до 20%; энергосбытовые организации не имеют возможности оперативного контроля потребленной и оплаченной электроэнергии; сложности доступа к счетчику для сверки по-

казаний или для проверки его технического состояния. Без новых технических средств учета потребления электроэнергии одними организационными мерами с этой проблемой не справиться.

Системы дистанционного учета осуществляют контроль и управление электропотреблением на предприятиях. Основным экономический эффект для потребителя от применения этих систем состоит в уменьшении платежей за используемую энергию и мощность, а для энергокомпаний в снижении пиков потребления и уменьшении капиталовложений на наращивание пиковых генерирующих мощностей.

Для разработки системы передачи данных были сформированы следующие задачи: рассмотреть способы получения данных о состоянии объектов энергосистемы без наличия сервера на предприятии; разработать правила и алгоритмы, которые будут обеспечивать безопасность и прозрачность передаваемой информации; обеспечить минимальное отклонение времени при обновлении информации; исследовать систему на возможность подавления возмущений.

Технология блокчейн. Одноранговые сети не могут обеспечить единство данных между узлами сети энергетической системы. Решить данную проблему можно при помощи блокчейна (blockchain, с англ. – цепь блоков) [8].

Для последовательного создания цепочки блоков необходимо в каждый новый блок включать заголовок предыдущего блока. Таким образом, выстраивается цепь, где очередное звено укрепляет все предыдущие. Такой подход был предложен создателем проекта «биткоин» (пиринговая платежная система, в основе которой используется технология блокчейн). Заголовок каждого блока вычисляется при помощи криптографического алгоритма [9]. На рис. 1 показана структура блокчейна.

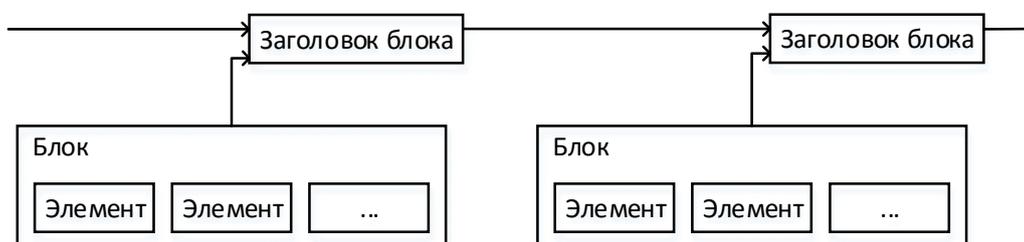


Рис. 1. Структурная схема блокчейна

Для распределенной одноранговой сети используется алгоритм Proof-of-Work (доказательство выполнения работы).

Алгоритм хеширования SHA-256. Алгоритм безопасного хеширования (Secure Hash Algorithm - SHA) – однонаправленная функция, применяемая к сообщению произвольной длины для получения значения фиксированной длины – хеш [10]. Число 256 в наименовании алгоритма говорит о хеше длиной в 256 бит или 32 байта (64 символа в шестнадцатеричной системе счисления).

Для реализации данной функции в ПО Matlab был использован код из источника [11]. В качестве аргумента было использовано сообщение “Test”. Результат представлен ниже:

```
>> sha256('Test')
ans =
'532EAAABD9574880DBF76B9B8CC00832C20A6EC113D682299550D7
A6E0F345E25'
```

Если добавить какой-либо символ в конец сообщения, например, ‘0’, то получим следующий результат:

```
>> sha256('Test0')
ans =
'41ECDD8744D7CF289460803F13E620052118BE145E2248E9E657CC7
BDD40A6B1'
```

В обоих случаях было получено сообщение одинаковой длины, но с совершенно разными значениями. Данный алгоритм используется для генерации заголовка блока в сети блокчейн (см. рис. 2).

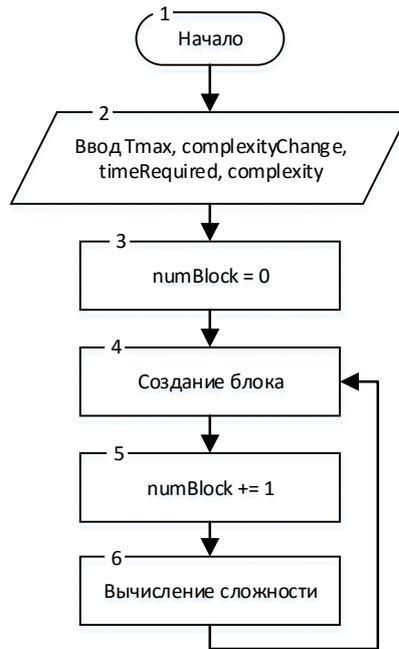


Рис. 2. Алгоритм создания цепочки блоков

Математические основы блокчейна. Для создания гибкой системы, с постоянно изменяющимся количеством узлов сети, необходимо создать правила, по которым будет работать блокчейн. Нужно обеспечить формирование каждого блока через определенный промежуток времени. Для этого вводятся следующие переменные: текущая цель; максимальная цель; требуемое время для формирования нового блока; сложность (определяет текущую цель, дробное число, минимальное значение равно единице); - количество блоков для пересчета сложности.

Цель представляется в виде числового значения, обозначает условие для решения криптографической задачи при помощи алгоритма хеширования SHA-256. Если полученный хеш меньше или равен цели, то блок информации является валидным. Максимальная цель определяет самое простое условие для формирования блока. Чем меньше значение цели, тем сложнее найти корректный хеш. Таким образом потребуется больше времени на формирование блока. Алгоритм создания цепочки блоков показан на рис. 3.

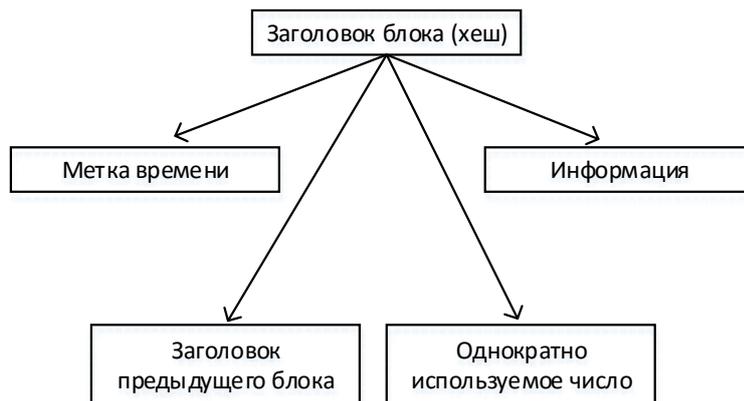


Рис. 3. Структура блока

Метка времени позволит определить время между блоками и вычислить новую сложность. Формат метки времени должен быть заранее определен, чтобы каждый узел сети мог прочесть информацию о времени создания блока, например, DD-MM-YYYY HH-MI-SS. Однократно используемое число служит вспомогательным механизмом для решения криптографической задачи, выбор этого числа может осуществляться любым образом. Изменение данного числа будет влиять на хеш блока. В поле информация можно поместить показания счетчика или состояние ИКЗ. Сложность вычисляется по следующей формуле:

$$D = D_{old} \frac{t_r}{t_a}, \quad (1)$$

где D_{old} – текущая сложность (до вычислений по формуле); t_r - требуемое время для формирования нового блока; t_a – фактическое время создания блока; D – сложность (после вычисления по формуле).

Текущая цель может быть вычислена по следующей формуле:

$$T_D = \frac{T_{max}}{D}, \quad (2)$$

где D – сложность; T_{max} – максимальная цель; T_D – текущая цель.

Цель представляется в формате bits. Для того, чтобы перевести цель из формата bits необходимо применить следующую формулу:

$$T_D = mantissa \cdot 256^{exp-3}, \quad (3)$$

где T_D – текущая цель, $mantissa$ – мантисса (последние 3 байта), exp – экспонента (первый байт).

Затем следует доказательство выполнения работы.

Изменение сложности формирования блока позволяет достичь требуемого значения времени создания блока и правильно распределить вычислительную мощность микроконтроллера или компьютера. Например, если

микроконтроллер выполняет задачу системы автоматического управления, то формирование блока займет больше времени чем заданное значение. Но после пересчета сложности, фактическое время создания блока будет ближе к требуемому значению.

Выводы. Применение данной технологии не ограничивается обычным диспетчированием энергетической сети. К информационно-управляющей системе можно подключать счетчики электроэнергии, распределительные устройства и анализаторы сети. Структурированное хранение и представление данных об объектах энергосистемы позволяет диспетчеру быстро переключаться между устройствами и получать полную информацию о состоянии объекта с момента подключения к системе.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта №19-07-00936.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. «Умный» мониторинг энергопотребления с системой Eaton BreakerVisu. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://market.elec.ru/nomer/52/umnyj-monitoring-energopotrebleniya-s-sistemoj-eat/>
2. Актуальность энергоаудита промышленных предприятий. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://gisee.ru/audit/articles/energo-audit/25238/>
3. *Kristine Mae E. Galera, Orven E. Llantos.* Mobile Web Energy Monitoring System Using DFRduino Uno – *Procedia Computer Science*, Vol. 124, 2017. - Pages 706 - 713.
4. *Козьмина И.С., Лукьянцев Д.С., Клыков А.Д., Васильев С.П., Мусорина О.С.* Разработка системы поставок и учета электроэнергии на базе технологии «Blockchain» – *Естественнонаучный журнал «Точная наука».*
5. Анализатор AS-3 - Twelve Electric [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://www.12e.pl/1531206742.php>.
6. НЕВА МТ 114 AS WF1P 5(60) А однофазный многотарифный электросчётчик – ТАЙПИТ-ИП [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://www.meters.taipit.ru/catalog/neva/odnofaznyie-schetchiki/mnogotarifnyie/2929/>
7. *Любимова Н.Г.* Определение понятия «Распределенная энергетика» – *Вестник университета № 5, 2014 – С. 103-105.*
8. Блокчейн, что такое, определение, новости, статьи, видео - Индикатор. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://indicator.ru/tags/blokchejn/>
9. Satoshi Nakamoto. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System, 2008.

10. *Шнайер Б.* Прикладная криптография, 2-издание – С.319.
11. GitHub - lostpfg/SHA-256-Matlab: Implements SHA-256 Algorithm. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://github.com/lostpfg/SHA-256-Matlab>

Курбанов Намаз Тариелович - ЮФУ, e-mail ; 44, Некрасовский, Таганрог, 347928, Россия; телефон: +7-988-253-81-78; кафедра систем автоматического управления; аспирант.

Фомин Андрей Анатольевич – ЮФУ, e-mail: andrfomin98@gmail.com; 44, Некрасовский, Таганрог, 347928, Россия; телефон: +7-961-277-53-51; кафедра систем автоматического управления; студент.

Финаев Валерий Иванович – ЮФУ; e-mail: vifinaev@sfnedu.ru; 44, Некрасовский, Таганрог, 347928, Россия; телефон: +7-928-133-34-62; кафедра систем автоматического управления; д.т.н.; профессор.

Kurbanov Namas Taritljvich - Southern Federal University; e-mail: vifinaev@sfnedu.ru; 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; the department of automatic control systems; postgraduate student.

Fomin Andrey Anatolievich - Southern Federal University; e-mail: andrfomin98@gmail.com; 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phone: 7-961-277-53-51; the department of automatic control systems; the student.

Finaev Valeri Ivanovich – Southern Federal University; e-mail: vifinaev@sfnedu.ru; 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phone: +7-928-133-34-62; the department of automatic control systems; dr. of eng. sc.; professor.

УДК 006.354

Джура Сергей Григорьевич, Чурсинов Виктор Иванович,
Якимишина Виктория Викторовна

РАЗРАБОТКА ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ ДЛЯ РОБОТОТЕХНИКИ ПОСРЕДСТВОМ ГРВ-ТЕХНОЛОГИЙ

В работе рассмотрен перспективный метод решения мировой проблемы стандартизации этически обусловленного проектирования объектов электроники и электротехники посредством камеры газоразрядной визуализации (ГРВ), проанализированы преимущества ГРВ-аппаратов и особенности применения этой инновационной технологии для решений указанной проблемы

Технология газоразрядной визуализации (ГРВ), Кирлиан-эффект, метод ГРВ-биоэлектрографии, инновационная технология, этически обусловленное проектирование.

Jura S.G., Chursinov V.I., Yakimishina V.V.

DEVELOPMENT OF ETHICAL STANDARDS FOR ROBOTICS THROUGH GRD TECHNOLOGIES

The work considers a promising method for solving the global problem of standardization of ethically determined design of electronics and electrical equipment using gas discharge visualization (GDV) cameras, analyzes the advantages of GDV devices and the features of applying this innovative technology to solve this problem

Gas discharge visualization (GDV) technology, Kirlian effect, GDV-bioelectrography method, innovative technology, ethically determined design.

Введение

Мы полностью разделяем мысль Лидера Большого Русского Мира В.В. Путина: «Без ценностей, заложенных в христианстве и других мировых религиях, без формировавшихся тысячелетиями норм морали и ответственности люди неизбежно утратят человеческое достоинство. И мы считаем естественным и правильным эти ценности отстаивать» [1]. Неожиданное подтверждение такой постановки вопроса находим в 50-том докладе Римского клуба: «Человечество движется по траектории самоубийства. Пока сильные сдерживающие правила запрета не будут приняты, это будет уменьшать кратковременные утилитарные привычки нашей нынешней экономической парадигмы... Человечеству нужно как минимум новое мышление и новая философия, **потому что старая философия роста явно неверная**» [2] и «...Глава вторая нашей книги будет посвящена философии в надежде на то, что будут найдены ключи к первичным наброскам улучшенной философской системы взглядов. Этот поиск может привести к желанию (если не необходимости) прийти к новому «Просвещению»... Европа вряд ли будет центром нового Просвещения, «Просвещения 2.0». Ему следует рассмотреть великие традиции других цивилизаций» [2]. И эта мысль также прекрасно коррелирует с мыслью Е.И. Рерих: «Судьба Запада решена, там нет будущего. Не ищите его ни в одной европейской стране, но наблюдайте идущий развал» [3].

Великое противостояние. Противостояние в мире последних веков ярко определил классик немецкой социологии Вернер Зомбарт в книге «Торгаши и герои»: «Торгаш и герой – они образуют два великих тезиса, как бы два полюса для ориентации человека на Земле. Торгаш подходит к жизни с вопросом: что ты, жизнь, можешь мне дать? Он хочет брать, хочет за счет по возможности наименьшего действия со своей стороны выменять для себя как можно больше, хочет заключить с жизнью приносящую выгоду сделку; это означает, что он беден. Герой вступает в жизнь с вопросом: жизнь, что я могу дать тебе? Он хочет дарить, хочет себя растратить, пожертвовать собой – без какого либо ответного дара; это означает, что он богат. Торгаш говорит только о «правах», герой – только о лежащем на нем долге; и даже выполнив свои обязанности, он все еще чувствует в себе склонность отдавать» [3]. Полагаем, что идет противостояние между Большим Русским Миром (настоящих героев в терминологии З.Вернера) и англо-саксонским торговым миром (торгаша в той же терминологии). Причем фронт пролегает по душам людей, а не географически.

Основная часть

Мировая междисциплинарная этическая проблема. В 2016 году Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) - Институт инженеров электротехники и электроники (это самая большая в мире международная некоммерческая ассоциация профессионалов в области техники, мировой лидер в области разработки стандартов по радиоэлектронике, электротехнике и аппаратному обеспечению вычислительных систем и сетей), параллельно с еще несколькими известными организациями (ЮНЕСКО и др.), выступили с глобальной инициативой ведения этических стандартов в области искусственного интеллекта (далее, ИИ) [4]. Важность принятых IEEE усилий определяется ее фактически ведущей ролью в сообществе ученых и инженеров в электротехнике, электронике, информационных технологиях, телекоммуникации и т.д., что обязательно окажет самое непосредственное влияние на разработчиков технологий ИИ. В результате усилий IEEE был разработан документ «Ethically Aligned Design» («Этически обусловленное проектирование») [5,6]. В документе IEEE отражены основные актуальные угрозы и риски, связанные с внедрением автономных систем на базе ИИ. Все новое (согласно диалектическому подходу) неизбежно несет как плюсы, так и минусы его внедрения в жизнь. Перед человечеством стоит проблема войти в новый технологический уклад. Но таким образом, чтобы технологии этого нового уклада

не уничтожили само человечество. Подробные аргументы приведены в работе [7], которые можно кратко резюмировать так: «Этика - это конечно, хорошо, но у нас сейчас нет на это времени и ресурсов" – вот, что обычно отвечают на обсуждение этого вопроса, однако это большая ошибка, ибо общество с неограниченной мощностью технологического прогресса без этики обречено...». Мы выслали наше аргументированное мнение для решения этой проблемы на английском языке [8], а русская версия этой книги [9] была замечена в РФ [10].

