



СБОРНИК НАУЧНЫХ
СТАТЕЙ

Выпуск XIII



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
"ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ"
Институт радиотехнических систем и управления

ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ СИСТЕМОТЕХНИКИ

СБОРНИК НАУЧНЫХ СТАТЕЙ

Выпуск XIII

Таганрог
2019

УДК 681.51(06)

Редакционная коллегия:

Потипак М.В., Лобач В.Т., Корниенко В.Т. (отв. редактор)

Коллектив авторов: Проблемы современной системотехники – сборник научных статей. – Таганрог: Изд-ль ИП Ступин С.А, 2019. – 157 с.

ISBN 978-5-9500797-3-7

Сборник содержит статьи молодых ученых, аспирантов, студентов и их руководителей по вопросам системотехники, дистанционного радиомониторинга, радиолокации и радионавигации, радиоэлектронной разведки и радиопротиводействия, комплексных систем охраны и безопасности объектов. Рассмотрены принципы построения и использования информационных систем и программного обеспечения в моделировании, разработке и эксплуатации радиосистем, представлены результаты практической реализации электроэнергетических, мехатронных и робототехнических систем.

За подбор и точность приведенных фактов, цитат и других данных, не подлежащих открытой публикации, авторы опубликованных материалов несут самостоятельную ответственность. Мнение редакционной коллегии может не совпадать с мнением авторов. Материалы размещены в сборнике с учетом авторской правки, проверены системой «Антиплагиат» пакета «Антиплагиат.ВУЗ». Большая часть статей имеет высокий уровень оригинальности (выше 60%), и лишь десять процентов статей имеют оригинальность ниже 50% с учетом заимствования из персональных авторских источников.

Сборник включен в национальную информационно-аналитическую систему "Российский индекс научного цитирования" (РИНЦ).

ISBN 978-5-9500797-3-7

УДК 681.51(06)

© Коллектив авторов, 2019

УДК 621.396

ВЫБОР КОРРЕКТИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КАНАЛЬНЫХ КОДЕРОВ

Гетман Д.С., Горбенко А.П.

Южный федеральный университет, ИРТСУ, г. Таганрог

Рассмотрены подходы к обеспечению корректирующей способности канальных кодеров в условиях нестационарного помехового фона. Рассчитаны потери кодеров в виде снижения скорости кодирования.

При проектировании различных систем связи необходимо обеспечить повышение помехоустойчивости за счет использования различных методов канального кодирования. При этом помеховый фон считается стационарным. Для обеспечения максимальной интегральной эффективности таких систем используются алгоритмы, обеспечивающие исправление однократных ошибок, или даже только обнаружение однократных ошибок. При обеспечении большей корректирующей способности существенно снижается скорость канального кодирования, а вероятность ошибочного приема кодовых комбинаций становится чрезвычайно малой, что с инженерной точки зрения является избыточным. Также для повышения помехоустойчивости вместо повышения корректирующей способности часто используются такие алгоритмы, как разнесенный прием, перемежение и другие. При применении активных помех не выполняется условие стационарности помехового фона, что может привести к полной потере работоспособности канала связи. Оценим потери, возникающие при использовании кодеров с высокой корректирующей способностью, которые можно использовать в данной ситуации.

Классическая теория помехоустойчивости для двоичных кодов дает следующее выражение, связывающее объем алфавита кода, значность кода и количество векторов ошибок [1]:

$$N \leq 2^n / (1 + E), \quad (1)$$

где N – объем алфавита,

n – значность кода,

E – количество векторов ошибок.

При этом объем алфавита определяется как

$$N = 2^k, \quad (2)$$

где k – число информационных разрядов кодовой комбинации.

В общем случае количество векторов ошибок для исправления всех ошибок кратности не более g определяется:

$$E = \sum_1^g C_n^g. \quad (3)$$

Проведем анализ, как изменяется скорость кодирования $R=k/n$ при увеличении корректирующей способности кодера. Для конкретики возьмем $N=32$, а максимальную корректирующую способность ограничим исправлением всех ошибок кратности не более 4. В соответствии с (2) для передачи указанного объема алфавита требуется 5 информационных разрядов кодовой комбинации ($k=5$). Расчеты в соответствии с (1) и (3) показывают, что для обеспечения исправления однократных ошибок необходима значность кода $n=9$. Для исправления ошибок кратности не более двух $n=11$, не более трех $n=14$ и не более четырех $n=17$. Изменение скорости кодирования для этих случаев приведено в таблице 1.

Таблица 1- Изменение скорости кодирования в зависимости от корректирующей способности кодера

g	1	2	3	4
R	0.55	0.45	0.36	0.29

Из таблицы 1 видно, что повышение корректирующей способности с исправления однократных ошибок до исправления ошибок кратности не более четырех, ведет к снижению скорости кодирования почти в 2 раза, что недопустимо для бытовых систем связи массового обслуживания, но вполне может быть приемлемо для некоторых специальных систем связи с высокой стоимостью передаваемой информации. Одним из вариантов реализации таких систем может быть распараллеливание алгоритмов кодирования-декодирования. При этом в случае стационарного помехового фона съем информации осуществляется с каналов с высокой скоростью кодирования, а в случае нестационарного фона с каналов с меньшей скоростью кодирования, но обеспечивающих требуемое качество приема сигналов.

Остановимся коротко и на величинах вероятностей ошибок на бит при нестационарном помеховом фоне. Воспользуемся при этом результатами, приведенными в [2]. Так для БЧХ-кодов изменение отношения сигнал/шум на бит на 3 дБ при скорости $R=1/2$ может привести к изменению вероятности ошибки на бит P_b на 3 порядка. Очевидно, что использование активных помех приводит к значительно большим изменениям помехового фона. Поэтому расчетные вероятности $P_b = 10^{-9}$ - 10^{-12} при корректирующей способности, позволяющей исправлять трехкратные и четырехкратные ошибки, в случае нестационарности помех могут увеличиться на много порядков и о избыточной малости значений вероятностей ошибок говорить не приходится.

Другим подходом является использование достаточно сложных кодов, обеспечивающим большое кодовое расстояние между информационными комбинациями. Например, можно использовать коды Рида-Соломона. Общее описание таких кодов на высоком методическом уровне приведено в [3]. В работе [4] рассмотрена частная задача использования пакета LabView для анализа характеристик кода Рида-Соломона. Можно указать большое количество работ, в которых исследуется данный метод кодирования.

Для иллюстрации преимуществ этого кода сравним относительные доли информационных комбинаций η в общем массиве комбинаций. Для обычного двоичного кода с максимальной корректирующей способностью, рассмотренного выше

$$\eta = 2^k / 2^n = 2^5 / 2^{17} = 2^{-12}.$$

Сравним это значение с η для кода Рида-Соломона с величинами k и n , соответствующих рассмотренному двоичному коду с минимальной корректирующей способностью ($k=5$ и $n=9$), но при этом каждый символ возьмем трехразрядным ($m=3$). Рассчитаем η для этого случая

$$\eta = 2^{mk} / 2^{mn} = 2^{15} / 2^{27} = 2^{-12}.$$

Приведенные расчеты показывают целесообразность использования кодов Рида-Соломона при нестационарном помеховом фоне.

В заключение необходимо отметить, что при организации процедур кодирования-декодирования в условиях нестационарного помехового фона, можно использовать алгоритмы с усложненной аппаратной реализацией (распараллеливание кодирования, используя каналные кодеры с разной корректирующей способностью), а также алгоритмы кодирования, обеспечивающие максимальное кодовое расстояние между разрешенными комбинациями кода (например, кодеры Рида-Соломона).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Харкевич А.А. Борьба с помехами.- М.: Наука, 1965.- 276 с.
2. Золотарев В.В., Овечкин Г.В. Помехоустойчивое кодирование. – М.: Горячая линия - Телеком, 2004.
3. Скляр Б. Цифровая связь. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003.
4. Горбенко А.П., Колесников Н.А. Использование пакета LabView для анализа характеристик кода Рида-Соломона//Материалы ВНК «Теоретические и методические проблемы эффективного функционирования радиотехнических систем» («Системотехника-2012»). – Таганрог: Изд-во Ступина А.И., 2012. – с. 22 – 24.

УДК.621.396

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЕМНИКА ПЕЛЕНГОВАНИЯ

Андрианов А.В., Губарев Д.Е., Зикий А.Н., Шакунов С.А.

Таганрогский научно-исследовательский институт связи, Таганрог

Южный Федеральный Университет, Таганрог

Рассмотрена функциональная схема приемника пеленгования. Приведены результаты экспериментального исследования амплитудных и амплитудно-частотных характеристик в

диапазоне рабочих частот 0,4-1 ГГц. Показано, что неравномерность АЧХ не превышает 6,5дБ, неидентичность каналов менее 3дБ, динамический диапазон входных сигналов 40дБ.