Научная проблема, требующая решения. Пока современная научная парадигма использует только понятие физического (без включения в нее метафизического и гиперфизического), она остается колоссом на глиняных ногах. Это отдельное направление исследований, пути решения которого, с нашей точки зрения, нужно искать в области технологий газоразрядной визуализации (далее - ГРВ) или эффекта Кирлиан.

Гипотезой нашего исследования является проверка возможности с помощью ГРВ-аппарата измерять разные внутренние состояния человека, которые напрямую связаны с его этическими характеристиками и склонностью к противоправным действиям.

Использование ГРВ-приборов для перспектив диагностики этических характеристик человека. На сегодня известны отработанные методики РФ для МВД, основанные на ГРВ-диагностике [11,12] для определения людей, склонных к совершению противоправных действий. Отсюда один шаг до определения этических характеристик человека и его морального портрета, который может быть использован и для других целей (например, для профессиональной ориентации и указания порога должностей, на которые он может быть принят).

Проверка гипотезы исследования состояла в том, что изменение параметров полей, замеряемых ГРВ-прибором в разных состояниях мыслительной деятельности респондента, позволяют говорить о его намерениях. Мы на ГРВ-приборе получили ряд подтверждающих этот тезис снимков. Один сделан снимок человека, мысленно совершающего преступление, а другой этот же человек находится в состоянии молитвы.

Выводы

Подтверждаем гипотезу исследования – возможность замерять этические характеристики посредством ГРВ-технологии. Полагаем, что приведенная методика ГРВ-визуализации может рассматриваться в пакете с дру-

гими методиками для решения задачи стандартизации этически обусловленного проектирования объектов электроники и электротехники. Помимо научно-технической революции человечеству настоятельно необходима духовно-нравственная, в которой ГРВ-технологии будут играть ключевую роль. Приглашаем к участию в ней ибо «без этики человечество обречено». Опасности внедрения этого направления весьма разносторонни, и это предмет отдельного обсуждения. Предлагаю вместе подумать о стратегии и тактике работы в этом направлении. Подобные будущие ГРВ-устройства целесообразно поместить на мобильный телефон, и это будет конкурентным преимуществом такого устройства (а также может служить источником финансирования таких работ). «Величайшее открытие века» - ГРВ-технологии должно поставить на благо человечества. Мы видим большие перспективы и пользу не только ДНР и всего Русского Мира, но всего человечества от внедрения этих ГРВ-технологий в практику различных научных учреждений и всех заинтересованных организаций и лиц.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Путин В.В.* Стенограмма выступления на заседании клуба «Валдай» 19.09.2013. URL: <https://rg.ru/2013/09/19/stenogramma-site.html> (дата обращения: 15.02.2017).
2. *Вайцеккер Э.У., Вийкман А.* Давай же, вперед! Капитализм, близорукость, население и разрушение планеты. Юбилейный доклад Римского клуба, написанный к его 50-летию, которое отмечается в 2018. URL: http://www.roerich.com/zip3/_rome_50_.zip (дата обращения: 15.02.2017).
3. *Зомбарт В.* Сочинения. Т.2. Торгаши и герои. URL: <https://www.twirpx.com/file/229667/> (дата обращения: 15.02.2017).
4. *Ройзензон Г.В.* Стандарты этики в искусственном интеллекте // Программная инженерия: методы и технологии разработки информационно-вычислительных систем (ПИИВС-2018): сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции, Том. 1., 14-18 ноября 2018 г. – Донецк, ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», 2018. - с. 227-236.
5. Ethics in action. The IEEE Global Initiative on Ethics of Autonomous and Intelligent System. URL: <https://ethicsinaction.ieee.org/>
6. Ethically aligned design. Vision for Prioritizing Human Well-being with Autonomous and Intelligent Systems. Version 2. – For Public Discussion. URL: <https://standards.ieee.org/content/dam/ieee->

- [standards/standards/web/documents/other/ead_v2.pdf](#) (дата обращения: 15.02.2017).
7. *Леонгард Г.* Технологии против человека. – М.: АСТ, 2018. – 349 с.
 8. Dzhura S.G. The Universe Ethic Algorithms. - Saarbruken: LAMBERT Academic Publishing, 2015. – 534 p. URL: http://www.roerich.com/iic/russian/ovs/_dzhura_eng_2015_.pdf (дата обращения: 15.02.2017).
 9. *Джура С.Г.* Этические алгоритмы мироздания. – Saarbruken: Изд. дом LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 393-405 с. URL: http://www.roerich.com/iic/russian/ovs/dzhura_book_rus_2014_.pdf (дата обращения: 15.02.2017).
 10. Диплом Всероссийского конкурса научных изданий. URL: http://roerich.com/iic/russian/ovs/_dipl_kniga_2016_.jpg (дата обращения: 15.02.2017).
 11. Метод выявления лиц, склонных к совершению противоправных действий // Коротков К.Г., Крыжановский Э.В., Филатов С.И., Филлапосьянц Ю.Р. – М.: ГУ НПО «Специальная техника и связь» МВД России, 2005. – 32 с.
 12. *Муромцев Д.И.* Автоматизированная система обработки и анализа динамических ГРВ-грамм биологических объектов. Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. – СПб: СПбГИТМО, 2003. (дата обращения: 15.02.2017).

Сергей Георгиевич Джура кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» ГОУВПО «Донецкий национальный технический – университет», ДНР, город Донецк, улица Артема 58, 340001, телефон: +38 (062) 301-08-25, email: dzhura@inbox.ru.

Виктор Иванович Чурсинов – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», ДНР, город Донецк, улица Артема 58, 340001, телефон: +38 (071) 301-09-75, email: ovs@donntu.org.

Виктория Викторовна Якимишина – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», ДНР, город Донецк, улица Артема 58, 340001, телефон: +38 (066) 014-95-48, email: dzhura@roerich.com.

Sergey Georgievich Jura – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electricity Supply of Industrial Enterprises of GOWPO Donetsk National Technical University, DPR, Donetsk City, Artema Street 58, 340001, phone: 38 (062) 301-08-25, email: dzhura@inbox.ru.

Viktor Ivanovich Chursinov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electricity Supply of Industrial Enterprises of GOWPO Donetsk National Technical University, DPR, Donetsk City, Artema Street 58, 340001, phone: 38 (071) 301-09-75, email: ovs@donntu.org.

Victoria Viktorovna Yakimishina – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electricity Supply of Industrial Enterprises of GOWPO Donetsk National Technical University, DPR, Donetsk city, Artema Street 58, 340001, phone: 38 (066) 014-95-48, email: dzhura@roerich.com.

УДК 681.5.03

Jadhavpatil Vandana L., Undre Prabhakar, Helambe Sangram

MICROWAVE DIELECTRIC CHARACTERIZATION OF METHANOL, ISOPROPYLAMINE AND THEIR MIXTURES USING PICO-SECOND TIME DOMAIN REFLECTOMETRY TECHNIQUE

Using pico-second time domain reflectometry technique in differential mode, the complex dielectric spectrum ($\epsilon^(\omega) = \epsilon' - i\epsilon''$) over a frequency range from 10 MHz to 20 GHz has been measured in the whole composition range at 15, 25, 35 and 45 °C for the binary mixtures of methanol and isopropylamine. For all the mixtures, only one dielectric loss peak was observed in this frequency range. The relaxation in these mixtures can be described by a single relaxation time using the Debye model. To evaluate various dielectric parameters, the frequency dependents ($\epsilon^*(\omega) = \epsilon' - i\epsilon''$) data, viz., static permittivity ϵ_0 , relaxation time τ , and permittivity at high frequency ϵ_∞ were fitted by the nonlinear least-squares fit method to Debye expression. Temperature dependent ϵ_0 , τ , Kirkwood correlation factor g , free energy of activation ΔG , and enthalpy of activation ΔH have been determined and discussed in terms of the effect of $-NH_2$, $-OH$ and $-CH_3$ side-group on molecular dynamics and intermolecular hydrogen bonds.*

Pico-second Time Domain Reflectometry, Complex dielectric spectrum, Dielectric relaxation, Excess parameters, Thermodynamic parameters

Introduction

Microwave energy has been directly applied in many fields, especially in scientific research such as communication, microwave-assisted chemistry and in food industry [1, 2]. A successful application of microwaves is directly associated with the dielectric properties of the materials. An accurate measurement and working knowledge of these properties are key factors in better understanding the interaction of microwaves with the materials. Dielectric relaxation spectroscopy, for instance, is a powerful tool for examining the underlying physics of solvent systems and for exploring the molecular dynamics of liquids, which is characterized by inter- and intra-molecular structures that vary rapidly with time.

Studies on the relaxation properties of the mixture of solvents have provided some interesting insights into the volumes implicated by the Debye expression and the nature of the mixing process. If the solvents are chemically similar and mix well at the molecular level, then the mixture will often exhibit a single relaxation time at an average position, which reflects the molar ratios of two components. However, if the solvents do not mix well at the molecular level, then two distinct relaxation times are observed and they do not differ greatly from those of pure solvents. The knowledge of frequency dependent dielectric properties of solvent systems is important both in fundamental studies of solvent structure and dynamics and in practical application of microwave heating processes [1]. At a fundamental level, the frequency dependent dielectric behaviour of solvent mixtures provides information on molecular interactions and mechanism of molecular processes. The dielectric relaxation behaviour of mixtures of polar molecules under varying conditions of compositions is very important as it helps in obtaining information about relaxation processes in mixtures.

The dielectric dispersion ϵ' and dielectric loss ϵ'' of methanol, Isopropylamine and their binary mixture of methanol –isopropylamine were measured by employing the pico-second time domain reflectometry technique in differential mode over a frequency range from 10 MHz to 20 GHz at 15°C, 25°C, 35°C and 45°C. The accuracy in the measurement of the ϵ' and ϵ'' values obtained from this technique is within $\pm 5\%$. To evaluate various dielectric parameters, the frequency dependents complex permittivity ($\epsilon^*(\omega) = \epsilon' - i\epsilon''$) data, viz., static permittivity ϵ_0 , relaxation time τ , and permittivity at high frequency ϵ_∞ were fitted by the nonlinear least-squares fit method to Debye expression. Temperature dependent ϵ_0 , τ , Kirkwood correlation factor g , free energy of activation ΔG , and enthalpy of activation ΔH have been determined and discussed in terms of the effect of $-\text{NH}_2$, $-\text{OH}$ and $-\text{CH}_3$ side-group on molecular dynamics and intermolecular hydrogen bonds.

Recently [3-27], we have investigated the effect of H-bonding on the dielectric properties of the various mixtures of the associating-associating and associating – non-associating liquids over the entire concentration range.

It is appropriate to report the recent work on the dielectric behaviour of methanol (ME) and isopropylamine (IPA) molecules, and also their conformations, because the dielectric behaviour and molecular dynamics of the ME-IPA system can be explored more clearly only by comparing the dielectric data of the mixture system with the dielectric data of the individual molecular and their dynamics.

Experimental

Chemicals

The analytical grade methanol and isopropylamine are obtained commercially from Qualigens Fine Chemicals Ottokem Mumbai, India have been used without further purification. The purity of their product is above 99%. The solutions were prepared at different volume percentages of ME in IPA in the step of 10% at room temperature. The concentrations were prepared for 5ml solution at room temperature assuming ideal mixing behavior, within 0.02% error limit.

TDR setup and data acquisition

The Hewlett Packard HP54750A sampling oscilloscope with HP54754A TDR plug in module has been used. After observing TDR response for sample under study, the time window was kept to 5 ns. By observing TDR response for sample under study, the SMA sample cell with 1.35mm effective pin length has been used. The sample cell holds the liquid under consideration. The physical dimensions of the cell are very important, so one must be careful while designing the sample cell. The impedance of the cell should be matched with coaxial transmission line to which cell is connected. If there is impedance mismatch then unwanted reflections may disturb the wave thereby causing some errors in the measurements. The proper design of cell includes the inner conductor and outer conductor diameters. The length of the inner conductor is called as ‘pin length’ of the cell and is very important factor in analysis. The sample length must be enough to avoid unwanted reflections.

In total reflection method, the sample length must be long enough to produce an adequate difference signal but short enough to keep less complication of resonance effects at frequencies above the range of interest.

The characteristics impedance of a coaxial line is given by

$$Z = \frac{138.2}{\sqrt{\epsilon}} \text{Log}_{10} \left[\frac{b}{a} \right] \quad (1)$$

This impedance for our transmission line is frequently 50 Ω. Here ‘a’ is the diameter of inner conductor and ‘b’ is the inner diameter of outer conductor. The ε is the relative permittivity of the dielectric between the conductors. Using Teflon and air, and taking appropriate ‘a’, ‘b’ a cell can be designed to have a matching impedance of Z = 50 Ω (for air ε = 1 and for Teflon, ε = 2.2). The sample cell consists of standard military applications (SMA) coaxial connector with matched impedance with 3.5 mm inner diameter of outer conductor. The inner conductor of SMA connector itself is considered as ‘inner conductor’ and hex-nut is treated as an outer conductor. Since these SMA connectors have already been designed for precise 50 Ω impedance, a special design, when used with high frequency, is not required. The physical length of inner conductor can be changed.

When cell is filled with sample above the physical length of inner conductor the fringing effect takes place [28, 29]. Due to the fringing field the effective pin length will not be equal to physical pin length [30]. The effective electrical pin length will be more than the physical pin length. The accurate determination of effective pin length ‘d’ is very important for the accurate evaluation of dielectric parameters. It is found that for SMA type cell effective pin length is greater than actual physical length by 0.1-0.2 mm [31].

To reduce noise, time dependent response curve was averaged for 64 times and then was stored in TDR oscilloscope memory with 1024 points per waveform. First, the response waveform for empty cell is acquired and stored in memory and then secondly, the response waveform for sample is acquired and stored in other memory. The empty cell waveform is used as reference waveform. Both the response waveforms are the reflected waveforms from the sample cell with open termination transmission line.

The data acquisition is carried out for 11 concentrations at 15, 25, 35 and 45°C. The temperature of sample was maintained at desired value, within accuracy limit of 1°C, by circulating constant temperature water through heat insulating jacket surrounding sample cell.

At each time the response waveforms without sample and with sample were recorded. The time dependent response waveform without sample is referred as R₁(t) and with sample referred as R_x(t) (Figure 1).

Data analysis

The time dependent data were processed to obtain complex reflection coefficient spectra ρ*(ω) over the frequency range from 10 MHz to 10 GHz using Fourier transformation as [32, 33]

$$\rho^*(\omega) = \left(\frac{c}{j\omega d}\right) \left[\frac{p(\omega)}{q(\omega)}\right] \quad (2)$$

where p(ω) and q(ω) are Fourier transformations of (R₁(t) – R_x(t)) and (R₁(t) + R_x(t)), respectively (Figure 2), c is the velocity of light, ω is angular frequency, d is effective pin length and j = √-1.

± The complex permittivity spectra ε*(ω) were obtained from reflection coefficient spectra ρ*(ω) by applying bilinear calibration method [30, 34].

The complex permittivity spectra measured using TDR are fitted by the non-linear least square fit method to the Havriliak Negami expression to obtain various dielectric parameters [35].

$$\varepsilon^*(\omega) = \varepsilon_{\infty} + \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_{\infty}}{[1+(j\omega\tau)^{(1-\alpha)}]^{\beta}} \quad (3)$$

where $\varepsilon^*(\omega)$ is the complex permittivity at an angular frequency ω , ε_{∞} is the permittivity at high frequency, ε_0 is the static permittivity, τ is the relaxation time of the system, α is the shape parameter representing symmetrical distribution of relaxation time and β is the shape parameter of an asymmetric relaxation curve. Equation (3) includes Cole-Cole ($\beta = 1$), Davidson-Cole ($\alpha = 0$) and Debye ($\alpha = 0$, $\beta = 1$) relaxation models [36, 37, 38].

Results and Discussions

Measurements of the complex permittivity i.e. dielectric dispersion (ε') and absorption (ε'') were carried out over a frequency range 10MHz – 20GHz by employing the TDR at different four temperatures. The maximum errors in the evaluated values of ε' and ε'' are ± 2 and $\pm 3\%$, respectively. Frequency dependent of ε' and ε'' curves for ME, IPA and ME-IPA mixtures volume percentage of ME at 25°C are depicted in figure 3 and figure 4, respectively.

Both ε' (Figure 3) and ε'' (Figure 4), increase with increasing volume percentage of methanol (ME) in the binary mixture ME-IPA at the low-frequency end and decrease at the high-frequency end. The frequency at which the loss factor is a maximum, f_{\max} ($\tau = 1/(2\pi f_{\max})$) shifts to lower values with increasing the volume percentage of methanol in the mixture, corresponding to their individual relaxation times, because the individual molecular values are sufficiently different (i. e. 54 ps and 9.50 ps) to allow their resolution in practice. However, in a mixture of two associated liquids it seems that the individual principal relaxation processes of the components coalesce, and hence the mixture exhibits a single relaxation time. It has been found that the complex dielectric data of pure ME, IPA and ME-IPA systems obey the Debye dispersion model faithfully.

The dielectric loss peaks for these molecules and their mixtures are found in the frequency range from approximately 2.8 to 9.8 GHz. From figure 4 it is observed that the relaxation time is shorter for IPA compared with ME, which can be ascribed to the fact that ME is an associated liquid while IPA is an aprotic one. On the other hand, the temperature dependence of the dielectric constant (Figure 5) and of the relaxation time (figure 6) is stronger in ME compared with IPA, as a consequence of the reported differences between the two liquids. Moreover, the dielectric strength of the relaxation is higher in ME compared with IPA, which indicates that the relaxing dipole moment is higher in ME.

The values of dielectric parameters such as dielectric constant (ε_0) and relaxation time (τ) obtained from fitting into the Eq. (3) for ME, IPA and ME-IPA mixtures with volume percentage of IPA are represented in Figure 5 and Figure 6, respectively.

Figure 6 shows that the relaxation time increases with increasing volume percentage of ME. Moreover, Figure 6 indicates that the dielectric strength of the relaxation is higher for the mixture around 80 volume percentage of ME. As ME is added to IPA, the H-bonded network of ME is progressively destroyed. The experimental results seem to be compatible with such a scenario, and the mixture around 80 volume percentage of ME is probably that where the concentration of the ME/IPA is higher. Such a relaxation would involve the cooperative motion of a number of monomer units. A Debye-type relaxation corresponds to a single, non-distributed mobility, to an individual mode of motion, characterized by a single relaxation time. In non H-bonded liquids like acetone or methyl cyanide the observed relaxations are also Debye-type. Debye type relaxation in these molecules and their mixtures reflect the behaviour of clusters of molecules as large species. Further, the Debye process in case of pure polar liquids also suggests the cooperative process involving the relaxation of the structure. Furthermore, it seems that in the mixture of these associating liquids, the individual principal relaxation processes of the components coalesce, and hence the mixture exhibits a single relaxation time.

From figure 5, it is found that dielectric constant values systematically increase with increase in ME in ME-IPA. Increase in ϵ_0 with increase in percentage of ME indicates the increase in effective dipole moment (increased polarization) of the system. In general, ideal binary mixtures in the absence of hetero-molecular H-bond interactions follow the linear behaviour of ϵ_0 values with one of mixture constituent volume-fraction concentration. The non-linear dielectric behaviour of ME-IPA mixed solvent (Fig.5), confirms the formation of H-bond molecular complexes in the mixture over the entire concentration range. The IPA forms H-bond complexes through its -NH with ME, whereas the ability of ME molecules to act as acceptors of hydrogen bonds promotes the ME-IPA complexations.

From figure 6, it is observed that the relaxation time values gradually decrease with increase in volume percentage of ME in ME-IPA. With increase in temperature, the τ values are decreased by maintaining same type of variation with change in concentration. In ME rich region the τ values are so much sensitive with change in temperature. In case of ME molecules, the observed relaxation time ($\tau = 60$ ps at 15°C) is very large which suggests that primary relaxation of the ME molecules is due to a co-operative process of multimers (i.e. clusters of ME molecules) with (O-H \cdots O) linkage. The evaluated value of Kirkwood correlation factor $g = 1.539$ also confirms the formation of multimers in ME molecules.

The excess parameters related to ϵ_0 and τ provide valuable information regarding interaction between the (solute-solvent) polar-polar liquid mixtures [39]. These properties are also useful for detection of the cooperative domain in the mixture and may evidence for formation of multimers in the mixture due to intermolecular interaction. The excess permittivity is defined as [40]

$$\epsilon^E = (\epsilon_0 - \epsilon_\infty)_m - [(\epsilon_0 - \epsilon_\infty)_A X_A + (\epsilon_0 - \epsilon_\infty)_B X_B] \quad (4)$$

where x-mole fraction and suffices m, A, B represents mixture, liquid A and B respectively.

The excess permittivity provides qualitative information about structure formation in the mixture as follows:

- (i) $\varepsilon^E = 0$: indicates that the solute and solvent do not interact at all.
- (ii) $\varepsilon^E < 0$: indicates that the solute and solvent interaction act so as to reduce total effective dipoles. This suggests that the solute-solvent mixture may form multimers leading to the less effective dipoles.
- (iii) $\varepsilon^E > 0$: indicates that the solute and solvent interact in such a way that the effective dipole moment increases. There is formation of monomers and dimers.

The excess inverse relaxation time is defined as,

$$(1/\tau)^E = (1/\tau)_m - [(1/\tau)_A x_A + (1/\tau)_B x_B] \quad (5)$$

where $(1/\tau)^E$ is excess inverse relaxation time, which represents average broadening of dielectric spectra. The inverse relaxation time analogy is taken from spectral line broadening (which is the inverse of relaxation time) from the resonant spectroscopy. The information regarding the dynamics of solute solvent interaction from this excess property is as follows.

- i) $(1/\tau)^E = 0$: There is no change in the dynamics of solute solvent interaction, i.e. the dynamics of ME and a IPA molecule is similar to their dynamics in homogeneous medium.
- ii) $(1/\tau)^E < 0$: The solute-solvent interaction produces a field such that the effective dipoles rotate slowly as the strength of the heterogeneous H-bond increases.
- iii) $(1/\tau)^E > 0$: The solute-solvent interaction produces a field such that the effective dipoles rotate rapidly i.e. the field will co-operate in rotation of dipoles.

The variation of excess permittivity (ε^E) and excess inverse relaxation time $(1/\tau)^E$ with mole fraction of ME in ME-IPA mixture at all temperatures are presented in Figure 7 and Figure 8, respectively.

The non-zero ε^E values over the entire concentration range of these mixtures (Figure 7) is the experimental evidence of the formation H-bonding complexes and the strength of H- bond connectivity among the unlike molecules in these mixed solvents, which is confirmed earlier [11,19,21-23] in various kind of liquid mixtures. The negative values of ε^E suggest that the IPA molecules are apt to coalesce into the ME, which breaks the structure of ME and thus results in decrease of effective number of dipoles contributed in the mixture dielectric polarization. The stoichiometric ratios for complex moiety formation in polar liquid mixtures are determined from the concentration of largest deviation of ε^E , negative from ideality.

From figure.8, it is found that the excess inverse relaxation time $(1/\tau)^E$ are negative for all concentrations and temperatures. The negative peak value is observed at around 0.6 mole fraction of ME in ME-IPA mixture. The negative values of $(1/\tau)^E$, indicates the formation of linear structures, probably, dimeric, and these rotate slowly under the influence of an external varying field.

The Kirkwood correlation factor g is a measure for preferential local ordering of molecular dipole moments and thus a hint at the formation of self –aggregates [41]. For perfectly random dipole orientation, there is $g = 1$.

The g for pure liquid can be obtained by the expression

$$\frac{4\pi N\mu^2\rho}{9kTM} g = \frac{(\epsilon_0 - \epsilon_\infty)(2\epsilon_0 + \epsilon_\infty)}{\epsilon_0(\epsilon_\infty + 2)^2} \quad (6)$$

where μ is the dipole moment in gas phase, ρ is density at temperature T , M is molecular weight, k is Boltzman constant, N is Avogadro's number.

The effective angular correlation (g^{eff}) between molecules is calculated using modified form of equation (4) [42]. g^{eff} has been used to study the orientation of electric dipoles in binary mixtures. The Kirkwood equation for the mixture may be expressed as [42, 43]:

$$\frac{4\pi N}{9kT} \left(\frac{\mu^2_{A\rho_A}}{M_A} \Phi_A + \frac{\mu^2_{B\rho_B}}{M_B} \Phi_B \right) g^{\text{eff}} = \frac{(\epsilon_{0m} - \epsilon_{\infty m})(\epsilon_{0m} + \epsilon_{\infty m})}{\epsilon_{0m}(\epsilon_{\infty m} + 2)^2} \quad (5)$$

where g^{eff} is the effective Kirkwood correlation factor for a binary mixture, and Φ_A , Φ_B are volume fraction of liquid A.

The g^{eff} values for ME, IPA and ME-IPA are greater than unity at all temperatures (Table 1) is a preferentially parallel orientation of molecular dipoles is likely to occur; again indicating the formation of self-aggregates probably due to the formation of intermolecular hydrogen bonds.

The kinetic parameters that characterize the molecular mobility in those systems were evaluated using the Eyring formula [44, 45].

Figure 9 shows Gibbs energy of activation (ΔG) of the ME-IPA mixtures as a function of solution composition at different temperatures. It is observed that the (ΔG) values of ME (3.38 to 3.49 kJ/K.mol) higher than those of IPA (2.41 to 2.32 kJ/K.mol) over the temperature range of 15 - 45°C. Despite the distinctly difference in (ΔG) values of ME and IPA and the presence of hydrogen bonding between ME and IPA molecules, there is a gradual increase in (ΔG) with increase in volume fraction of IPA, which suggests that the ME and IPA molecules in the mixture react to the external field in a strongly cooperative way rather than individually over the temperature range of **15 - 45°C**. It also suggests that there is more hindrance to the rotation of the ME and IPA molecule clusters in ME-IPA in comparison with the rotation of their homogeneous clusters. This also supports the conclusions drawn from the negative values of the excess inverse relaxation time.

The values of molar enthalpy of activation (ΔH) in **kJ/(K.mol)** are obtained from Eyring's rate equation for ME, IPA and ME-IPA binary mixtures. The plot of change in enthalpy of activation (ΔH) with variation in volume fraction of ME in ME-IPA mixtures is shown in figure 10. From this figure it is clear that the (ΔH), has got low value at 50% volume percentage of ME, which indicates that less energy is required to achieve group dipole reorientation at this composition. The large value of ΔH is observed at IPA rich region, indicates strong hydrogen bonding in this solution mixture.

Conclusion:

Complex dielectric spectrum ($\epsilon^*(\omega) = \epsilon' - i\epsilon''$) over a frequency range from 10 MHz to 20 GHz has been measured in the whole composition range at 15, 25, 35 and 45°C for the binary mixtures of methanol and isopropylamine using picosecond Time domain Reflectometry technique. Both ϵ' and ϵ'' , increase with increasing volume percentage of ME in the ME-IPA at the low-frequency end and decrease at the high-frequency end. Only one dielectric loss peak was observed in this frequency range. The dielectric loss peaks for these molecules and their mixtures are found in the frequency range from approximately 2.8 to 9.8 GHz. The dielectric relaxation study of binary mixtures of ME and IPA confirms the formation of heteromolecular H bond interactions over the entire concentration range. Both excess permittivity and excess inverse relaxation time values are negative for all concentration and temperature indicating the solute-solvent interaction hinders the rotation of the dipoles of the system. The studied systems show Arrhenius behavior. The Gibbs energy of activation is dependent of the temperature for all concentrations in the temperature range 15-45°C.

Captions to Tables

Table 1: The value of Kirkwood correlation factor g^{eff} for ME-IPA binary mixture at various temperatures

Volume fraction of ME in IPA	g^{eff}			
	15°C	25°C	35°C	45°C
0	1.301	1.307	1.309	1.299
0.1	1.431	1.437	1.465	1.405
0.2	1.635	1.69	1.74	1.639
0.3	1.751	1.742	1.978	1.772
0.4	1.788	1.836	1.803	1.844
0.5	1.748	1.755	1.759	1.772
0.6	1.73	1.734	1.728	1.688
0.7	1.645	1.648	1.653	1.615
0.8	1.588	1.562	1.569	1.516
0.9	1.57	1.533	1.512	1.445
1	1.593	1.599	1.5	1.444

Captions to figures

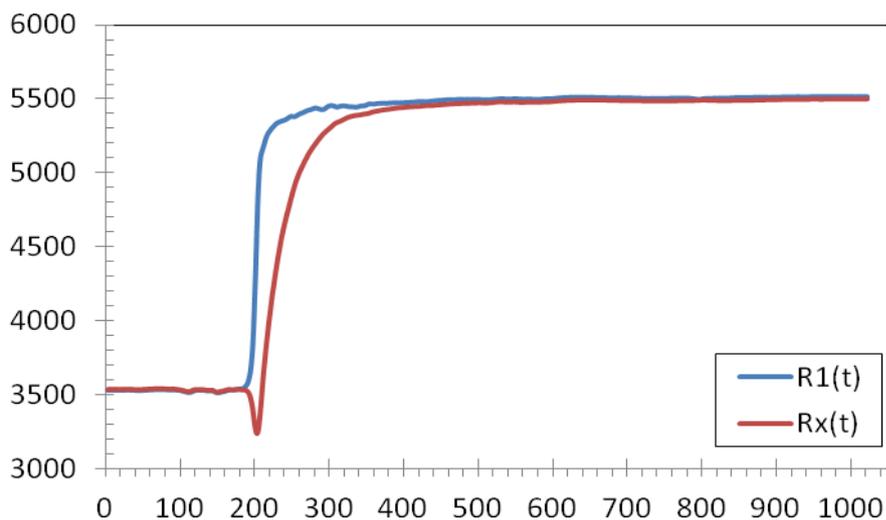


Figure 1. Time dependent response waveform without sample is referred as $R_1(t)$ and with sample referred as $R_x(t)$ for equi-molar concentrations at 15°C (Figure 1).

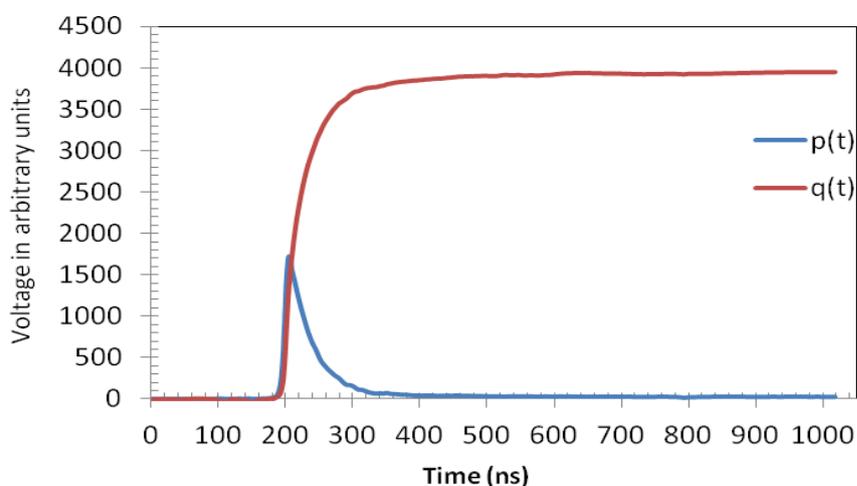


Figure 2: $p(\omega)$ and $q(\omega)$ are Fourier transformations of $(R_1(t) - R_x(t))$ and $(R_1(t) + R_x(t))$.