Введение

Для обнаружения и пеленгования источников излучения нашли широкое применение логарифмические приемники [1,2]. Они обладают высокой точностью, большим быстродействием и хорошей повторяемостью. Целью данной работы является экспериментальное исследование логарифмического приемника. К нему предъявляются следующие требования:

- диапазон рабочих частот от 0,4 до 1,0 ГГц;
- динамический диапазон сигналов на входе не менее 40 дБ;
- длительность принимаемых радиоимпульсов не менее 0,1 мкс;
- период повторения не менее 1 мкс;
- неравномерность амплитудно-частотной характеристики не более 7 дБ;
- неидентичность каналов моноимпульсного пеленгатора не более 3 дБ.

Схема и конструкция

Приемник пеленгования представляет собой двухканальный приемник прямого усиления, функциональная схема которого показана на рис. 1. Каждый канал состоит из входного переключателя «Антенна-генератор контрольных сигналов», полосового фильтра на сосредоточенных элементах, ограничителя на рпн-диодах, цифрового аттенюатора, делителя мощности, малошумящего усилителя, логарифмического детектора и видеоусилителя.

Приемник выполнен в виде вставного блока размером 170x200x30 мм. На передней панели размещены все высокочастотные и низкочастотные соединители. На задней панели блока установлены два штыря для фиксации положения блока в кассете.

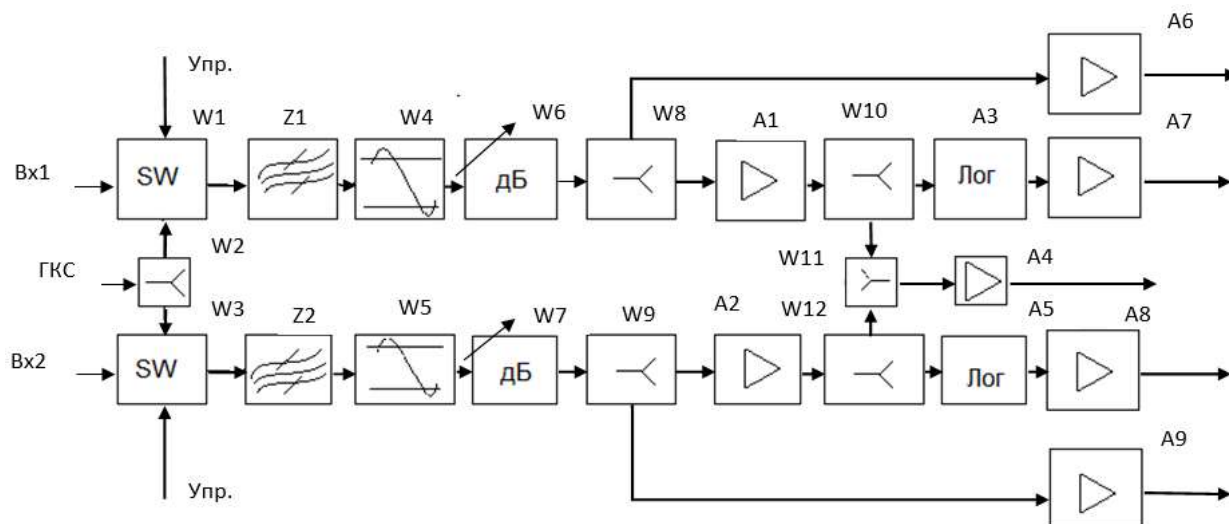


Рисунок 1 – Функциональная схема приемника

Эксперимент

Эксперимент проводился на установке, структурная схема которой приведена на рис. 2.

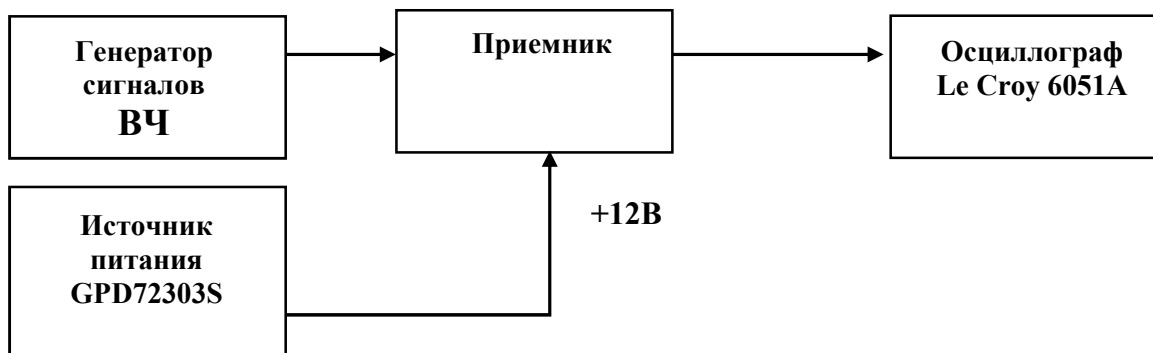


Рисунок 2 – Структурная схема измерительной установки

В первом эксперименте проводилось измерение амплитудной характеристики приемника на частоте 0,4 ГГц. Шаг изменения мощности входного сигнала 2дБ. Результаты измерения амплитудной характеристики отражены на рис. 3.

Во втором эксперименте проводилось измерение амплитудной характеристики приемника на частоте 0,7 ГГц. Результаты измерения амплитудной характеристики для двух каналов показаны на рис. 4.

В третьем эксперименте исследованы амплитудные характеристики приемника на частоте 1ГГц. Результаты этого эксперимента для двух каналов приведены на рис. 5.

В четвертом эксперименте измерялась амплитудно-частотная характеристика приемника. Частота генератора изменялась от 0,4 до 1ГГц с шагом 50 МГц. При этом мощность входного сигнала установлена минус 44 дБм. АЧХ каналов 1,2 приведены на рис. 6 и на рис. 7 для каналов 3 и 4.