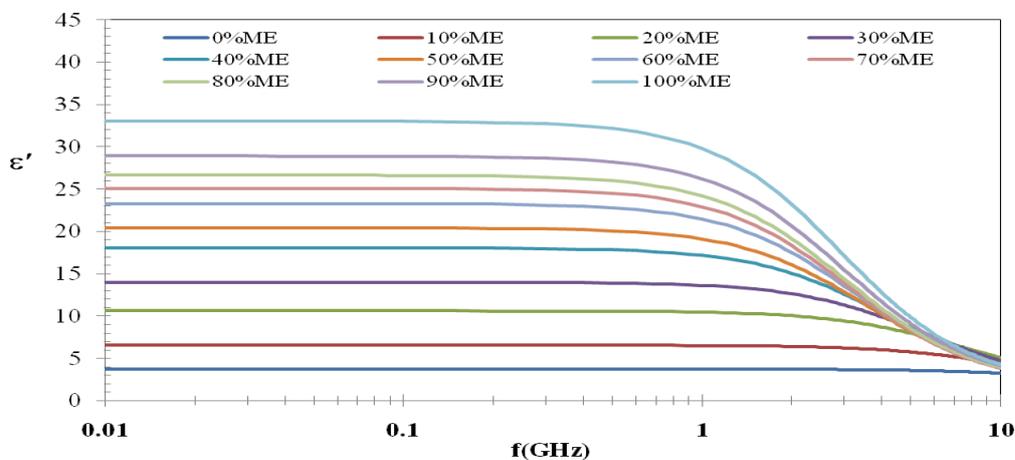


Figure 3: Frequency dependent dielectric constant (dispersion- ϵ') curves for ME, IPA and their mixtures at 25°C .

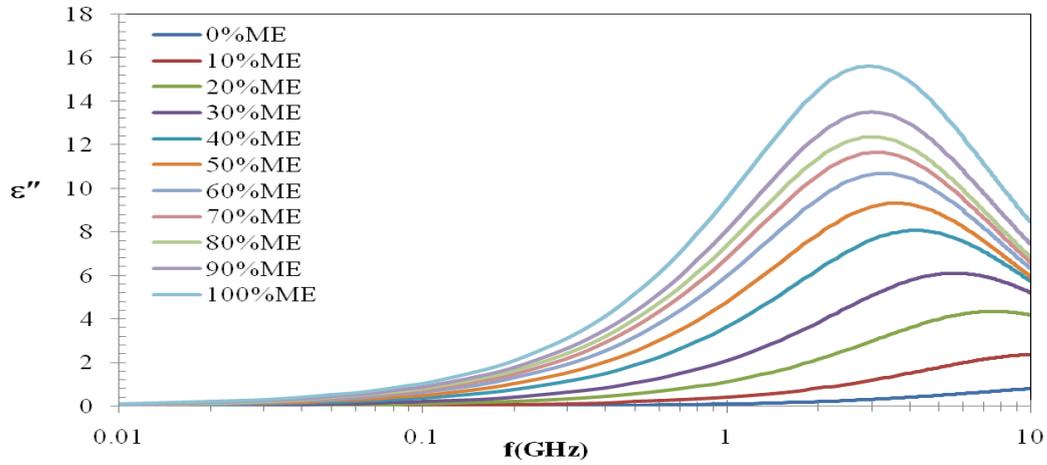


Figure 4. Frequency dependent dielectric loss (absorption- ϵ'') curves for ME, IPA and their mixtures at 25°C.

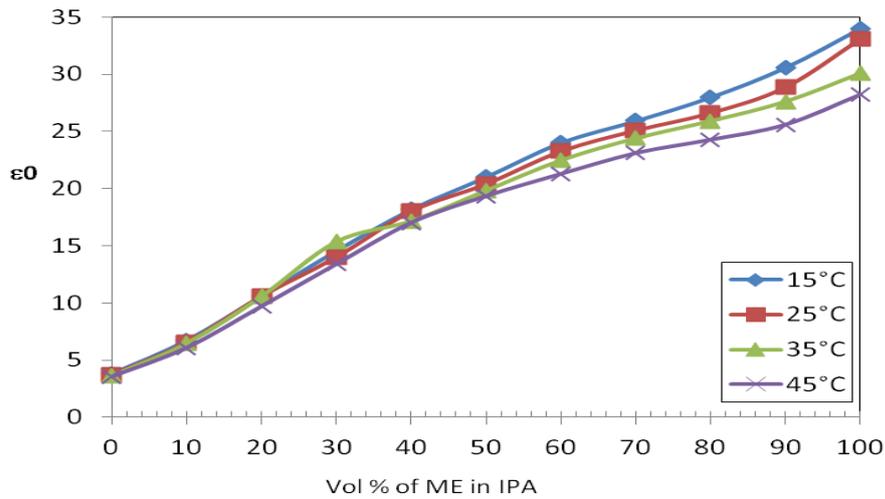


Figure 5. Variation of dielectric constant with volume percentage of ME in IPA at various temperatures

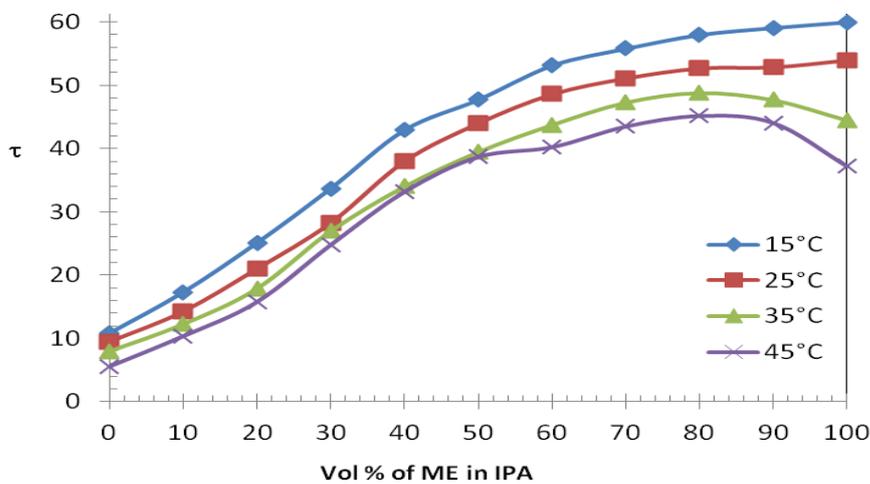


Figure 6. Variation of relaxation time with volume percentage of ME in IPA at various temperatures

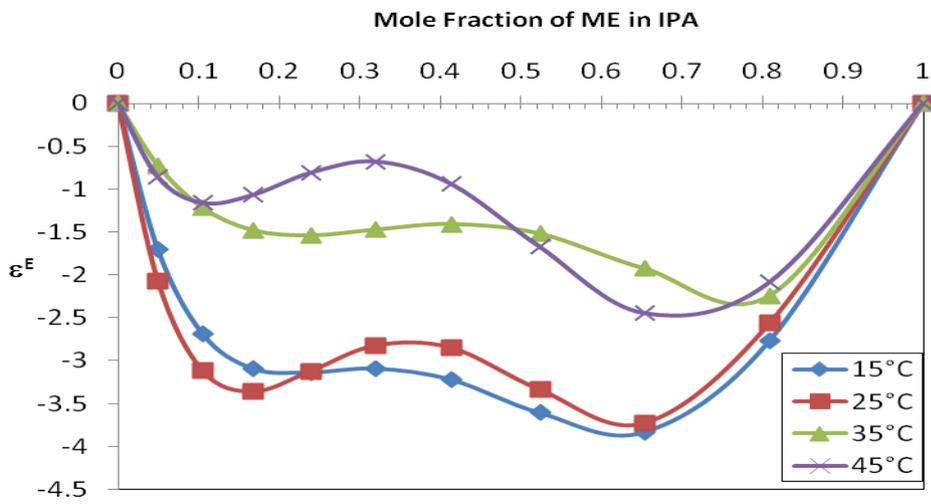


Figure 7. Variation of excess permittivity with mole fraction of ME in IPA at various temperatures

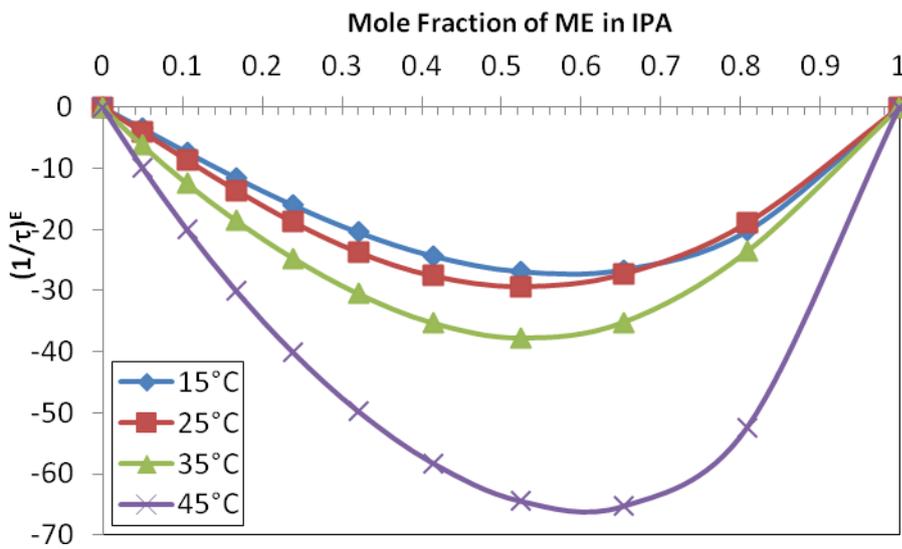


Figure 8. Variation of excess inverse relaxation time with mole fraction of ME in IPA at various temperatures

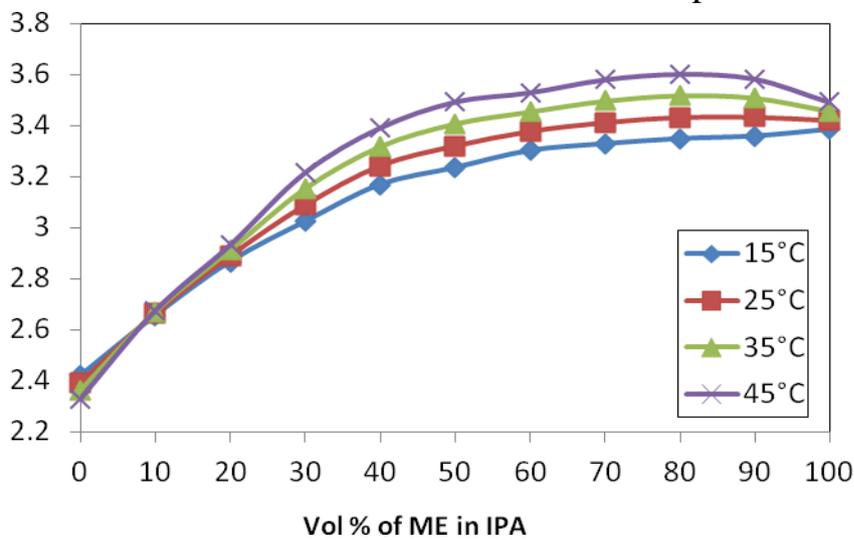


Figure 9. Variation of Gibbs energy of activation for ME-IPA binary mixture

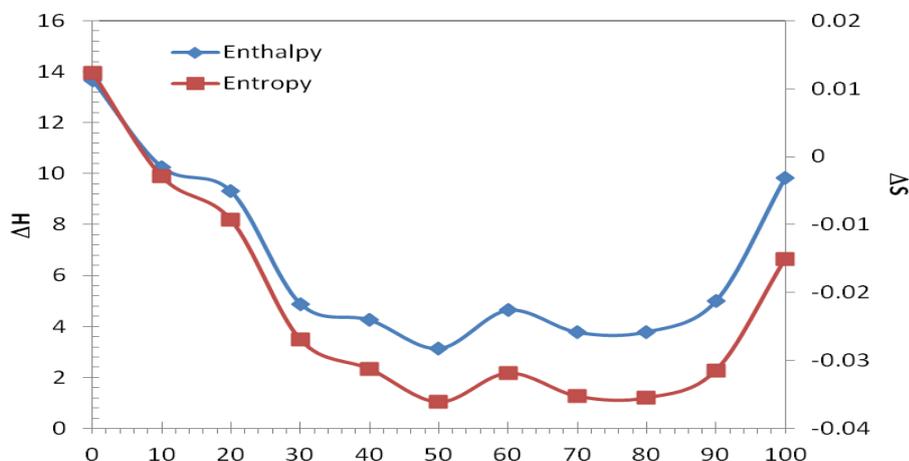


Figure 10. Variation of Enthalpy of activation for ME-IPA binary mixture

References

1. W. Kuang, and S.O. Nelson, *J. Microw. Power Electromagn. Energ.* **32**, 114 (1997).
2. C. Gabriel, S. Gabriel, E.H. Grant, B.S.J. Halstead, and D.M.P. Mingos, *Chem. Soc. Rev.* **27**, 213 (1998).
3. V.L. Jadhavpatil, PB Undre, SN Helambe, *Int J Pharm Bio Sci* 4 (2), 761-769 (2013).
4. V.L. Jadhavpatil, PB Undre, SN Helambe, *Integrated Ferroelectrics* 185 (1), 1-10 (2017).
5. Lone B G, Undre P B, Patil S S, Khirade P W, Mehrotra S C, *J Mol Liq*, 141 (2008) 47.
6. Undre P B, Helambe S N, Jagdale S B, Khirade P W, Mehrotra S C, *J Mol Liq*, 137 (2008) 147.
7. Undre P B, Helambe S N, Jagdale S B, Khirade P W, Mehrotra S C, *Pramana*, 68 (2007) 851.
8. Dharmalingam K, Ramachandran K, Sivagurunathan P, Undre P B, Khirade P W, Mehrotra S C, *Mol Phys*, 104 (2006) 2835.
9. Sivagurunathan P, Dharmalingam K, Ramachandran K, Undre P B, Khirade P W, Mehrotra S C, *Physica B*, 387 (2007) 203.
10. Ramachandran K, Dharmalingam K, Sivagurunathan P, Undre P B, Khirade P W, Mehrotra S C, *Main Group Chem.* 8 (2009) 61.
11. Undre P B, Helambe S N, Jagdale S B, Khirade P W, Mehrotra S C, *Lithu J Phys*, 51(2) (2011)147.
12. Undre P B, Khirade P W, Rajenimbalkar V S, Helambe S N, Mehrotra S C, *J Kor Chem Soc*, 56 (2012) 416.
13. Ramachandran K, Dharmalingam K, Undre P B, Khirade P W, Mehrotra S C, *J Appl Polym Sci*, 107 (2008) 2312.
14. Ramachandran K, Dharmalingam K, Undre P B, Khirade P W, Mehrotra S C, *Main Group Chem*, 4 (2005) 235.
15. Sivagurunathan P, Dharmalingam K, Undre P B, Khirade P W, Mehrotra S C, *J Mol Liqs*, 133 (2007) 139.

16. Sivagurunathan P, Dharmalingam K, , Undre P B, Khirade P W, Mehrotra S C, *Phil Magaz Lett*, 86 (2006) 291.
17. Dharmalingam K, Ramachandran K, Undre P B, Khirade P W, Mehrotra S C, *Bull Kor Chem Soc*, 27 (2006) 2040.
18. Dharmalingam K, Ramachandran K, Undre P B, Khirade P W, Mehrotra S C, *Chem Pap*, 61 (2007) 300.
19. Undre P B, Khirade P W, Rajenimbalkar V S, Helambe S N, Mehrotra S C, *J Kor Chem Soc*, 50 (5) (2012) 637.
20. Dharmalingam K, Ramachandrn K, Undre P B, Khirade P W, Mehrotra S C, *Tamk J Sci Engg*, 12 (2) (2009) 123.
21. Ravi G, Undre P B, Ramachandran K, Samuvel K, *Sou Afri J Chem Engg*, 24 (2017) 71.
22. Undre P B, Patil S S and Khirade P W, *Main Group Chem*, 12 (2013) 361.
23. Sayyad S B, Undre P B, Yannwar P, Patil S S, Khirade P W, Mehrotra S C, *Lithu J Phys*, 51(1) (2011) 29.
24. Undre P B and Khirade P W, *Lithu J Phys*, 51(4) (2011) 313.
25. Kalaivani T, Undre P, Sabesan R and Krishnan S, *Main Group Chem*, 8(2) (2009) 125.
26. Kalaivani T, Undre P, Sabesan R and Krishnan S, *Mat Sci*, 5(2) (2009) 153.
27. Kalaivani T, Undre P, Sabesan R and Krishnan S, *J Mol Liqs*, 172 (2012) 76.
28. Vangermert, M .J .C. *Adv. Mol. Relax. Proc.* **1974**, 6, 123.
29. Bertolini, D.; Cassettari, M.; Salvetti, S.; Tombari, E.; Veronesis, S. *Rev. Sci. Instru.* **1990**, 61, 12.
30. Mashimo, S.; Kuwabara, S.; Yogihara, S.; Higasi, K. *J. Chem. Phys.* **1989**, 90, 3292.
31. Berberian, J. G.; King, E. *J. Non-Cryst. Soli.* **2002**, 305, 10.
32. Shannon, C. E. *Proc. IRE* **1949**, 37, 10.
33. Samulan, H. A. *Proc. IRE* **1951**, 39, 175.
34. Cole, R. H.; Berbarian, J. G.; Mashimo, S.; Chryssikos, G.; Burns, A.; Tombari, E. *J. Appl. Phys.* **1989**, 66, 793.
35. Havriliak, S.; Negami, S. *J. Polm. Sci.* **1966**, C14, 99.
36. Cole, K. S.; Cole, R. H. *J. Chem. Phys.* **1941**, 9, 341.
37. Davidson, D. W.; Cole, R. H. *J. Chem. Phys.* **1950**, 18, 1484.
38. Debye, P. *Polar Molecules*; Chem. Catalog. Co.: New York, 1929.
39. Tabellout, M.; Lancelour, P.; Emery, J. R. *J. Chem. Soc. Farad. Trans.* **1990**, 86, 1493.
40. Hasted, J. B. *Aqueous Dielectrics*; Chapman Hall: London, 1973.
41. G. Oster and J.G. Kirkwood, *J. Chem. Phys.* 11, 175 (1943).
42. MouMouzlas, G.; Panpoulos, D. K.; Ritzoulis, G. *J. Chem. Engg. Data* **1991**, 36, 20.
43. Barthel, J.; Buchner, R.; Wurm, B. *J. Mol. Liq.* **2002**, 98, 51.
44. Hill, N. E.; Vaughan, W. E.; Price, A. H.; Davies, M. *Dielectric Properties and Molecular Behaviour*; Reinhold: London, 1969.
45. Glastone, S.; Laidler, K. J.; Eyring, H. *Theory of rate process*; McGraw Hill Book Co.: New York, 1941; 548.

Jadhavpatil Vandana L.,

Helambe Sangram

Microwave Research Lab, Department of Physics, Deogiri College, Aurangabad.

Undre Prabhakar

Microwave Research Lab, Department of Physics, Dr. B. A. M. University,
Aurangabad - 431004. (M.S.) India.

E-mail: - Van_desh@yahoo.com

УДК 666.655

Мараховский Михаил Алексеевич, Панич Анатолий Евгеньевич, Мараховский
Владимир Алексеевич

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КЕРАМИК С ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТЬЮ

Цель работы заключалась в исследовании влияния технологических факторов на функциональные параметры сегнетожесткого пьезокерамического материала ПКР-8. Задача исследования состояла в установление взаимосвязностей между технологией и режимами изготовления широко известного сегнетожесткого пьезокерамического материала ПКР-8 и его функциональными параметрами.

Использование современного технологического оборудования для спекания пьезоэлектрической керамики позволило не только повысить значения основных параметров (плотности и пьезоэлектрического модуля), но и снизить температуру спекания пьезоэлектрической керамики на 250°C, что сокращает энергозатраты при изготовлении конечных изделий и расширяет область применения пьезокерамического материала ПКР-8.

***Ключевые слова:** пьезокерамический материал, технологический фактор, метод спекания, горячее прессование, искровое плазменное спекание.*

Marakhovskiy M.A., Panich A.E., Marakhovskiy V.A.

RESEARCH ALTERNATIVE WAYS OF INCREASING THE EFFECTIVENESS OF FUNCTIONAL CERAMICS WITH HIGH DENSITY

The aim of the work was to study the influence of technological factors on the functional parameters of ferroelectric piezoceramic material PCR-8. The objective of the study was to establish the relationship between the technology and modes of manufacture of the well-known ferroelectric piezoceramic material PCR-8 and its functional parameters.

The Use of modern technological equipment for sintering piezoelectric ceramics allowed not only to increase the values of the main parameters (density and piezoelectric module), but also to reduce the sintering temperature of piezoelectric ceramics by 250°C, which reduces energy consumption in the manufacture of final products and expands the scope of piezoceramic PCR-8.

Key words: *piezoceramic material, technological factor, method of sintering, hot pressing, spark plasma sintering.*

Введение

В настоящее время в пьезоэлектрическом приборостроении большой практический интерес вызывают сегнетожесткие материалы, предназначенные для работы в силовых режимах. Сегнетожесткие материалы устойчивы к внешним воздействиям и обладают высокой температурной стабильностью параметров, что позволяет применять их в различных устройствах, в том числе предназначенных для экстремальных условий (акселерометры, пьезодвигатели, пьезотрансформаторы источников питания бортовой аппаратуры и др.) [1]. На сегодняшний день созданы пьезокерамические материалы различных составов (PZT-8, APC-840, APC-841, ПКР-8 [2]). Однако повышение функциональных параметров сегнетожестких материалов может быть достигнуто не только созданием новых химических композиций, но и путем совершенствования технологии изготовления пьезокерамики и оптимизации технологических факторов. Таким образом, актуальным является исследование влияния технологических факторов на функциональные параметры сегнетожестких пьезокерамических материалов. Целью работы стало установление взаимосвязностей между технологией и режимами изготовления широко известного сегнетожесткого пьезокерамического материала ПКР-8 и его функциональными параметрами.

Важнейшими стадиями технологии изготовления керамических изделий из порошков пьезоматериалов является формование и спекание. В процессе формования и спекания формируются геометрические и механические свойства будущей керамики, такие как: плотность; прочность; твёрдость; происходит образование керамического каркаса. Поскольку пьезоэффект – явление электромеханическое, то механические и электрофизические свойства неразрывно связаны друг с другом. Следовательно, на стадиях формовки и спекания возможна корректировка будущих электрофизических параметров керамики [3]. Существуют методы, объединяющие стадии формовки и спекания в одно общее название – «горячее прессование». Метод горячего прессования позволяет получать керамические заготовки повышенной плотности (на 2 – 4%) при пониженных (на 30 – 50°C) температурах спекания [4]. В последнее время интенсивно развивается метод искрового плазменного спекания (ИПС), представляющий собой сильно модифицированный метод горячего прессования применяемый для получения технических керамик и изделий порошковой металлургии. В методе ИПС в процессе нагрева порошка используется пульсирующий электрический ток, способствующий образованию плазмы между его частицами, тем самым ускоряя процесс спекания и замедляя рост частиц [5, 6]. Кроме того, метод ИПС понижает температуру процесса спекания на 200 – 300°C относительно температур спекания по обычной керамической технологии. Однако, данных о спекании пьезокерамических материалов системы цирконат-титаната свинца методом ИПС в известной нам отечественной и зарубежной литературе нет.

Основная часть

Керамические образцы ПКР-8 были получены твердофазным синтезом и спечены тремя различными способами: по обычной керамической технологии (АТМ) в камерной печи «Nabertherm L5/13/P330» при атмосферном давлении, методом горячего прессования с одноосным давлением на установке «УССК-1» (ГП) и с помощью Spark Plasma Sintering (ИПС) в вакууме с одноосным давлением и импульсами постоянного тока на установке «SPS515S» (DR.Sinter-LABTM Fuji electronic industrial. Japan).

Контроль полноты прохождения процесса спекания пьезокерамики ПКР-8 осуществлялся по результатам рентгенофазового анализа (дифрактометр ARL X'TRA), снимкам микроструктуры (растровый электронный микроскоп JEOL JSM-6390LA) и по значениям плотности спеченной пьезоэлектрической керамики, определяемой методом гидростатического взвешивания. Результаты рентгенофазового анализа подтверждают формирование твердого раствора со структурой перовскита для пьезокерамик ПКР-8 спеченных всеми рассматриваемыми способами (рис. 1).

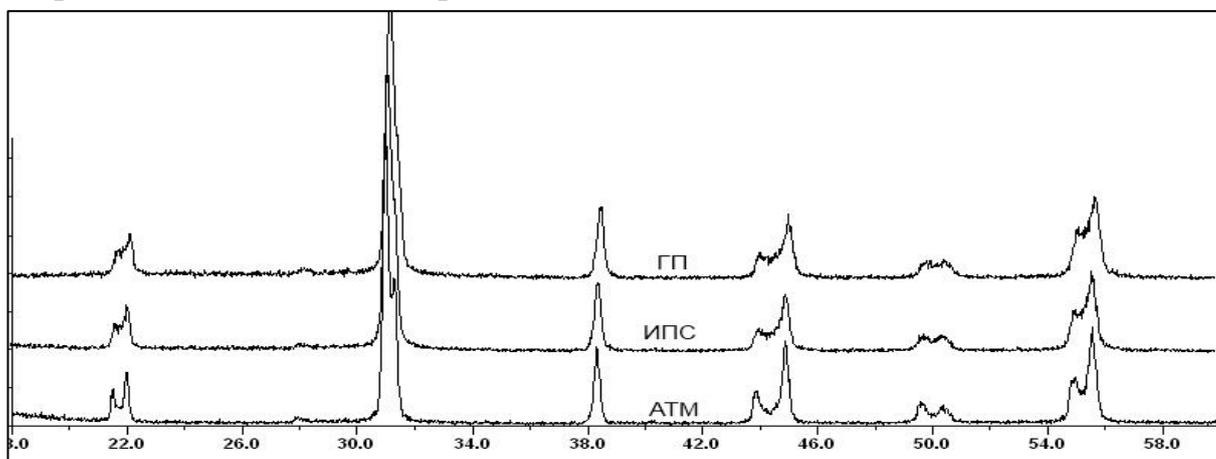


Рис. 1 – Рентгенограммы твердых растворов ПКР-8 спеченных разными способами

Снимки микроструктуры подтверждают предположения о характере формирования керамического каркаса (рис. 2). При спекании по обычной керамической технологии наблюдается сильно выраженная вторичная рекристаллизация, продолжающаяся при повышении температуры процесса. Повышение температуры спекания до 1200°C приводит к образованию большого количества стеклофазы. Во всем температурном диапазоне наблюдается остаточная пористость. Керамические образцы полученные методом ГП не содержат видимых остаточных пор и имеют плотную структуру, благодаря прикладываемому в процессе спекания механическому давлению. Но высокие температура (выше 1100°C) и продолжительность процесса спекания (12 часов) приводят к образованию вторичной рекристаллизации. Спекание керамики ПКР-8 методом ИПС проводилось в температурном диапазоне 930 - 970°C в течение 10-ти минут. Благодаря приложенному механическому давлению в процессе спекания, а также малой продолжительности процесса, все керамические образцы полученные методом ИПС обладали однородной микроструктурой без стеклофазы и размерами зерен не превышающими 6 мкм.

При повышении температуры спекания в структуре керамических образцов, спеченных методами АТМ и ГП, повышается содержание стеклофазы, что негативно сказывается на прочностных характеристиках образцов [7-10].

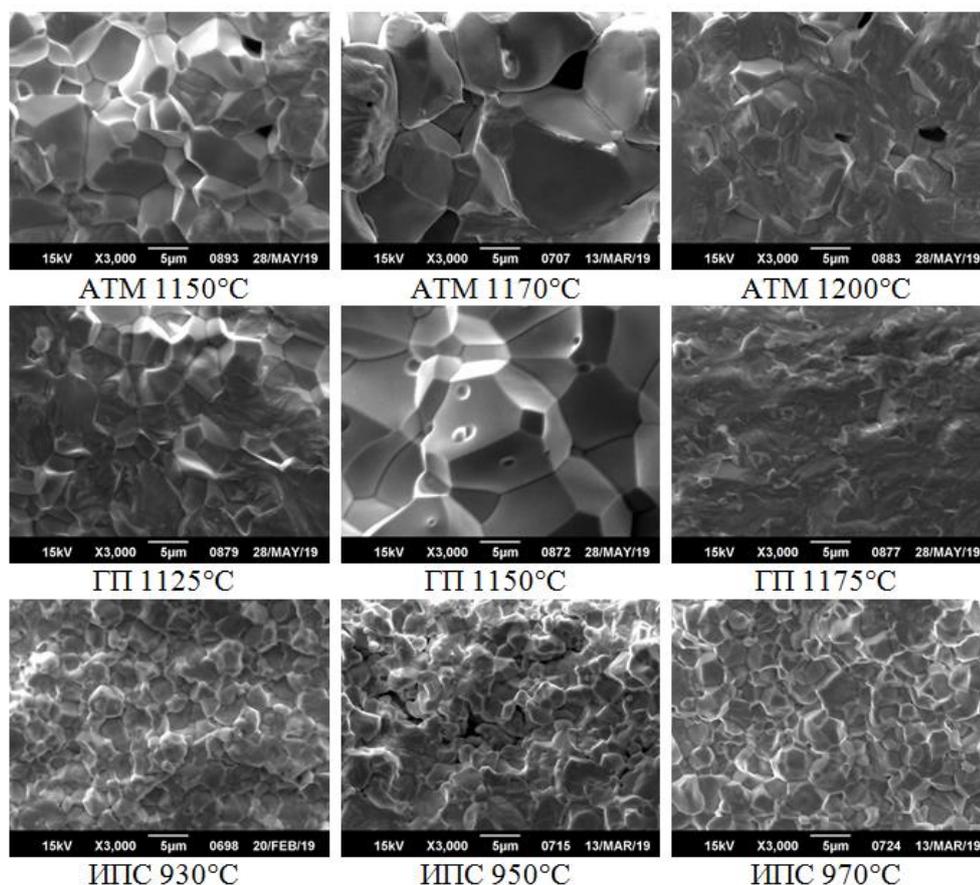


Рис. 2 – Микроструктура спеченных керамических образцов ПКР-8

Спеченные керамические образцы цилиндрической формы шлифовались до формы дисков диаметром 10 мм и высотой 1 мм. На плоскости керамических дисков носились токопроводящие электроды, после чего проводилась их поляризация. Измерение электрофизических параметров проводилось на установке “ЦЕНЗУРКА-М”. Основные механические и электрофизические параметры полученных пьезокерамических элементов представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Свойства пьезокерамических элементов ПКР-8 спеченных различными способами и при разных температурах

Способ спекания	Температура спекания, °С	Плотность, г/см ³	tg σ, %	$\epsilon_{33}^T/\epsilon_0$	d_{31} , пКл/Н	K_p
АТМ	1150	7,73	0,48	1292	115	0,52
	1170	7,8	0,5	1307	125	0,58
	1200	7,78	0,49	1297	119	0,54
ГП	1125	7,85	0,68	1399	122	0,48
	1150	7,89	0,7	1415	130	0,57
	1175	7,81	0,69	1387	127	0,52
ИПС	930	7,91	0,41	1153	119	0,48
	950	7,94	0,5	1349	127	0,49
	970	7,98	0,49	1514	129	0,51

Для пьезокерамических элементов полученных способом АТМ оптимальная температура составляла 1170°C. При таких условиях спекания значения основных параметров максимальны. В процессе спекания пьезокерамики ПКР-8 методом ГП удалось снизить оптимальную температуру спекания до 1150°C в совокупности с повышением значений относительной диэлектрической проницаемости на 8%. Остальные электрофизические параметры керамики ГП соизмеримы с параметрами керамики АТМ. Использование ИПС снизило температуру спекания до 970°C и повысило значения относительной диэлектрической проницаемости на 15%, а значения плотности на 2%, по сравнению с керамикой АТМ.