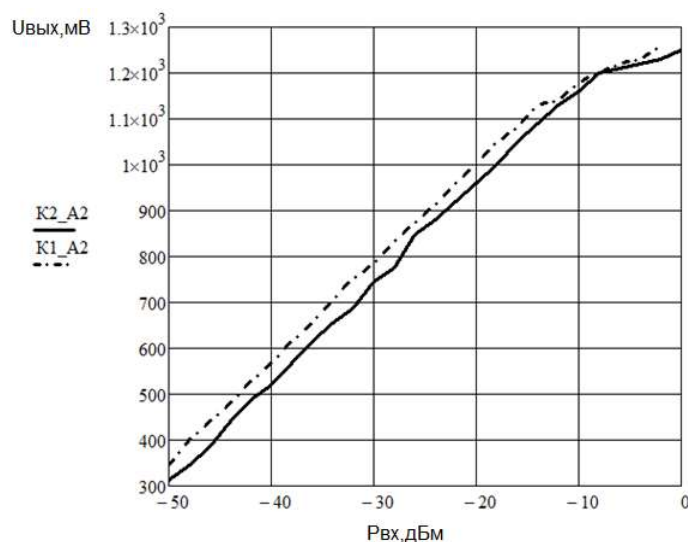


Рисунок 3 – Амплитудная характеристика приемника на частоте 400 МГц

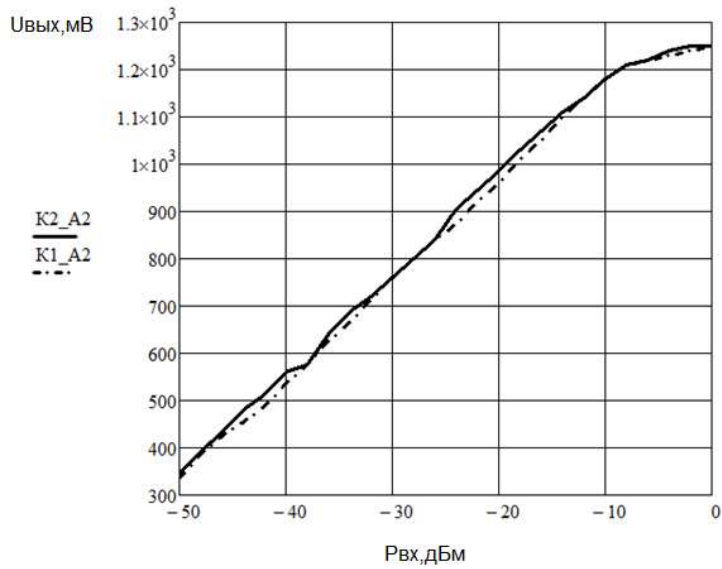


Рисунок 4 – Амплитудная характеристика приемника на частоте 700 МГц

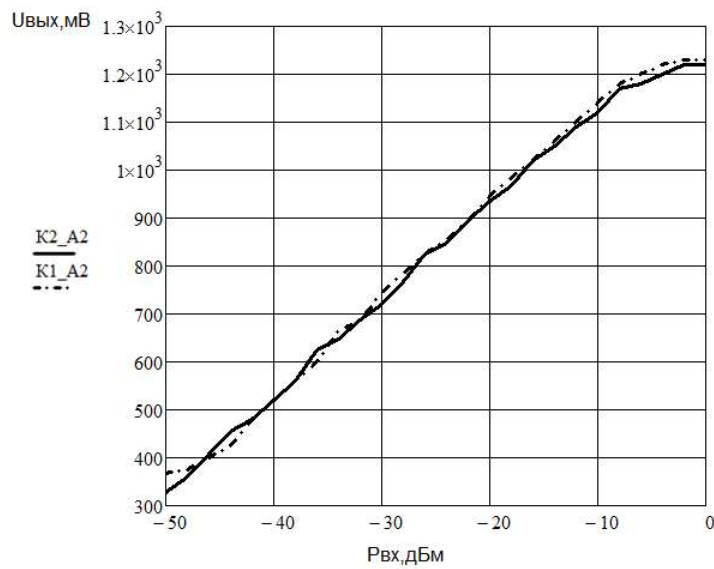


Рисунок 5 – Амплитудная характеристика приемника на частоте 1000 МГц

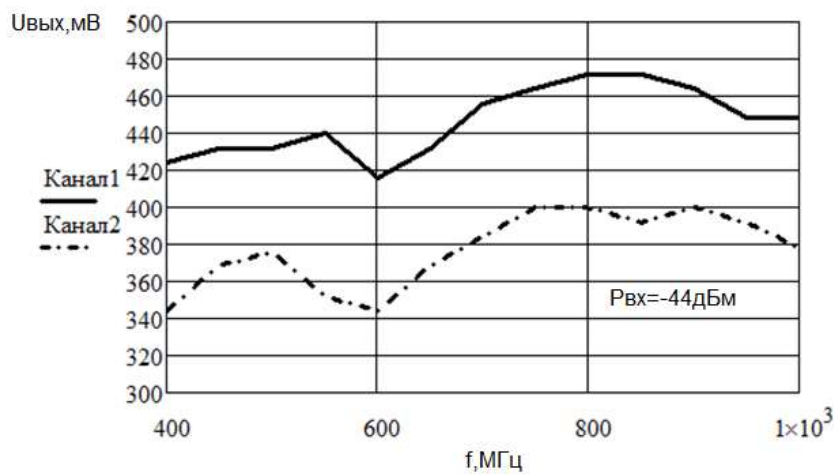


Рисунок 6 – Амплитудно-частотная характеристика приемника

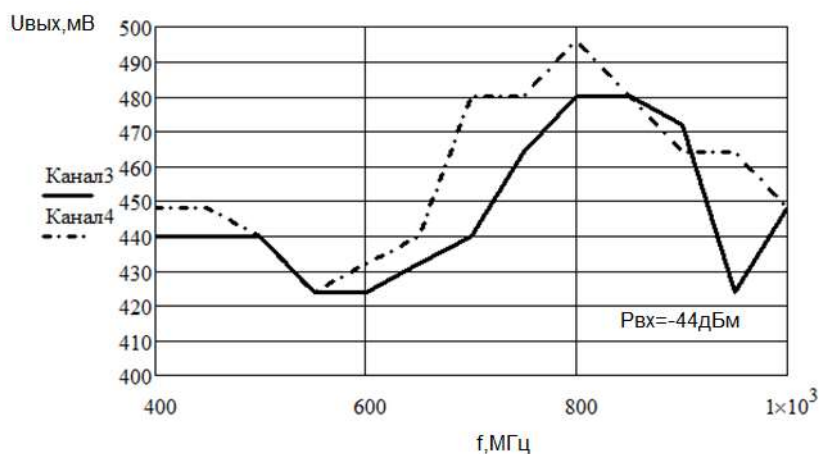


Рисунок 7 – Амплитудно-частотная характеристика приемника

Выводы

1. Неравномерность АЧХ находится в пределах 6,5 дБ;
2. Неидентичность каналов АЧХ не превышает 3 дБ. Погрешность неидентичности-важнейшая составляющая погрешности пеленгования [3];
3. Амплитудные характеристики близки к логарифмической прямой в пределах 40 дБ от минус 50 дБм до минус 10 дБм;
4. Возможные пути по совершенствованию изделия должны быть направлены на повышение идентичности каналов, уменьшение неравномерности их АЧХ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Tsui J.B.Y. Microwave Receivers with Electronic warfare Applications. // Wiley-Interscience Publication, 1986.-460p.
2. Беляев Д.В., Зикий А.Н., Понамаренко А.А. Динамический диапазон и пропускная способность приемника прямого усиления с логарифмическим видеоусилителем. // Вопросы специальной радиоэлектроники, серия Общие вопросы радиоэлектроники, 2004, №2, с. 118-12с.
3. Беляев Д.В., Зикий А.Н. Алгоритм пеленгования и погрешность неидентичности моноимпульсного пеленгатора. // Вопросы специальной радиоэлектроники, серия Общие вопросы радиоэлектроники, 2006, № 2, с. 54 – 57.

УДК 621.396

ОБНАРУЖЕНИЕ ОБЪЕКТОВ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ С ПОМОЩЬЮ АВТОМОБИЛЬНОГО РАДАРА СТАНДАРТА 77 ГГц

Беляев А.А., Суанов Т.А., Троц Д.О., Фролов И.О.

В статье приводятся экспериментальные результаты обнаружения объектов в типовой городской среде с помощью автомобильного радара миллиметрового диапазона и их

сравнительный анализ с данными, полученными при моделировании. (Abstract)

Ключевые слова — радар, модель радара, ЛЧМ, БПФ, миллиметровый диапазон, обнаружение объектов, кластеризация, динамический порог.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время радиолокационные датчики активно применяются в автомобильной сфере и являются неотъемлемой частью систем безопасности современного транспортного средства и систем продвинутой помощи водителю ADAS (Advanced driver-assistance systems) [1]. Данные датчики применяются для адаптивного круиз-контроля, автономного экстренного торможения, контроля слепых зон и способны выполнять свои задачи при различных погодных условиях в отличие от оптических датчиков, таких как видеокамеры и лидары.

В последние годы мировые автоконцерны постепенно переходят от радаров со стандартом 24 ГГц к более продвинутым устройствам с диапазоном 77 - 81 ГГц. Увеличенный частотный диапазон позволил использовать ширину спектра сигнала вплоть до 4 ГГц, что дало существенный выигрыш в разрешающей способности по дальности в сравнении с предыдущим поколением радиолокаторов. Также уменьшенные длины волн позволили сделать более компактные антенны и соответственно габаритные размеры устройства, открывая при этом дополнительные возможности в проектировании ММО (Multiple Input Multiple Output) структур с высокой разрешающей способностью по азимуту [2].

В связи с большой востребованностью радаров стандарта 77 ГГц в современной автопромышленности, возникает необходимость в программных и технических средствах для тестирования работы датчиков при различных сценариях функционирования. Наиболее сложными сценами для моделирования являются сцены с большим количеством статических и динамических объектов, что укладывается в сценарий работы радара в городских условиях.

ПОСТРОЕНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СЦЕНЫ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ

Современные среды моделирования для систем технического зрения (СТЗ), применяемые для симуляции дорожных ситуаций в городских условиях в настоящий момент не позволяют моделировать радиолокационные датчики. В связи с этим в работе [3] был предложен подход к моделированию радиолокационного сенсора, использующего частотный метод, в режиме реального времени на примере трёхмерной сцены дорожной обстановки, синтезированного в среде моделирования *CARLA* (*Car Learning to Act*).

Каждый из объектов в такой синтезированной трёхмерной сцене, представляется набором точечных излучателей, которые пересчитываются в отражённый радиолокационный сигнал согласно формуле:

$$\dot{U}_j = \sum_{m=1}^M \dot{U}_m e^{i2\pi[f_m(t-pT) + f_m^d(t-p)]} e^{iky_j \sin\varphi_m}; \quad (1)$$

где \dot{U}_j - амплитуда в j -ом приёмном канале; \dot{U}_m - амплитудный множитель m -го отражателя, зависящий от эффективной площади рассеивания (ЭПР) отражателя,

его дальности, излучаемой мощности излучателя и диаграммы направленности (ДН) излучателя; $f_m = S2\tau_m$ – разностная частота, обусловленная задержкой распространения сигнала от источника к m -му отражателю и затем к j -ому приёмнику; T – период следования импульсов; $p = 0, 1, 2, \dots, P - 1$ – номер зондирующего импульса в пачке из P импульсов; f_m^d – доплеровское смещение частоты, $f_m^d = 2f_u v_m/c$; f_u – частота колебаний источника излучения $f_u \approx f_0$; v_m – радиальная составляющая скорости относительного движения m -го отражателя и приёмника; c – скорость света в вакууме; k – волновое число; φ_m – азимутальная координата m -го отражателя.