Выводы

Использование современного оборудования для горячего прессования и искрового плазменного спекания способствует получению пьезокерамических изделий повышенной плотности, что положительно сказывается на их электрофизических параметрах. При этом, температуры спекания снижаются.

Большим потенциалом обладает метод искрового плазменного спекания, формирующий высокоплотный. монофазный керамический каркас при пониженных на 200°C температурах процесса, в течение нескольких минут. Также, метод ИПС способствует повышению основных электрофизических параметров спекаемой пьезокерамики ПКР-8.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Нестеров, А.А. [Текст]: Труды международной научно-практической конференции «Фундаментальные проблемы пьезоэлектрического приборостроения» / Т.Г. Лупейко, А.А. Нестеров - Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского гос. Ун-та, 1999.- т.1,-с.254-261;

2 Физика активных диэлектриков / Ю.М. Поплавко [и др.] – Р/Д. Изд. ЮФУ, 2009. - 480 с;

3 Нестеров, А.А. [Текст]: Сборник трудов «Актуальные проблемы пьезоэлектрического приборостроения и нанотехнологий» / Флик Е.А., Масуренков К.С.- Ростов-на-Дону: Изд-во ООО «ЦВВР», 2006.- с. 200-204;

4 Grasso S. Electric current activated/assisted sintering (ECAS): a review of patents 1906–2008 / S. Grasso, Y. Sakka, G. Maizza // Science and Technology of Advanced Materials. – 2009. – Vol. 10. – P. 1–24;

5 Marder R., Caim R., Estournes C, Chevallier G. Plasma in spark plasma sintering of ceramic particle compacts // Scripta materialia. – 2014. 82, 57-60;

6 Процессы порошковой металлургии. В 2-х т. Т. 2. Формование и спекание / Г. А. Либенсон, В. Ю. Лопатин, Г. В. Комарницкий. – М. : МИСИС, 2002. – 320 с;

7 Rahaman M.N. Ceramic processing and sintering. N.-Y.: Marcel Dekker. 1995. 770 p;

8 Панич А.А., Мараховский М.А., Мотин Д.В. Кристаллические и керамические пьезоэлектрики / Инженерный вестник Дона. 2011. - №1;

9 Нестеров А.А., Панич А.А., Свирская С.Н., Криков В.В., Васильев И.В., Мараховский М.А. Формирование пьезокерамических каркасов в присутствии небольших количеств стеклофаз / Современные проблемы науки и образования. 2011. – № 5;

10 Нестеров А.А., Панич А.А., Свирская С.Н., Криков В.В., Мараховский М.А., Васильев И.В., Мараховский В.А. Влияние характеристик частиц шихты на электрофизические параметры пьезокерамического материала ЦТС-36 // Современные проблемы науки и образования. 2012. – № 3.

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

Анатолий Евгеньевич Панич, директор, Институт высоких технологий и пьезотехники Южного федерального университета, Россия, город Ростов-на-Дону, улица Мильчакова, 10, 344090, телефон: +7 (918) 555-28-73, email: panich@sfedu.ru

Владимир Алексеевич Мараховский, инженер, Научное конструкторско-технологическое бюро «Пьезоприбор» Южного федерального университета, Россия, город Ростов-на-Дону, улица Мильчакова, 10, 344090, телефон: +7 (950) 857-88-01, email: demuer@mail.ru

Authors: Mikhail Alekseevich Marakhovskiy, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), team leader, Scientific Design and Technological Bureau "Piezopribor" Southern Federal University, 344090, Rostov-on-Don, st. Milchakova 10, phone: +7 (904) 501-54-31, email: marmisha@mail.ru

Anatoly Evgenievich Panich, director, Institute of high technologies and piezotechnics Southern Federal University, 344090, Rostov-on-Don, st. Milchakova 10, phone: +7 (918) 555-28-73, email: panich@sfedu.ru

Vladimir Alekseevich Marakhovskiy, engineer, Scientific Design and Technological Bureau "Piezopribor" Southern Federal University, 344090, Rostov-on-Don, st. Milchakova 10, phone: +7 (950) 857-88-01, email: demuer@mail.ru

Аббасов Ифтихар Балакишиевич, Ratnadeep Raghunathrao Deshmukh
**МЕТОДЫ ДИСТАНЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ ВОДНОЙ
ПОВЕРХНОСТИ**

Данная работа посвящена обзору современного состояния методов дистанционной диагностики поверхности водной среды прибрежных акваторий. Описаны общие подходы к экологическому мониторингу природной среды, существующие разновидности средств диагностики. Представлена структурная схема воздействия антропогенных факторов на водную среду. Рассмотрены возможности спутниковых средств мониторинга цветения водорослей в акваториях морей и океанов.

Ключевые слова: *средства диагностики, водная среда, экологический мониторинг, спутниковый мониторинг, гидрологические параметры.*

Iftikhar B. Abbasov, Ratnadeep R. Deshmukh
METHODS OF REMOTE DIAGNOSTIC OF WATER SURFACE

This paper is devoted to a review of the current state of methods for remote diagnostics of the surface of the aquatic environment of coastal waters. The general approaches to environmental monitoring of the natural environment, the existing types of diagnostic tools are described. A structural diagram of the impact of anthropogenic factors on the aquatic environment is presented. The possibilities of satellite monitoring of algal blooms in seas and oceans are considered.

Keywords: *diagnostic facilities, aqueous environment, ecological monitoring, satellite monitoring, hydrological parameters.*

Introduction

Development of sea resources of shelf zone requires for use of the modern facilities and methods of the ecological monitoring of the anthropogenic influence on the environment.

General monitoring tasks

General approach to the ecological monitoring of the natural environment provides the measures as follows [1], [2]:

- revelation and analysis of the specific anthropogenic sources and interaction factors on the natural environment;
- comprehensive analysis of the environment in the regions of possible impact;
- ecological monitoring of the natural facilities and processes, exposing to impact.

Monitoring structure of the anthropogenic changes of the natural environment shall include the following basic blocks (Figure):

- observance of the sources and factors of impact;
- evaluation and prediction of the actual state of the natural environment.

In the article [3] the methods and results of comprehensive sea experimental studies on evaluation of the ecological state of the area of sea area are considered. The new

method of the ecological studies allows localizing the places and areas of soil dumping, as well as evaluates their spacious sizes to the high accuracy extent and snapping to the geographic coordinates. The contemporary information analysis have revealed stable direct dependency between availability at bottom of soil dumping and considerable growth of quantitative characteristics of the control values of the sea ecosystem contamination.

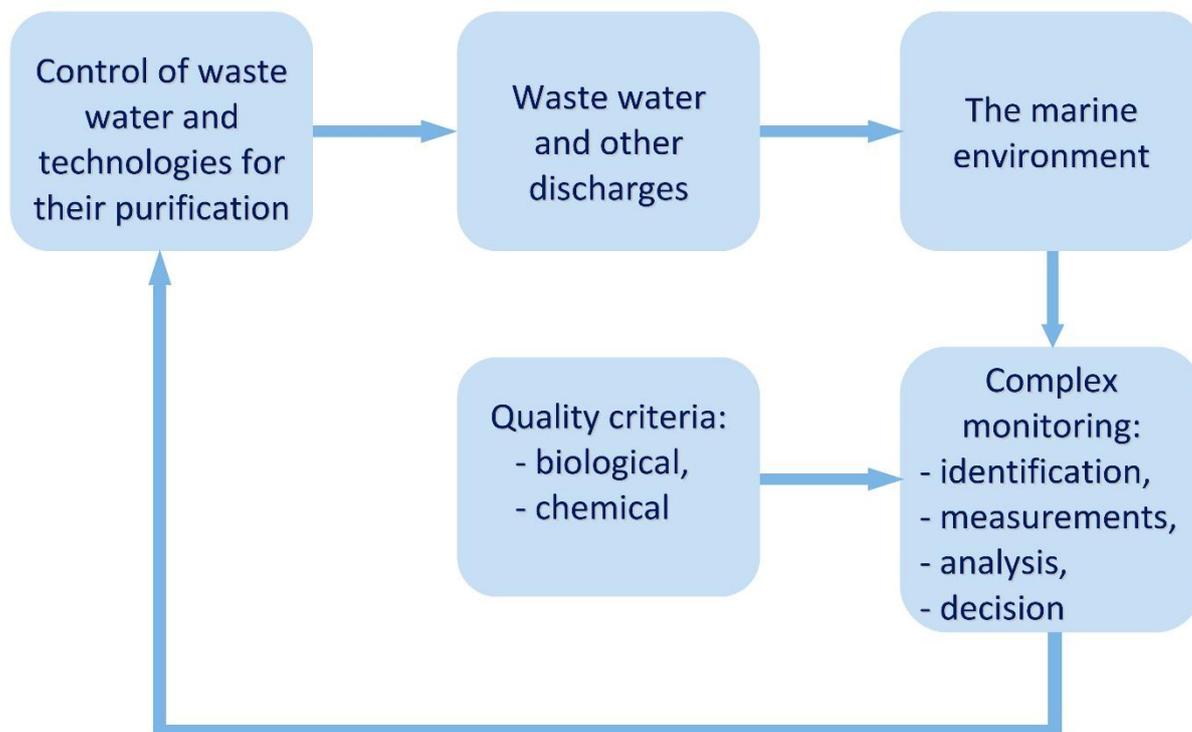


Fig. Overall structure of monitoring of the anthropogenic changes

Remote monitoring with the help of satellites

The need for more efficient ecological ocean monitoring has resulted lately in the noticeable achievements in the studies of algorithms of processing of color satellite photos. Data of satellite photos are widely used to reveal, map and monitoring of phytoplankton in the ocean. Alga blooming is an indicator of the health state of sea ecosystems. So their monitoring refers to the key parameters of the effective control of onshore and oceanic resources.

The review presented in the article [4] reflects details of development of algorithms in the field of multispectral analysis of the ocean color. To understand space-time regularities of alga blooming some parameters of the environments are important such as water temperature, turbidity, solar radiation and bottom topography. In the review we also discuss the use of statistic methods of processing of satellite data to characterize the factors influencing alga blooming in the onshore and open oceanic spaces.

In view of geographic snapping of some studies in this book to the water area of the Gulf of Taganrog of Sea of Azov, let us consider some works on satellite analysis

of alga blooming of this basin. The work [2] represents the results of the ecological studies of the Gulf of Taganrog of Sea of Azov with help of satellite spectral radiometers. The Gulf of Taganrog has very high chlorophyll phytoplankton concentration, for monitoring we worked out technology and performed the measurements in the near surface layer of chlorophyll concentration with fluorometric method. It is shown, that in the Gulf of Taganrog we observe strong time and space variability of chlorophyll plankton concentration in the summer season. As per the results of the measurements chlorophyll concentration in the near surface layer of the Gulf changed up to ten times. The spots of increased contents of chlorophyll concentration were observed with size from several kilometers to half a dozen kilometers. Strong temporary variability of chlorophyll concentration is revealed in the eastern region of the Gulf of Taganrog, for several hours it changed by 20-30%. In [5], questions of the influence of hydrodynamic wave phenomena on the erosion of the coastal formations Gulf of Taganrog were considered.

Lately considerable success was achieved in the field of development of the airspace methods and processes of remote ocean sounding. Their application perspectives to solve the monitoring tasks of the onshore aquatic areas are based on possibility of registration with the modern remote equipment of the wide spectrum of the important parameters of the aquatic environment. The work [6] considers possibilities of applying space facilities for monitoring of the onshore areas of seas and oceans. The basic parameters of the aquatic environment have been analyzed, registered with modern space facilities. They include, first of all, as follows:

- variations of hydro-optic characteristics, color and turbidity of water;
- changes of hydrodynamic parameters (flow fields, internal waves, turbulence, circulating flows), leading to deformations of the surface variation and changes of characteristics of the near surface ocean layer;
- temperature variations in the areas of the flow fields, upwelling, interaction of turbulence and the internal waves with water surface;
- fluctuations of parameters of the physical and chemical fields of the ocean, leading to temperature change, saltiness, dielectric penetration, concentration of heavy metals;
- variations of the biological parameters, concentration of the basic biogene elements (nitrogen, oxygen, phosphor), acidity, phytoplankton state in the ocean;
- appearance of the oil films and change of concentration of the films of the surface active agents owing to dissolved organics, leading to change of color, temperature, amplitude and frequency waving characteristics;
- variation of the ocean level, caused by the tidal processes, geo-strophic currents, prevention of the catastrophic processes in the offshore strips (tsunami, seaquakes) and evaluation of their consequences.

The tasks, solved by the space means of remote ocean sounding indicate their wide possibilities. So space methods and means even today play considerable role in the ocean monitoring and its coastal zones.

In the work [7] they consider the questions concerning the use of the processes of remote sounding for integral control and studying of sea coastal environment. The characteristics of remote sounding systems, representing interest to study oceans and

coastal ecosystems are given. We determined conceptual framework, connecting all the important components of remote sounding processes: ecosystem and contamination state, coastal natural dangerous factors, sea environment and its use, use of coastal territories and population growth dynamics. The summary of remote sounding achievements for developing countries is represented, where realization of these processes is complicated due to some technical and management problems. In general, it is assumed that to understand dynamics of sea and coastal environment multi-disciplinary approach is required. Remote sounding is a part of this approach, which shall be used by the coastal strips in their practice.

Remote sounding methods provide wide space coverage for the sea environment surveillance. In the work [8] some recommendations are given concerning effective extrapolation of monitoring results in several space scopes.

Conclusions

The evaluation shows, that the remote sounding method is the most important part of high quality values of the ecological state of sea environment. The World Ocean continues attracting mankind by the riches of its depths, so research and monitoring systems of the aquatic environment states will be developed.

REFERENCES

1. Israel Yu. A. Ecology and control of the state of the natural environment. - Moscow: Gidrometeoizdat, 1984. - 560 p.
2. Shavykin A.A., Berdnikov S.V., Saprygin V.V., Verbitsky R.E. Continuous measurements of oceanological parameters in the near-surface layer of the Taganrog Gulf // In the book: Ecosystem studies of the environment and biota of the Azov basin Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Institute of Arid Zones of the Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Rostov-on-Don, 2012. P. 104-116.
3. Petukhov V.I., Minaev D.D., Lisitskaya I.G. Complex studies of the ecological state of marine areas //Underwater research and robotics. V.12. №2. 2011. P.69-74.
4. Blondeau-Patissier D., Gower J.F.R., Dekker A.G., Phinn S.R., Brando V. E. A review of ocean color remote sensing methods and statistical techniques for the detection, mapping and analysis of phytoplankton blooms in coastal and open oceans //Progress in Oceanography, Volume 123, 2014, P.123-144, <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2013.12.008>.
5. Abbasov I.B. Simulation of nonlinear wave phenomena on the surface of shallow water. –M.: Fizmatlit, –2010. –128 p.
6. Bondur V.G. Aerospace methods in modern oceanology //In the book "New ideas in oceanology", V.1: Physics. Chemistry. Biology /Ed. M.E. Vinogradov, S.S. Lappo. - Moscow: Nauka, 2004, P.55 - 117.
7. Ouellette W., Getinet W. Remote sensing for Marine Spatial Planning and Integrated Coastal Areas Management: Achievements, challenges, opportunities and future prospects, Remote Sensing Applications: Society and Environment, Volume 4, 2016, P.138-157, <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2016.07.003>.

8. Strong J.A., Elliott M. The value of remote sensing techniques in supporting effective extrapolation across multiple marine spatial scales, *Marine Pollution Bulletin*, Volume 116, Issues 1–2, 2017, P.405-419, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.028>.

Author: Professor Iftikhar Balakishi Abbasov, 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

Author: Dr. Ratnadeep R. Deshmukh, Professor, Department of Computer Science and IT, Dr. Babasaheb Ambedkar Marathwada University, Aurangabad (MS)-431004, India, phone: + 91-2402403316, rrdeshmukh.csit@bamu.ac.in

УДК 621.3.58

С.И. Клевцов

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ

Аннотация: Предложена концептуальная макромодель описания поведения организационной структуры. Модель предназначена для решения задач разработки стратегии и тактики достижения цели организационной структурой с учетом влияния различных внешних и внутренних факторов. Также предложена структура инструментальной платформы для моделирования сложных ситуаций. Платформа предназначена для формирования возможных эффективных сценариев поведения организационных структур при достижении поставленных целей в сложных условиях, с учетом влияния внешних факторов. Определены основные элементы платформы, общие вопросы взаимодействия этих элементов в процессе моделирования и основные требования к средствам платформы. Макромодель может быть положена в основу интегральной инструментальной платформы, предназначенной для формирования возможных сценариев поведения организационных структур при достижении поставленных целей. Учитываются сложные условия и влияние внешних факторов на организационную структуру.

Ключевые слова: моделирование, структура, ситуация, сценарий, платформа, внешний фактор

STRUCTURAL-FUNCTIONAL FEATURES OF THE TOOL PLATFORM FOR MODELING SYSTEMS

Abstract: a conceptual macromodel describing the behavior of the organizational structure is Proposed. The model is designed to solve the problems of developing strategies and tactics to achieve the goal of the organizational structure, taking into account the influence of various external and internal factors. The structure of the tool platform for modeling complex situations is also proposed. The platform is designed to form possible effective scenarios of organizational structures behavior when achieving goals in difficult conditions, taking into account the influence of external factors. The basic elements of the platform, the General issues of interaction of these elements in the modeling process and the basic requirements for the platform tools are defined. The macromodel can be the basis of an integrated tool platform designed to form possible scenarios of behavior of organizational structures in achieving the goals. Complex conditions and the influence of external factors on the organizational structure are taken into account.

Keywords: modeling, structure, situation, scenario, platform, external factor

Процесс реализации цели организационной структурой связан с непрерывным анализом и принятием решений по выбору конкретных действий на каждом этапе в условиях внешнего влияния, нестабильной внешней обстановки, внутренних изменений и ограничений, присущей данной организационной структуре. Определяемый при этом набор действий должен предусматривать многовариантность развития ситуации и, как следствие, различные пути и способы реализации поставленной цели в динамично меняющихся условиях существования.

Формирование на этой основе возможных эффективных сценариев поведения организационных структур при реализации поставленных целей в сложных условиях, с учетом влияния внешних факторов является одной из наиболее актуальных и перспективных задач исследования сложных систем.

Для решения задач разработки стратегии и тактики достижения цели организационной структурой с учетом влияния различных внешних и внутренних факторов предложена концептуальная макро модель описания поведения организационной структуры.

Макроструктура модели представлена следующим выражением [1]:

$$\langle O, Y, F, U, H, Q, G, P, E, W, K, t \rangle,$$

где O – множество функциональных объектов, располагающих ресурсами, изменяющимися по заданным законам; Y – множество связей между объектами; F

– множество внешних влияний; U – множество формируемых лицом, управляющим ситуацией (ЛУС), управляющих воздействий на объекты; H – множество функций влияния объектов, причем каждый объект имеет одну изменяющуюся в процессе моделирования функцию влияния; Q – множество ограничений, накладываемых на характер изменения ресурсов объектов, управляющих воздействий и т.д.; G – множество последствий нарушений ограничений Q ; P – множество прогнозов последствий воздействий на объекты; E – множество оценок моделируемой в системе ситуации; W – интегральная функция взаимодействия объектов; K – критерий состояния интегральной функции W ; t – текущая координата оси развития, обычно, время моделирования.

Основой модели является множество объектов. На j -м этапе на отрезке времени Δt_j объект $O_l \in O$ описывается выражением

$$\langle t_j, r_{lj}, F_{lj}, Q_{lj}, G_{lj}, H_{lj} \rangle,$$

где r_{lj} – ресурс объекта на отрезке времени Δt_j ; F_{lj} – внешнее влияние на объект на j -м этапе; Q_{lj} – ограничения на объект на j -м этапе; G_{lj} – последствия при нарушении ограничения Q_{lj} ; H_{lj} – функция влияния объекта на j -м этапе.

На каждом этапе функция влияния объекта O_l формируется при реализации выражения

$$\langle B_l : \beta_l[r_{lj}, F_{lj}, Q_{lj}, G_{lj}] \rangle \rightarrow H_{lj},$$

в котором учтены состояния ресурсов объекта r_{lj} , внешнее воздействие на объект F_{lj} , ограничения Q_{lj} и последствия их нарушения G_{lj} на j -м этапе.

Множество значений функций влияния $H_j = \{H_{lj}\}$ и внешнее воздействие F_0 определяют значение интегральной функции взаимодействия

$$\Gamma : \gamma[t_j, H_j, F_0] \rightarrow W_j,$$

состояние которой оценивается с помощью комплексного критерия K

$$\Pi : \pi[W_j, K_j] \rightarrow S_j.$$

Состояние S_j интегральной функции взаимодействия W , состояния объектов O_j , учет ограничений Q_j и последствий G_j , связанных с их нарушением, сформулированных в результате прогноза P , позволяют получить оценку состояния процесса, протекающего в модели

$$\Omega : \omega[S_j, O_j, Q_j, G_j, P_j] \rightarrow E_j.$$

По результатам оценки состояния процесса E_j ЛУС, учитывая ограничения Q_j и последствия их нарушения G_j , вырабатывает множество управляющих воздействий U_j на объекты:

$$X : \chi[E_j, Q_j, G_j] \rightarrow U_j.$$

На основе макромоделей может быть создана принципиально новая интегральная инструментальная платформа (ИИП) для моделирования поведения организационных структур в условиях нестабильной обстановки и влияния внешних факторов, развития и определения способов разрешения реальных кризисных ситуаций в различных областях и сферах жизни общества и деятельности человека. ИИП может быть определена как взаимосогласованная совокупность базовых компонентов и инструментальных средств различного типа, адаптируемых к особенностям объекта исследований и интегрируемых в зависимости от характера решаемой задачи или проблемы в конкретную систему моделирования, которая не только адекватно описывает поведение организационной структуры в рассматриваемой сложной ситуации, но и дает возможность прогнозировать поведение и строить возможные планы и сценарии действий (Рисунок).

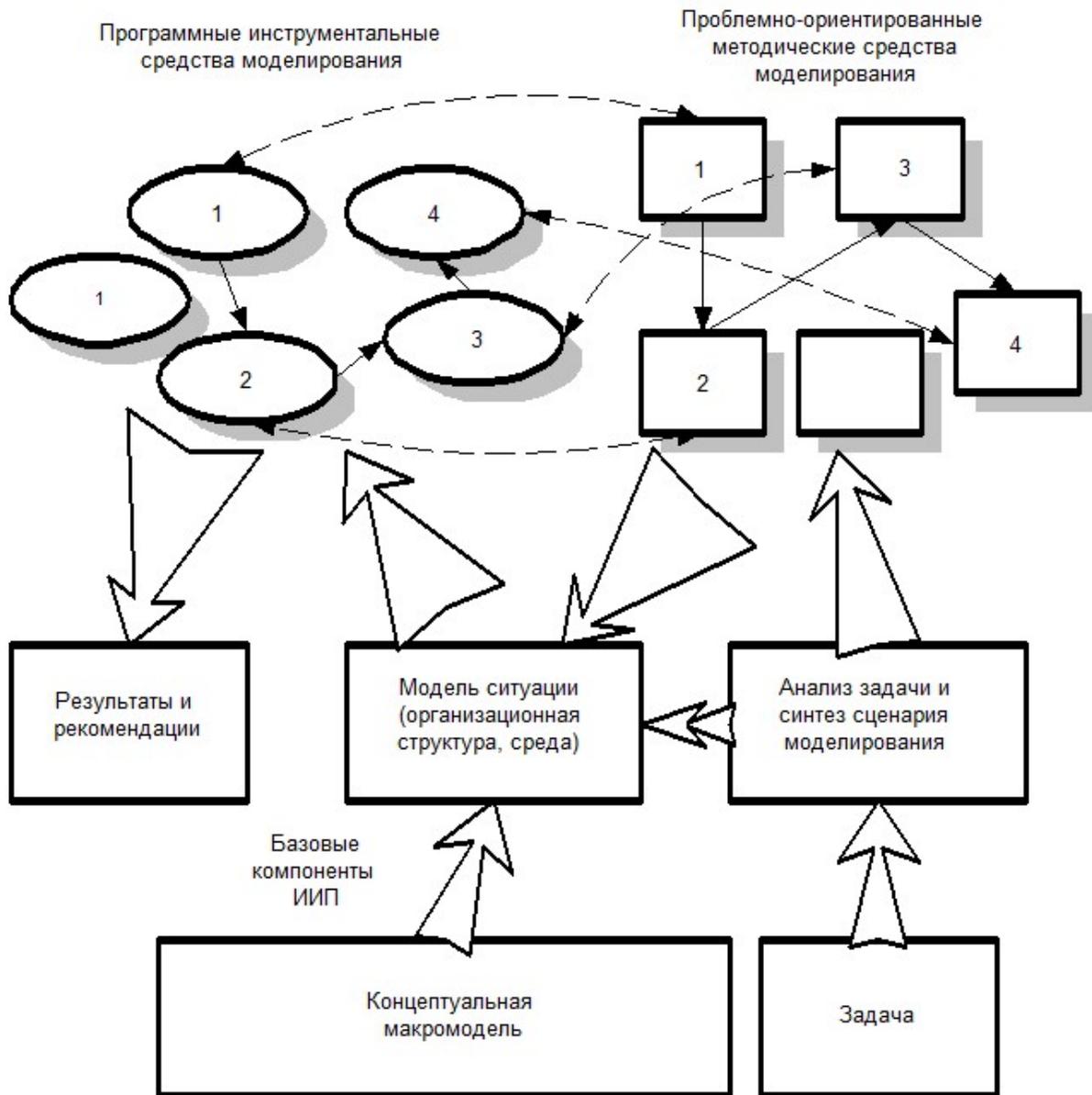


Рис. Обобщенная схема взаимодействия элементов ИИП при моделировании поведения организационной структуры

Базовыми компонентами предлагаемой интегральной инструментальной платформы (ИИП) являются:

- объекты, характеризующие организационные структуры и факторы, влияющие на них;
- правила и ограничения, формирующие область определения конкретной модели поведения организационной структуры и внешней среды;
- цели и критерии их достижения, как компоненты, характеризующие результат моделирования поведения организационной структуры.

Одним из основных компонентов ИИП являются объекты, - динамические образования, в основе которых лежит, сформированное в макро модели понятие объекта. Объекты формируют значение интегральной функции взаимодействия W , которая в свою очередь определяет динамику достижения цели организационной структуры через оценку ее состояния S .

В рамках ИИП объекты моделируют не только организационную структуру, но и внешние воздействующие факторы, которые влияют на структуру со стороны окружающей среды

Учитывая это, можно определить базовый объект ИИП, как систему отдельных элементов, взаимосвязанных и взаимовлияющих друг на друга в процессе моделирования.

Элементы объекта [2]:

- свойства. Характеристики объекта, используемые для определения объекта и оценки влияния на другие объекты и цель через функцию влияния H . Свойства имеют наименование и значения.

- функции (методы). Представляют собой функциональные, логические или алгоритмические зависимости или конструкции, описывающие характер и возможности влияния на объект через его свойства и параметры.

- ограничения. Описывают нормативные ограничения на изменение свойств и параметров объектов. Представляют собой систему ограничений функционального, логического или иного типа.

- последствия. Описывают последствия нарушения ограничений на изменение объектов. Представляют собой систему функциональных, логических или иных соотношений. Изменяют состояние объекта при нарушении ограничений. Влияет на функции внешнего влияния объекта F и на функцию воздействия на цель H .

Установка и изменение свойств объектов осуществляется с помощью методов (функций). К каждому объекту может быть прикреплен свой набор функций. Если ЛУС, воздействуя на свойства или параметры объекта с помощью определенной функции, решил нарушить ограничение, то наступают последствия нарушения этого ограничения, которые в той или иной степени влияют на функции F и H . Последствия, таким образом, связаны как с функцией объекта, так и с функциями влияния на объекты и на цель.

Суть моделирования поведения организационных структур с помощью объектов заключается в том, что в процессе моделирования, анализируя промежуточные результаты оценки состояния S интегральной функции влияния W в контрольных точках, с помощью функций (методов) Сменяются свойства или параметры объектов. Изменяя, таким образом, свойства и параметры, добавляя новые объекты, исключая ненужные, в процессе моделирования можно контролировать развитие моделируемой ситуации и формировать тактику достижения поставленной в начале моделирования цели, динамику реализации которой характеризует упомянутая выше функция взаимодействия W .

Основными инструментальными средствами ИИП являются методические и программные средства, такие как методы и алгоритмы оценки состояния реализации цели организационной структуры, методы поддержки принятия решений на основе экспертных знаний, средства информационной поддержки, механизмы и схемы организации взаимодействия и противодействия объектов при моделировании и другие инструментальные средства.

Поскольку структуры, назначения и цели организационных систем, а также условия их функционирования могут сильно различаться, состав, структура и характеристики базовых компонентов и инструментальных расчетных, модельных и программных средств платформы должны охватывать большую часть спектра моделируемых задач.

Результатом моделирования должны быть данные, необходимые и достаточные для перехода к реальному управлению организационной структурой:

- система целей или цель;
- комплекс (программа) действий по реализации систем целей или цели;
- ресурсное обеспечение, необходимое и достаточное для выполнения комплекса действий;
- рекомендации по организационному обеспечению реализации комплекса действий.

Предлагаемая интегральная инструментальная платформа направлена на моделирование развития сложных ситуаций с помощью модифицированных методов и средств различного типа, интегрируемых в зависимости от особенностей задачи в виртуальную интегральную систему, реализующую синтез возможных в этой ситуации сценариев поведения организационной структуры, модель которой построена на основе базовых компонентов ИИП.

Библиографический список

1. **Клевцов, С.И.** Особенности описания поведения организационной структуры в среде интегральной инструментальной платформы [Текст]/ С.И. Клевцов.// Известия ЮФУ. Технические науки. - 2002. - № 2 (25). С. 255-261.
2. **Клевцов, С.И.** Структура и связи динамических объектов в модели целенаправленного развития организации в поле пространственно-временных ограничений и воздействий. [Текст]/ С.И. Клевцов. // Известия ТРТУ. – Таганрог: Изд-во ТРТУ. – 2001. - №3(21). – С.3-10.

Клевцов Сергей Иванович – Южный федеральный университет; e-mail: sergkmps@mail.ru;

347900, г. Таганрог, ул. Петровская, 81; тел.: 88634328025; к.т.н.; доцент.

Klevtsov Sergey Ivanovich – Southern Federal University; e-mail: sergkmps@mail.ru; 81,

Petrovsky, Taganrog , 347900, Russia; phone: +78634328025; cand. of eng. sc.; associate professor.

УДК 621.3.58

Соколова Виктория Александровна, Марков Виктор Александрович,
Парфенопуло Георгий Константинович, Иванов Андрей Михайлович

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ЗАГРУЗКИ ЧУРАКОВ В ЛУЩИЛЬНЫЙ СТАНОК

В данной работе рассмотрен метод усовершенствования луцильного станка, работающего в паре с центовочно-загрузочным устройством. Предложен путь автоматизации процесса производства фанеры и разработана функциональная схема автоматизации луцильной линии.

Ключевые слова: структурная схема, автоматизированная система управления, чурак, луцильный станок.

Sokolova Victoria Aleksandrovna, Markov Victor Alexandrovich, Parfenopulo
Georgii Konstantinovich, Ivanov Andrey Mikhailovich

RESEARCH OF A CONTROL ALGORITHM OF THE SYSTEM OF LOADING OF CHURAK IN THE SHELLING MACHINE

In this work the method of improvement of the shelling machine working together with the tsentovochno-loading device is considered. The way of automation of process of production of plywood is offered and the function chart of automation of the shelling line is developed.

Keywords: block diagram, automated control system, chocks, shelling machine.