Для каждого кадра трёхмерной сцены, синтезированной в *CARLA*, были построены карты отражателей, по которым вычислялись отсчёты сигнала разностной частоте, согласно выражениям (1) и (2), представляющего аддитивную смесь гауссовского шума и сигнала, отражённого от центров рассеяния. Далее при помощи трёхмерного быстрого преобразования Фурье (БПФ), вычисляется проекция спектральной плотности на плоскость «дальность-азимут» и пересчёт в прямоугольную систему координат в плоскости дороги. Пример полученного таким образом радиолокационного изображения показан на рисунке 1 (справа снизу). Сверху на рисунке показан синтезированный кадр, снизу слева – карта отражателей.

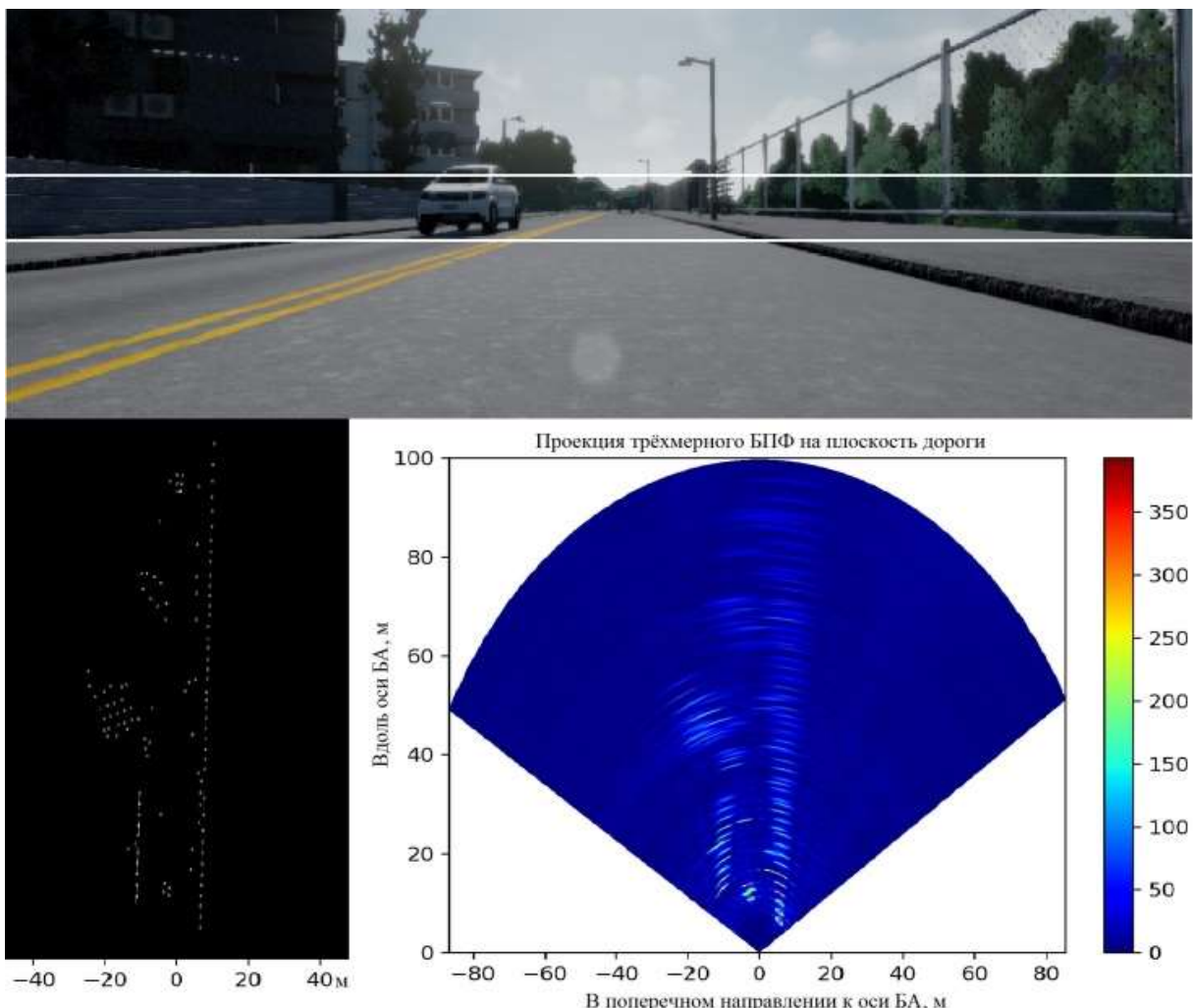


Рисунок 1 – Дорожная обстановка в оптическом и радиоволновом диапазонах

ПОЛУЧЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Для записи экспериментальных данных был спроектирован стенд, в состав которого вошли такие сенсоры, как радар на основе чипа TI AWR1243, лидар Sick LD-MRS400102 и камера AVT Vimba GT2050C. Структурная схема стенда приведена на рисунке 2.

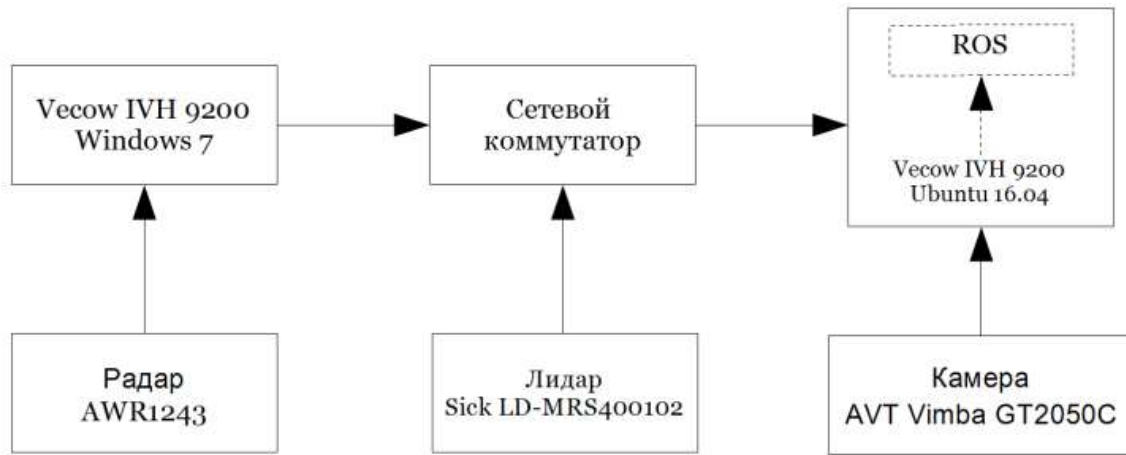


Рисунок 2 – Структурная схема стенда для записи экспериментальных данных

Комплексирование данных со всех датчиков осуществлялось в операционной системе ROS (Robot Operating System). Для захвата данных с выхода аналого-цифровых преобразователей (АЦП) макета радиолокатора было разработано функциональное программное обеспечение (ФПО), которое позволило реализовать алгоритмическую обработку в реальном времени и трансляцию полученного облака точек в ROS.

Обработка данных АЦП на первом этапе осуществлялась посредством расчёта спектра сигнала с помощью быстрого преобразования Фурье.

Помехоустойчивость методов обработки сигналов, основанных на преобразовании Фурье рассчитывается исходя из выражений приведенных ниже.

$$P(p) = \sum_{l=1}^L s(l)e^{-j2\pi pl/L}, \quad (3)$$

где $P(p)$ – значение спектра сигнала для текущей частоты p ; $s(l)$ – отражённый сигнал на разностной частоте для текущего отчёта; L – общее количество отчётов.

Если $s(l) = Ae^{j(2\pi f_p l/L + \varphi_0)}$, где A – амплитуда сигнала; f_p – разностная частота отражённого сигнала; φ_0 – фаза сигнала, тогда:

$$P(p) = \sum_{l=1}^L Ae^{j(2\pi f_p l/L + \varphi_0)} e^{-j2\pi pl/L} = \sum_{l=1}^L Ae^{j(2\pi f_p l/L - 2\pi pl/L + \varphi_0)}; \quad (4)$$

$$\text{При } f_p = p \quad P(p) = \sum_{l=1}^L Ae^{j\varphi_0};$$

Перейдем к значению амплитудного спектра $S(p)$:

$$S(p) = \left| \sum_{l=1}^L A e^{j\varphi_0} \right| \quad (5)$$

И согласно формуле Эйлера имеем:

$$S(p) = \sum_{l=1}^L A \sqrt{\cos^2 \varphi_0 + j \sin^2 \varphi_0} = \sum_{l=1}^L A. \quad (6)$$

Отсюда значение амплитудного спектра для двумерного и трехмерного преобразования Фурье:

$$S(p, q) = \sum_{h=1}^H \sum_{l=1}^L A; \quad (7)$$

$$S(p, q, k) = \sum_{n=1}^N \sum_{h=1}^H \sum_{l=1}^L A. \quad (8)$$

Исходя из выражений (6), (7) и (8) итоговые отношения сигнал/шум для одномерного, двумерного, трёхмерного преобразования Фурье будут соответственно:

$$q_1 = \frac{S(p)}{\sigma_{\Sigma noise}}; q_2 = \frac{S(p,q)}{\sigma_{\Sigma noise}}; q_3 = \frac{S(p,q,k)}{\sigma_{\Sigma noise}}, \quad (9)$$

где $S(p), S(p, q), S(p, q, k)$ – пиковые значения амплитудного спектра; $\sigma_{\Sigma noise}$ – среднеквадратичное значение просуммированного некоррелированного шума.

Исходя из вышеприведённых выражений справедливо, что $q_3 > q_2 > q_1$.

Ниже приведены азимутальные диаграммы после одномерного, двумерного и трехмерного преобразований Фурье при отношении сигнал/шум –45дБ и зафиксированном азимуте цели 40°. Из этих диаграмм видно, что при установленном отношении сигнал/шум корректный результат дает только трехмерное преобразование Фурье. Эти данные экспериментов подтверждают, что трехмерное преобразование Фурье дает самый большой выигрыш в помехоустойчивости.

После трёхмерного преобразования Фурье и проецировании рассчитанных данных на оси дальности, скорости и азимута, необходимо выделить объекты. Для этой задачи был применён алгоритм CFAR(constant false alarm rate), который обеспечивает постоянное количество ложных срабатываний независимо от уровня шума на входе устройства[4].

Существует несколько вариаций данного алгоритма. Одним из самых распространенных является алгоритм CA-CFAR (cell averaging constant false alarm rate), который позволяет рассчитать среднее значение ячеек в заданном окне и сравнивает его с центральной ячейкой, согласно выражению ниже.

$$Z = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i, \quad (10)$$

где N – размер окна; X_i – ячейки вне зоны центральной ячейки.

Вариациями алгоритма CA-CFAR являются алгоритмы CASO-CFAR(cell

averaging smallest of constant false alarm rate) и CAGO-CFAR(cell averaging greatest of constant false alarm rate), в которых окно делится на две половины, для каждой из которых рассчитывается среднее значение и выбирается либо большее (CAGO-CFAR), либо меньшее (CASO-CFAR).

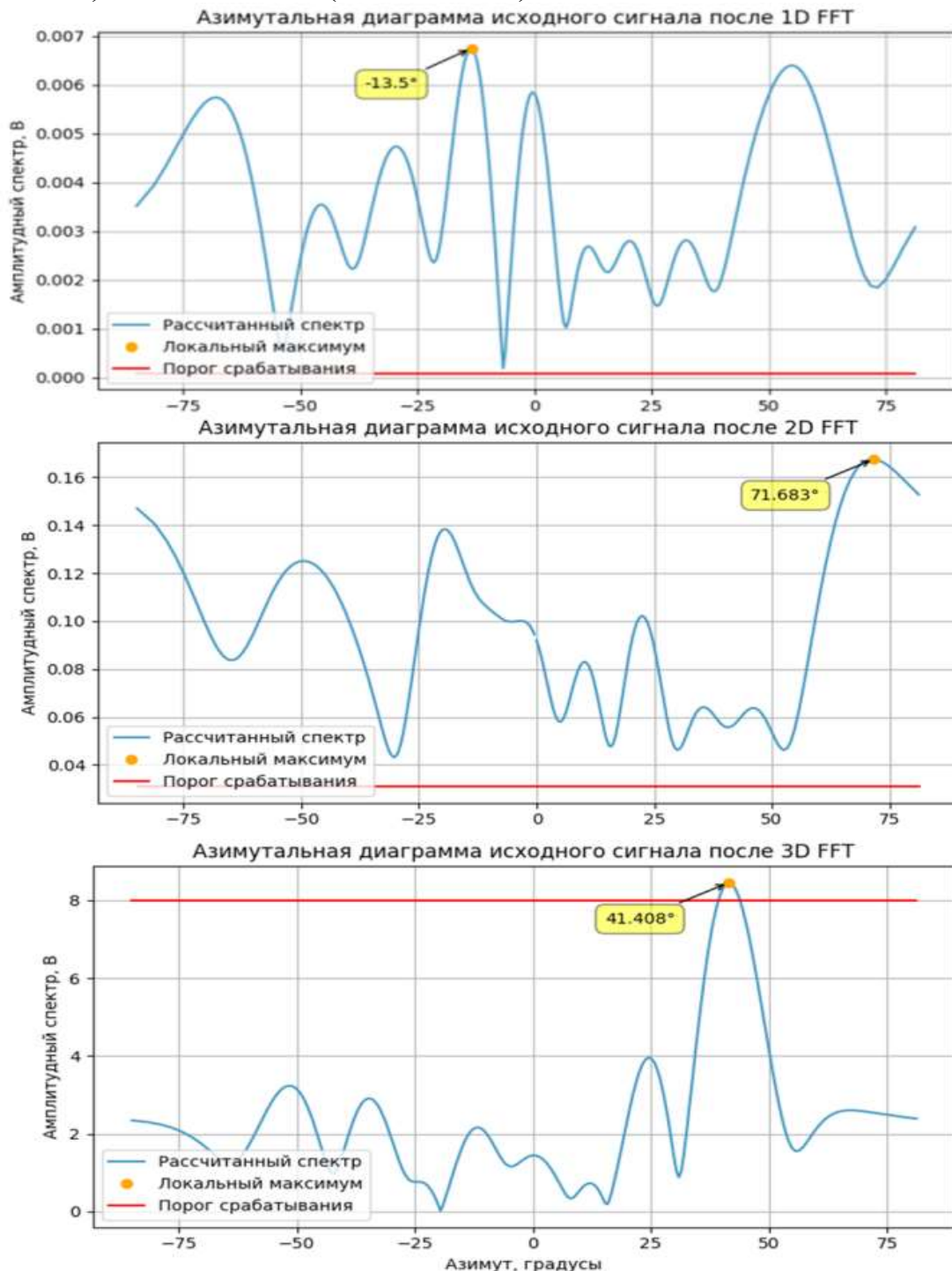


Рисунок 3 – Сравнение азимутальных диаграмм после одномерного, двумерного и трехмерного Фурье преобразований при отношении сигнал/шум -45дБ

Различия в работе алгоритмов CFAR на примере входного сигнала с целью на 30 метрах приведены на рисунке 4.

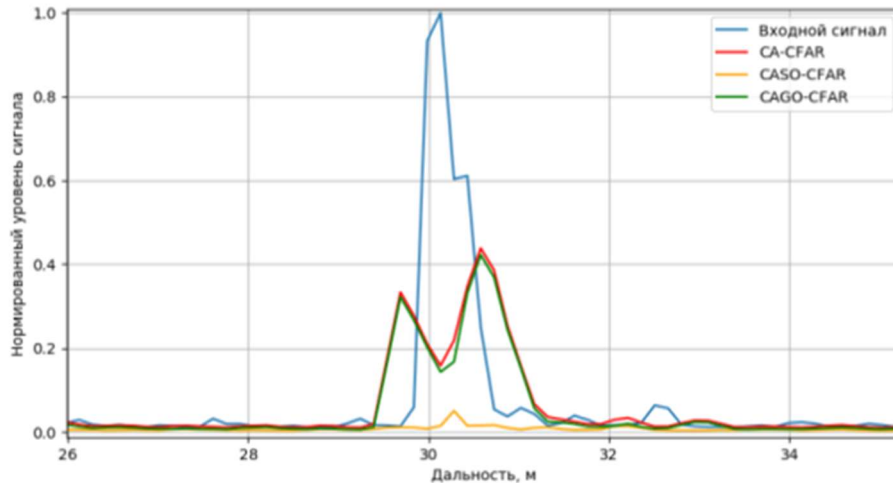


Рисунок 4 – Различие между алгоритмами CFAR

После детектирования объектов и определения их параметров, необходимо провести их кластеризацию. Существуют множество алгоритмов кластеризации, таких как K-means, DBSCAN, Mean shift и т.д. [5]. Так как количество целей неизвестно в каждом отдельно взятом кадре, то для задач кластеризации подойдёт алгоритм Mean shift, который не требует знания точного числа кластеров и позволяет определить это число сам. С помощью данного алгоритма объединяются точки данных в кластеры итеративно, добавляя точки согласно моде. Моду можно понимать как наивысшую плотность точек данных в регионе.