Введение

Для повышения эффективности фанерного производства России с учетом мировых и отечественных тенденций развития необходимо:

- изменить ассортимент фанеры по водостойкости (увеличивая объем производства водостойкой фанеры) и по обработке поверхности (увеличивая объем производства фанеры в облагороженном виде);

- ориентировать вновь вводимые мощности на производство большеформатной фанеры (1220x2440 мм) для строительства и специальных видов фанеры в облагороженном виде (для опалубки, контейнеростроения, судостроения и т.д.) как из древесины лиственницы, так и хвойных пород;

- вводить новые мощности по выпуску отечественных водостойких клеев и защитно-декоративных материалов;

- совершенствовать технологии и оборудование, позволяющие расширить ассортимент фанеры, в том числе и на основе новых материалов для склеивания, облагораживания и защиты (огне - и биозащита, ориентация на рынок арабских стран);

- повышать качество продукции путем создания на предприятиях эффективных систем управления качеством и систем интеллектуальной поддержки инженерных решений.

Целью данной работы является упростить работу оператора с луцильным станком. Задачей данной работы является разработка системы управления загрузки чураков в луцильный станок. В ходе работы разработана структурная схема автоматизированной системы управления загрузки чураков в луцильный станок.

Основная часть

Состав технологического процесса подготовки сырья к лушению и последовательность операций зависят от вида сырья, его состояния и применяемого оборудования. Если сырье поставляется в кряжах, то подготовка их к лушению включает гидротермическую обработку, окорку и раскрой на чураки.

Структурная схема подачи чураков в луцильный станок позволяет изобразить алгоритм управления системы. Алгоритмизация этого процесса позволяет написать программу на языке, который будет совместим с системами автоматизации на том или ином предприятии.

Автоматический цикл работы станка начинается с момента подачи фанерного чурака в центrovочно-загрузочное устройство, где датчик определяет наличие чурака в устройстве. После того, как наличие чурака установлено, приходят в движение центрирующие штанги. Перемещение этих штанг фиксируется энкодерами, которые измеряют диаметры фанерного чурака в вертикальной и горизонтальной плоскости. После этого данные поступают на ЭВМ, где происходит сравнение и выбирается максимальный диаметр. Затем определяются диаметр окружности, описываемой наиболее выступающей частью фанерного чурака, и положение суппорта с помощью энкодера, подключенного к суппорту через реечную передачу. Одновременно сравниваются выходные значения датчика положения суппорта (ДПС) и значение, соответствующее $(D_{max}/2)+K_3$ (где K_3 - коэффициент запаса, принимаемый 25 мм). В случае их неравенства выдаётся сигнал на отвод суппорта и продолжается сравнение этих значений до их совпадения. Суппорт останавливается на расстоянии, соответствующем величине $(D_{max}/2)+K_3$.

Программа находится в цикле ожидания работы лущильного станка до тех пор, пока фанерный чурок не будет зажат шпинделями лущильного станка и не начнёт вращаться, после чего она переходит на режим управления переходом с оцилиндровки на лущение. Переход на лущение осуществляется когда датчики определяющие сплошность ленты шпона присылают на ЭВМ данные о ее достаточной сплошности.

После чего следует цикл ожидания и по окончании процесса лущения переход к операции «отвод суппорта».

Вместе с этим определяется текущее положение переносных рычагов в процессе лущения, если процесс центровки уже завершён, то переносные рычаги забирают чурок из ЦЗУ и подводят его на безопасное расстояние к лущильному станку, в это время в ЦЗУ поступает очередной чурок.

Для определения состояния готовности лущильного станка к загрузке очередного чурака используется датчик наличия объекта. Для реализации требований к системе отвода суппорта на заданное расстояние выбираем в качестве системы управления суппортом позиционную систему программного управления (ПСПУ), контролируруемую датчиком обратной связи.

Упрощённая структурная схема состоит из следующих элементов и функциональных блоков (см. рис.1).

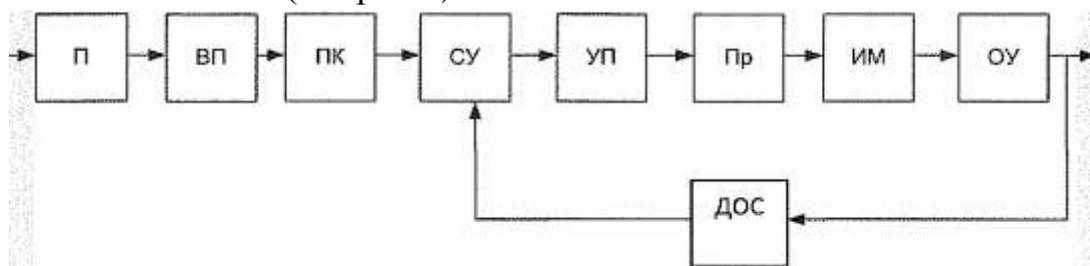


Рис.1 Структурная схема позиционной системы программного управления

П - программоноситель, который несёт информацию о работе лущильного станка;

ВП - устройство ввода программы, которое обеспечивает считывание размерной информации и её ввод в систему управления;

ПК - устройство преобразования кода, которое преобразует числовую информацию в удобный для работы системы вид;

СУ - сравнительное устройство, в котором сопоставляется информация, поступающая от П с информацией, поступающей с датчика обратной связи (ДОС);

ДОС - датчик обратной связи, контролирует фактическое положение объекта управления (ОУ);

УП - блок управления приводом, представляет собой совокупность элементов, управляющих приводом ОУ;

Пр - привод исполнительного механизма (ИМ);

ИМ - для перемещения ОУ.

В нашей автоматизированной системе используются следующие устройства:

1. Управляющее устройство.

Перемещение суппорта назад (отвод) после лущения на расстояние, равное максимальному диаметру измеряемого чурака в ЦЗУ. Для этого будем использовать микроконтроллер, который будет выдавать команду на перемещение суппорта при условии: $L_{тр} > L_{тек}$, где $L_{тр}$ - требуемое расстояние для отвода суппорта; $L_{тек}$ - текущее положение суппорта:

$$L_{тр} = D_{max}/2 + K_z,$$

где D_{max} - наибольший диаметр чурака; K_z - коэффициент запаса.

2. Измерительные устройства.

Необходимы для реализации предложенного алгоритма управлением подачи чураков в лущильный станок. К управляющему устройству (микроконтроллеру) от измерительных устройств (датчиков) будет подаваться информация о диаметре чурака, о положении переносных рычагов, о положении суппорта.

3. Промежуточное устройство записи и хранения сигналов от датчиков, к которому будет обращаться микроконтроллер.

4. Устройство управления приводом суппорта.

Для реализации автоматизированной системы загрузки чураков в лущильный станок предлагается структурная схема, представленная на рис.2. Схема состоит из следующих основных элементов и блоков:

1. Блок датчиков, необходим для реализации следующих функций:

- измерение диаметра чураков. Измерение производится с разных торцов чурака при помощи механической связи датчиков со штангами ЦЗУ. Для этого понадобятся два энкодера $D_{гор}$ (Датчик горизонтального перемещения) и $D_{вер}$ (датчик вертикального перемещения);

- определение положения суппорта производится при помощи энкодера положения суппорта Дсуп., который механически связан с промежуточным механизмом суппорта;

- определение положения грузочного устройства производится при помощи энкодера перемещения грузочных рычагов Дп.р., механически связанных с рычагами переноса чурака;

- определение наличия чурака в ЦЗУ определяется при помощи фотоэлектрического датчика наличия Днч;

- Определение наличия карандаша, зажатого в шпинделях ЛС определяется при помощи фотоэлектрического датчика наличия Днк.

2. Блок сопряжения. Этот блок одержит для каждого датчика схему сопряжения со счётчиками, в зависимости от направления.

3. Блок счётчиков. Содержит счётчики, которые просчитывают поступающие на них импульсы и формируют некоторый код, соответствующий перемещению контролируемого объекта в данный момент времени;

4. Блок регистров. Предназначен для связи микропроцессора с системной шиной. В зависимости от сигнала микросхема может работать в режиме шинного формирователя и в режиме хранения.

5. Дешифратор. Служит для преобразования кода в сигнал на одном из выходов, номер которого соответствует этому коду, тем самым управляет работой регистров.

6. Оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) с портами ввода-вывода и таймером. Запись и считывание производится по командам микропроцессора.

7. Микропроцессорный комплект (минимальный набор специализированных БИС и ИС с микропроцессорной БИС). Является управляющим устройством и, обрабатывая информацию по программе, вырабатывает управляющие сигналы.

8. Блок управления положением суппорта (БУПС). Обрабатывая сигнал, получаемый от процессора, вырабатывает конечные сигналы управления суппортом.

9. Блок управления переносными рычагами (БУПР). Обрабатывая сигнал, получаемый от процессора, вырабатывает конечные сигналы управления переносными рычагами.

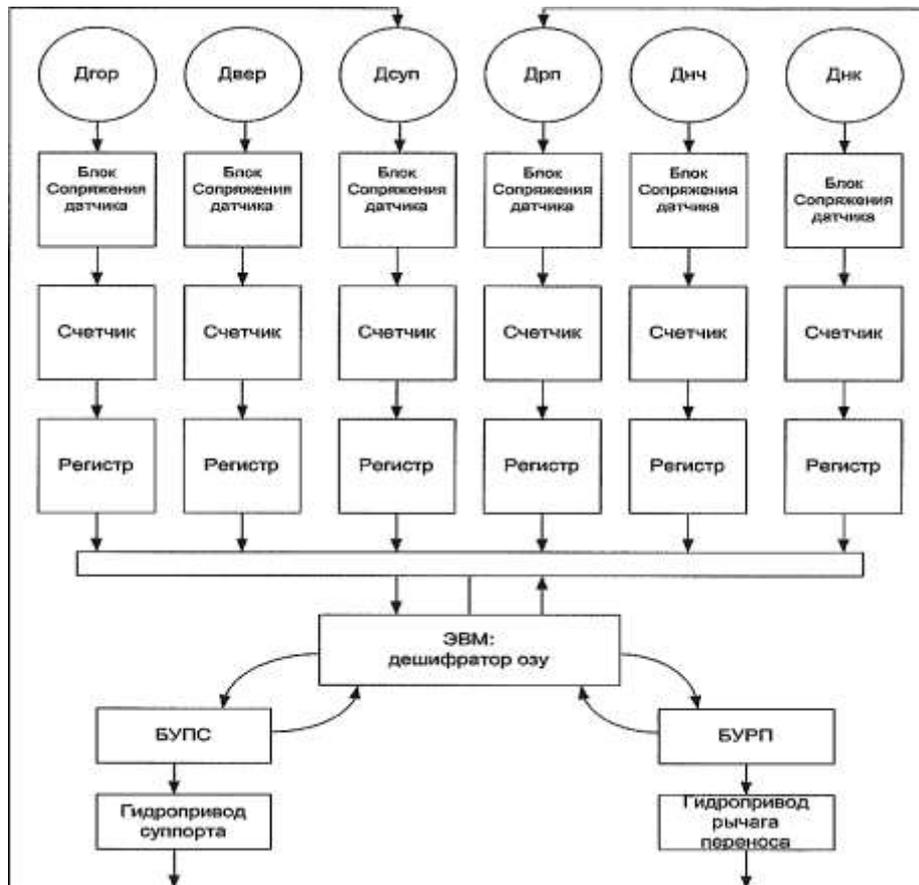


Рис.2 Структурная схема САУ подачи чураков в луцильный станок.

Выводы

В Данной работе проведено усовершенствование луцильного станка, работающего в паре с центровочно-загрузочным устройством. Для достижения этой цели приведен пример автоматизации системы загрузки чураков в луцильный станок, которая позволяет сократить время цикла производства лушеного шпона, а также освободит оператора луцильной линии от многих ручных манипуляций.

Приведена схема производства фанеры, а конкретнее, схема производства сырого лушеного шпона.

Для сокращения времени загрузки чурака в луцильный станок и автоматизации процесса были введены следующие операции:

1. измерение диаметров чурака во время его центрирования;
2. деление этапа переноса чурака на 2 этапа;
3. отвод суппорта луцильного станка на оптимальное расстояние, рассчитанное с учетом размера очередного чурака.

Разработана функциональная схема автоматизации луцильной линии.

Разработана структурная схема подключения датчиков к микро- ЭВМ, и структурная схема связи датчиков с ЭВМ и с исполнительными механизмами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волынский В.В., Технология клееных материалов (Учебное пособие)-Архангельск; 2003.
2. Куликов В.А., Производство фанеры- М, Лесная промышленность; 1976.
3. Ельдештейн М.Д., Оборудование производства фанеры, часть 1 (учебное пособие)-Красноярск; 1973.
4. Власов Г.Д., Куликов В.А., Родионов Е.С., Технология деревообрабатывающих производств-Л.М. ГОСЛЕСБУМИЗДАТ; 1960.
5. Ченцов В.В., Система для подачи чураков в лущильный станок. Авторское свидетельство №1703461А1;
6. Преснухин ЛЛ, Средства сопряжения. Контролирующие и информационно-управляющие системы-М. Высшая школа; 1976.
7. Стрижов Ю.Н. Автоматизация Производства фанеры - М. Лесная промышленность; 1986.
8. Ключев А.С., Глазов Б.В., Дубровский А.Х., Проектирование систем автоматизации технологических процессов- М. «Энергия»; 1980.
9. Ползик П.В., Молчанов Л.Г., Вороницын В.К. Автоматика и автоматизация производственных процессов деревообрабатывающих предприятий - М. Лесная промышленность; 1987.

Автор: Виктория Александровна Соколова, кандидат технических наук, заведующий кафедрой математических методов в управлении СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, Россия, город Санкт-Петербург, Институтский пер. д. 5, 194021, телефон: +7(921)740-63-79, email: sokolova_vika@inbox.ru.

Author: Victoria Aleksandrovna Sokolova, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), manager of pulpit mathematic methods in management Saint Peterburg State Forest Technical University, 5, Institutskiy per., Saint-Peterburg, 194021, Russia, phone: +7(921)740-63-79, email: sokolova_vika@inbox.ru.

Автор: Виктор Александрович Марков, кандидат технических наук, доцент кафедры математических методов в управлении СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, Россия, город Санкт-Петербург, Институтский пер. д. 5, 194021, телефон: +7(911)223-94-88, email: mactor85@mail.ru.

Author: Victor Alexandrovich Markov, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), assistant professor of pulpit mathematic methods in management Saint Peterburg State Forest Technical University, 5, Institutskiy per., Saint-Peterburg, 194021, Russia, phone: +7(911)223-94-88, email: mactor85@mail.ru.

Автор: Георгий Константинович Парфенопуло, старший преподаватель кафедры математических методов в управлении СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, Россия, город Санкт-Петербург, Институтский пер. д. 5, 194021, телефон: +7(921)653-99-32, email: parfenon73@mail.ru.

Author: Georgii Konstantinovich Parfenopulo, senior lecturer of pulpit mathematic methods in management Saint Peterburg State Forest Technical University, 5, Institutskiy per., Saint-Peterburg, 194021, Russia, phone: +7(921)653-99-32, email: parfenon73@mail.ru.

Автор: Андрей Михайлович Иванов, студент четвертого курса кафедры математических методов в управлении СПбГЛТУ им. С.М. Кирова по направлению «Стандартизация и метрология», Россия, город Санкт-Петербург, Институтский пер. д. 5, 194021, телефон: +7(911)760-70-53, email: andreyiv1997@mail.ru.

Author: Andrey Mikhailovich Ivanov, fourth year student of pulpit mathematic methods in management Saint Peterburg State Forest Technical University, 5, Institutskiy per., Saint-Peterburg, 194021, Russia, phone: +7(911)760-70-53, email: andreyiv1997@mail.ru.

Научное издание

Компьютерные и информационные технологии в науке,
инженерии и управлении
«КомТех-2019»

Отв. за выпуск Клевцов С.И.

Оригинал-макет подготовила Замай Н.А.

Подписано в печать 14.11.2019г. Заказ № 3452.

Тираж 20 экз. Формат 60*84 1/16. Усл. печ. лист 26,6. Уч.изд.л 20,00.

Отпечатано в отделе полиграфической, корпоративной и сувенирной продукции

Издательско-полиграфического комплекса КИБИ МЕДИА ЦЕНТРА ЮФУ

344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 200/1, тел (863) 247-80-51.