Перед использованием алгоритма Mean shift необходимо определиться с двумя следующими пунктами:

1) Определить функцию $N(x)$, которая позволяет найти ближайших соседей $x \in X$, где X – набор данных. Соседние точки – это точки с определенным расстоянием, которое обычно является Евклидовым расстоянием.

2) Определить ядро Mean shift $K(d)$, которое обычно является Гауссовским, где d – расстояние между двумя точками.

Алгоритм Mean shift состоит из последовательности действий приведенной ниже [6].

1) Для каждой точки $x \in X$ найти соседние точки $N(x)$.

2) Для каждой точки $x \in X$ рассчитать среднее смещение $m(x)$ по следующей формуле:

$$m(x) = \frac{\sum_{x_i \in N(x)} K(x_i - x) x_i}{\sum_{x_i \in N(x)} K(x_i - x)}. \quad (11)$$

3) Для каждой точки $x \in X$ обновить значения среднего смещения.

4) Повторить шаг 1 для n итераций пока изменение координат точек от итерации к итерации не станет меньше заданного значения.

Как видно из представленной последовательности действий, среднее смещение рассчитывается на шаге 2. Если повторяющиеся части в числителе и знаменателе в формуле среднего смещения заменить некоторыми весовыми

коэффициентами, то формула будет иметь следующий вид:

$$m(x) = \frac{\sum_i W_i x_i}{\sum_i W_i}. \quad (12)$$

Данная формула является определением среднего арифметического взвешенного. Гауссово ядро определяется следующим выражением:

$$K(d) = \frac{1}{B\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{d}{B}\right)^2}. \quad (13)$$

Евклидово расстояние для точек $p = (p_1, \dots, p_n)$ и $q = (q_1, \dots, q_n)$ определяется по формуле:

$$d(p, q) = \sqrt{(p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2 + \dots + (p_n - q_n)^2} = \sqrt{\sum_{k=1}^n (p_k - q_k)^2}. \quad (14)$$

Полоса пропускания ядра B минимизирует средний накопленный квадрат ошибки, и является свободным параметром, который оказывает сильное влияние на результат оценки. Существует эмпирическое правило Сильвермана [7] для выбора параметра B , которое приведено ниже.

$$B = \left(\frac{4\delta^5}{3n}\right)^{\frac{1}{5}} \approx 1,06\delta n^{-1/5}, \quad (15)$$

где δ – среднеквадратическое отклонение выборки; n – длина выборки.

После кластеризации облако точек транслируется в ROS, где комплексировается с другими датчиками.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В качестве места проведения эксперимента, была выбрана площадка с большим количеством автомобилей, и городской застройкой в виде кирпичной стены и здания. Целью экспериментального исследования была проверка правильности работы алгоритмов радара в реальном времени и комплексировании координат детектируемых объектов с лидарным датчиком (точность определения расстояния 4 см), с целью верификации полученного облака точек. На рисунке 5 сверху приведена сцена эксперимента, а также полученные данные от лидара в виде облака точек. Справа снизу на рисунке 5 приведена пересчитанная в прямоугольную систему координат проекция спектральной плотности на плоскость «дальность-азимут». На приведённых результатах видно, что наивысшую интенсивность в спектре имеет объект на дальности 31 метр, что соответствует плоскости кирпичной стены. Также на спектре хорошо заметны объекты на дальностях 21, 17 и 14 метров, которые соответствуют автомобилям.

На рисунке 6 показаны комплексированные данные лидара (белые точки) и облако точек, полученное от радара (красные точки). Из рисунка видно, что представленные результаты, находятся в хорошем соответствии, что говорит о

правильном определении координат объектов макетом радара.

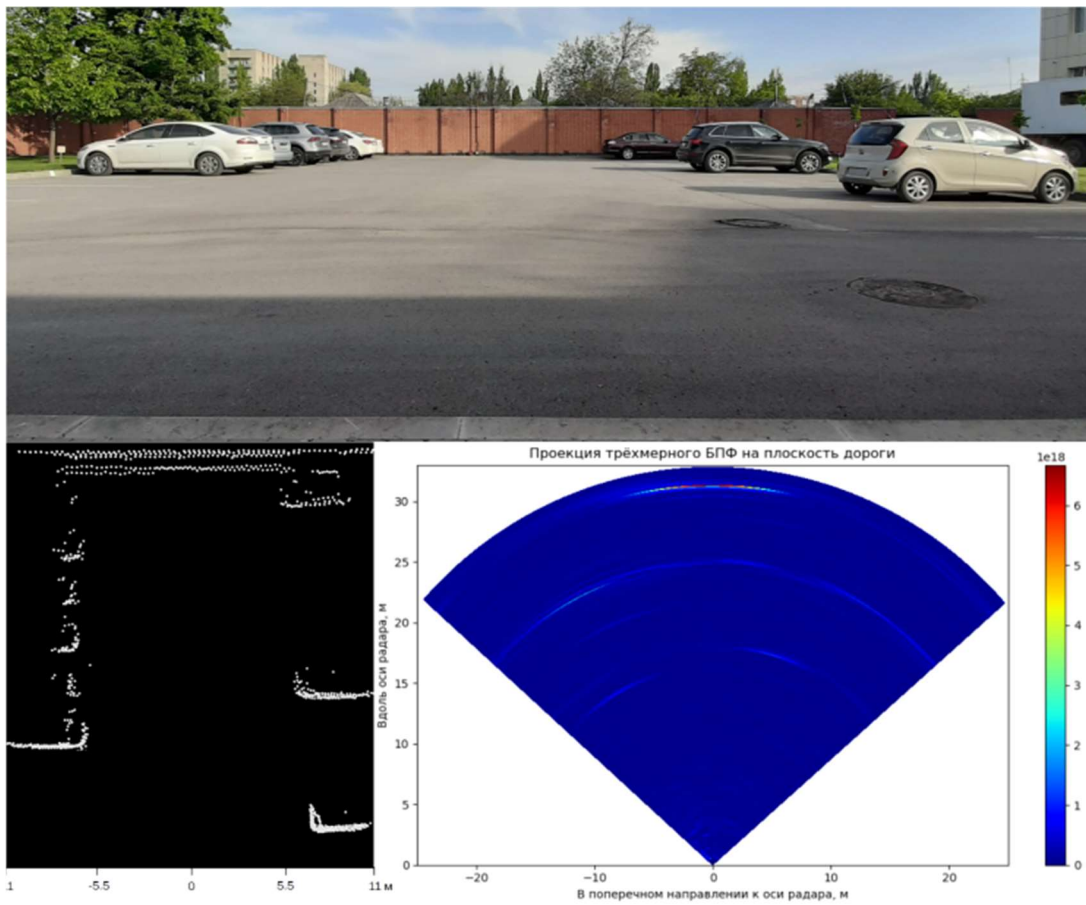


Рисунок 5 – Результаты проведения эксперимента

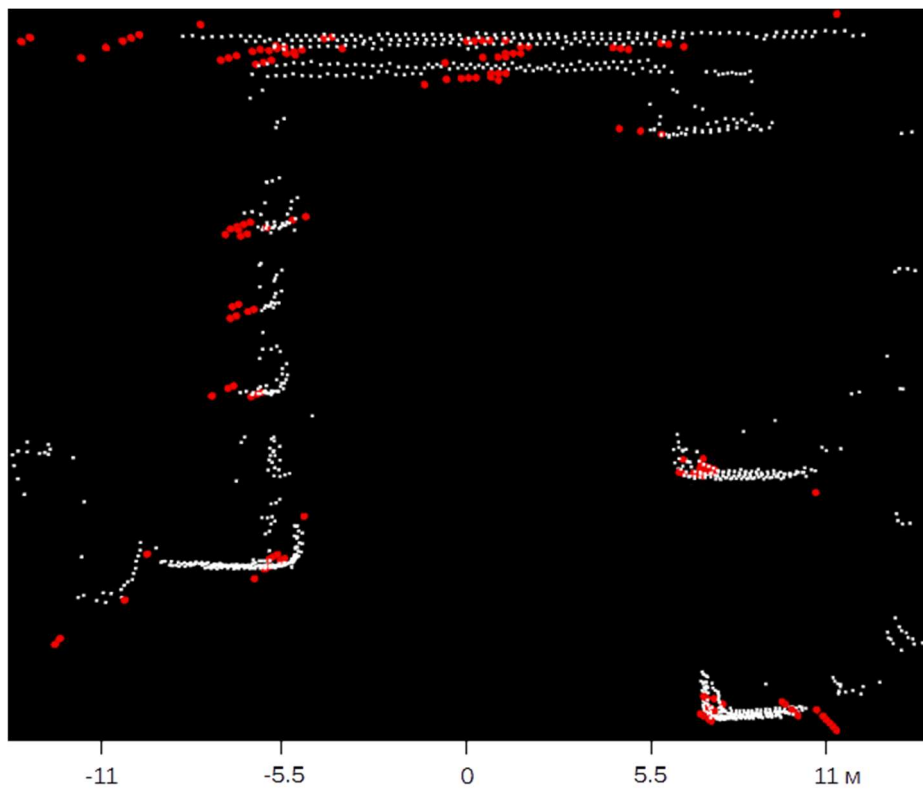


Рисунок 6 – Комплексованные данные лидара и радара.

ВЫВОДЫ

Исходя из результатов эксперимента, можно сделать вывод о том, что радары стандарта 77 ГГц, являются хорошим дополнением СТЗ автомобиля, в качестве датчика способного определять пространственное положение объектов в городских условиях. В настоящее время радары имеют относительно небольшое разрешение в азимутальной плоскости в режиме ближней зоны, как правило, превышающее 10° (при углах обзора в азимутальной плоскости $\pm 60^\circ$). Однако способность работать в сложных погодных условиях, и возможность определения скорости объектов вместе с их пространственными координатами, делает радары перспективным элементом ADAS систем. Стоит отметить, что повышение числа приёмных и передающих каналов даёт возможность создавать конфигурации антенн, образующих МИМО-структуры. Такие МИМО-структуры позволяют формировать виртуальные приёмные антенные решётки с числом элементов более ста, что обеспечивает разрешение в азимутальной плоскости 0.5° и менее.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ziebinski A. et al.* A survey of ADAS technologies for the future perspective of sensor fusion //International Conference on Computational Collective Intelligence. – Springer, Cham, 2016. – С. 135-146.
2. *Bilik I. et al.* Automotive MIMO radar for urban environments //2016 IEEE Radar Conference (RadarConf). – IEEE, 2016. – С. 1-6.
3. *Беляев А. А., Суанов Т. А., Троц Д. О.* Моделирование работы автомобильного радара в задаче автономного движения. – 2018.
4. *Katzlberger C., Gerstmaier D. I. M.* Object Detection with Automotive Radar Sensors using CFAR-Algorithms. – 2018.
5. *Jain A. K. et al.* Algorithms for clustering data. – Englewood Cliffs: Prentice hall, 1988. – Т. 6.
6. *Cheng Y.* Mean shift, mode seeking, and clustering //IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence. – 1995. – Т. 17. – №. 8. – С. 790-799.
7. *Silverman B. W.* Density estimation for statistics and data analysis. – Routledge, 2018.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА ДРОБНОГО ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ КИХ ФИЛЬТРОВ

Ильченко А.В., Клименко П.П.

Институт радиотехнических систем и управления, ЮФУ, Таганрог, Россия

Необходимым условием эффективной работы радиотехнических систем является измерение частотных параметров сигналов, в частности, несущей

(центральной) частоты. Задачу измерения частоты чаще всего решают с помощью быстрого преобразования Фурье. Однако в некоторых случаях необходимо формировать оценку несущей частоты в режиме реального времени за фиксированное время анализа в широком диапазоне частот с заданной погрешностью.

Таким образом, актуален вопрос разработки алгоритма измерения несущей частоты.

В работах [3-5] был рассмотрен метод оценки частоты радиосигналов по критерию центра тяжести частотного спектра методом моментов с применением математического аппарата дробного дифференцирования. По методу моментов 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 $(0, T)$.

Числитель и знаменатель формулы (1) можно преобразовать к следующему виду [1-2]:

$$\int_0^{\infty} \omega S^2(\omega) d\omega = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} |\sqrt{j\omega} S(\omega)|^2 d\omega = \pi \int_0^T [D^{1/2} x(t)]^2 dt, \quad (2)$$

$$\int_0^{\infty} S^2(\omega) d\omega = \pi \int_0^T x^2(t) dt, \quad (3)$$

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; T – интервал наблюдения.

Подставив выражения (2) и (3) в (1), получим

$$\omega_0 = \frac{\int_0^T [D^{1/2} x(t)]^2 dt}{\int_0^T x^2(t) dt}, \quad (4)$$

где $D^{1/2}$ – дробно-дифференцирующее звено (ДДЗ), реализующее операцию дробного дифференцирования.

Алгоритм (4) позволяет формировать оценку несущей частоты в режиме реального времени по мере поступления отсчетов сигнала $x(t)$. Реализация алгоритма (4) сводится к синтезу ДДЗ, то есть к реализации алгоритма дробного дифференцирования функции $x(t)$.

Математическое определение дробных производных по Риману-Лиувиллю приведено в [6]:

$$D^\alpha(t) = \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)} \frac{d}{dt} \int_0^t \frac{x(\tau)}{(t-\tau)^\alpha} d\tau, \quad (5)$$

где $0 < \alpha < 1$ – порядок производной; $\Gamma(x)$ – гамма функция; $x(\tau)$ – дифференцируемая функция.

Тогда при $\alpha = 1/2$ из (5) получим выражение для полупроизводной

$$D^{1/2}(t) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{d}{dt} \int_0^t \frac{x(\tau)}{\sqrt{t-\tau}} d\tau, \quad (6)$$

Подынтегральное выражение в (6), зависящее от $\sqrt{t-\tau}$, можно рассматривать как свертку сигнала $x(t)$ с импульсной характеристикой $h(t) = 1/\sqrt{t}$.

Так как в (6) присутствует интеграл свертки, то реализовать алгоритм можно в виде КИХ фильтра. Известно, что коэффициенты КИХ фильтра представляют собой отсчеты импульсной характеристики [7]. Таким образом, реализация алгоритма дробного дифференцирования сводится к синтезу КИХ фильтра по импульсной характеристике вида $h(t) = 1/\sqrt{t}$.

В [6] приведен результат вычисления полупроизводной от гармонического сигнала. Следовательно, можно определить амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) эталонного ДДЗ для определения точности аппроксимации АЧХ синтезируемого КИХ фильтра.

$$\frac{d^{1/2}}{dt^{1/2}} \sin(2\pi f_0 t + \varphi_0) = \sqrt{2\pi f_0} \sin\left(2\pi f_0 t + \varphi_0 + \frac{\pi}{4}\right),$$

где f_0 – частота гармонического сигнала; φ_0 – начальная фаза.

В среде MatLab было проведено исследование алгоритма (6). По имеющейся импульсной характеристике $h(t) = 1/\sqrt{t}$ был синтезирован КИХ фильтр. Параметры моделирования: частота дискретизации 1 МГц, интервал наблюдения 10 мс. АЧХ синтезированного КИХ фильтра и АЧХ эталонного ДДЗ приведены на рисунке 1. Критерием оценки точности измерения частоты будем считать величину относительной ошибки:

$$\delta f_0 = \frac{|\hat{f}_0 - f_0|}{f_0} \cdot 100\%$$

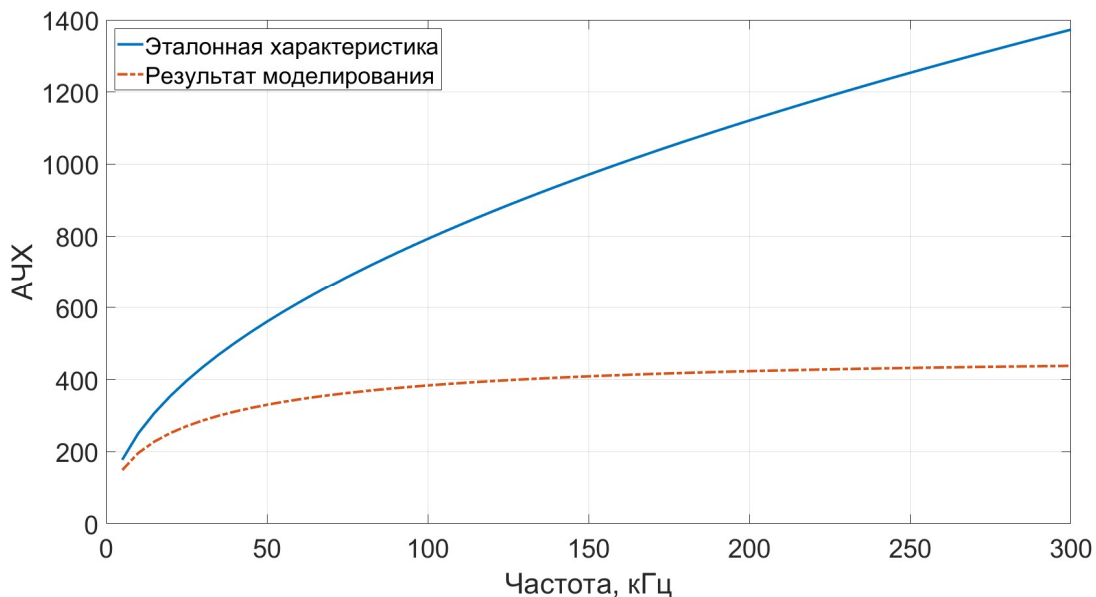


Рисунок 1 – Результат расчета АЧХ КИХ фильтра

По рисунку 1 видно, что ДДЗ представляет собой аналог фильтра верхних частот, АЧХ которого имеет крутизну 3дВ на октаву. Для компенсации крутизны АЧХ ДДЗ был синтезирован второй КИХ фильтр методом частотной выборки по 200 отсчетам. Полученная в результате синтеза импульсная характеристика была умножена на окно Блэкмана.

Результат исследования относительной ошибки δf_0 алгоритма (4), где в качестве ДДЗ выступают 2 КИХ фильтра, приведен на рисунке 2.

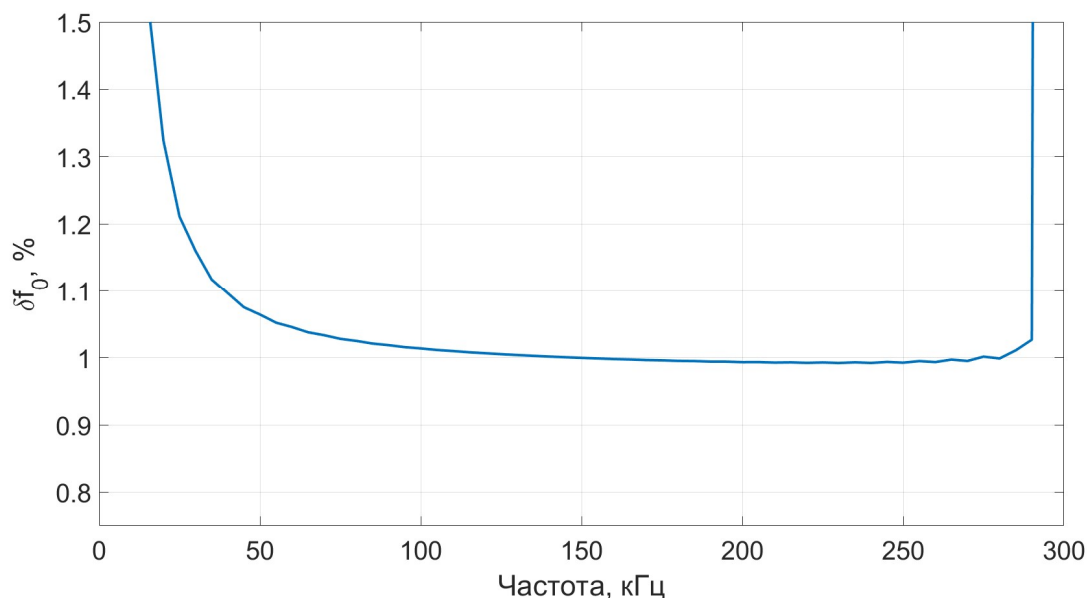


Рисунок 2 – Относительная ошибка измерения частоты

Таким образом, результат моделирования показал, что алгоритм (4) обеспечивает относительную ошибку оценки частоты не более 1,25% в диапазоне частот 25-275кГц.

Повышая порядок КИХ фильтров и учитывая коэффициент ослабления оконной функции, можно получить более точную аппроксимацию эталонной АЧХ ДДЗ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Радио и связь – 1986.
2. Френкс Л. Теория сигналов/ Перевод с англ. под ред. Д.Е. Вакмана. – М.:Сов.радио. – 1974.
3. Захарченко В.Д., Коваленко И.Г. Оценка радиальной скорости объектов методом дробного дифференцирования доплеровского сигнала РЛС // Microwave & Telecommunication Technology / Севастополь. – 2013.
4. 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.

5. Казакова Е.А. Применение дробнодифференцирующего фильтра для сверхбыстрой оценки параметров движения опасных для Земли астероидов // Человек и окружающая среда / Вестник ВолГУ – 2015.

6. Самко С.Г., Килбас А.А, Маричев О.И. Интегралы и производные дробного порядка и некоторые их приложения. Минск: Наука и техника – 1987.

7. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. СПб.: БХВ-Петербург – 2011.

АНАЛИЗ ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ СПЕКТРА РЕЧЕВОГО СИГНАЛА ДЛЯ АУТЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ВИРТУАЛЬНОГО ПРИБОРА LABVIEW

Корниенко В.Т., Морозов М.Е., Медведев Ю.В.

Институт радиотехнических систем и управления, ЮФУ, Таганрог, Россия

Перспективными решениями для повышения эффективности различных систем доступа являются биометрическими динамические характеристики, основанные на голосовых особенностях человека, как показано для анализа спектра речевого сигнала при идентификации голосового источника [1– 4]. Не смотря на то, что большая часть отличительных речевых признаков пользователя находится в диапазоне частот 4–5 кГц, 6,5–7,8 кГц [2,3], проведем дополнительный анализ, как было проделано ранее [5,6], в пределах полосы пропускания канала речевых сообщений 0,3–3,4 кГц.

Используя технологию построения виртуальных приборов LabVIEW для быстрого и наглядного представления эмпирической оценки при анализе спектра речевых сигналов, рассмотрим подход на основе анализа коэффициента взаимной корреляции в поддиапазонах речевого сигнала во временной и частотных областях [3].

Цель данной работы – выявить с использованием виртуального прибора LabVIEW информативные участки амплитудного спектра речевого сигнала для выявления основных отличительных признаков различных пользователей.

Для записанной ключевой фразы речевого сигнала несколькими пользователями с помощью созданного виртуального прибора, осуществляющего фильтрацию спектра речевого сигнала в диапазоне от 300 Гц до 3,4 кГц на десять поддиапазонов, проводилось вычисление для каждого поддиапазона коэффициентов взаимной корреляции временных реализаций речевых сигналов, их амплитудных спектров и коэффициентов взаимной корреляции спектров.

Временные реализации речевых сигналов ключевой фразы на примере двух пользователей показаны на рис.1, а соответствующие графики спектральной плотности мощности для этих речевых сигналов в логарифмическом масштабе представлены на рис.2. Как видно из

представленных графиков, основная часть энергии речевых сигналов сосредоточена в низкочастотной области их спектра, но формализация отличительных особенностей очевидна в диапазоне от 1 до 2 кГц. Построив графики взаимных коэффициентов корреляции временных реализаций речевых сигналов, взятых из десяти поддиапазонов, для нескольких пользователей, представленные на рис.3, можно заключить, что в некоторых поддиапазонах наблюдается ярко выраженная отрицательная корреляция, что свидетельствует о различном характере поведения случайных процессов, представляющих речевые сигналы различных пользователей.

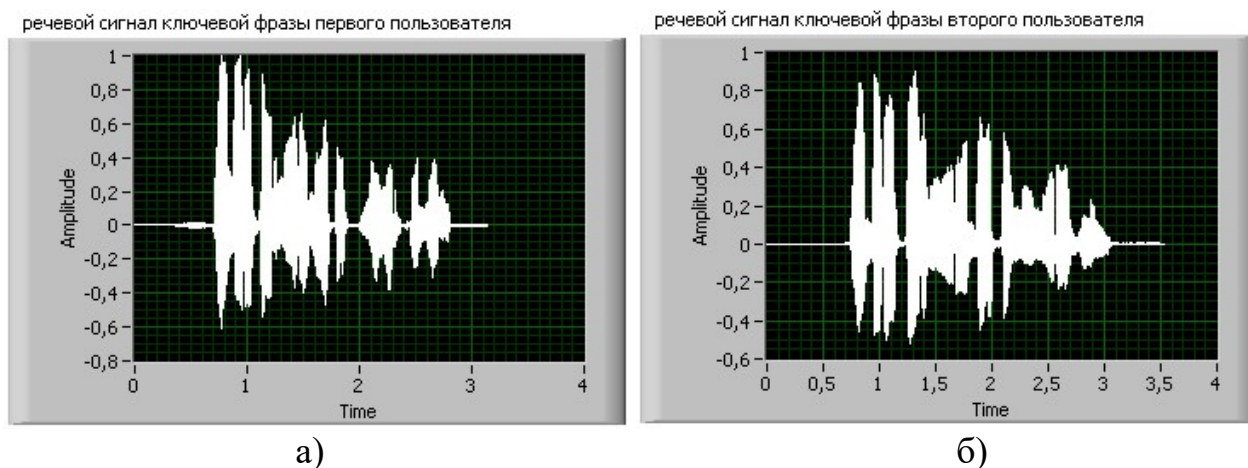


Рисунок 1 – Временные реализации речевых сигналов ключевой фразы: а) первого пользователя, б) второго пользователя

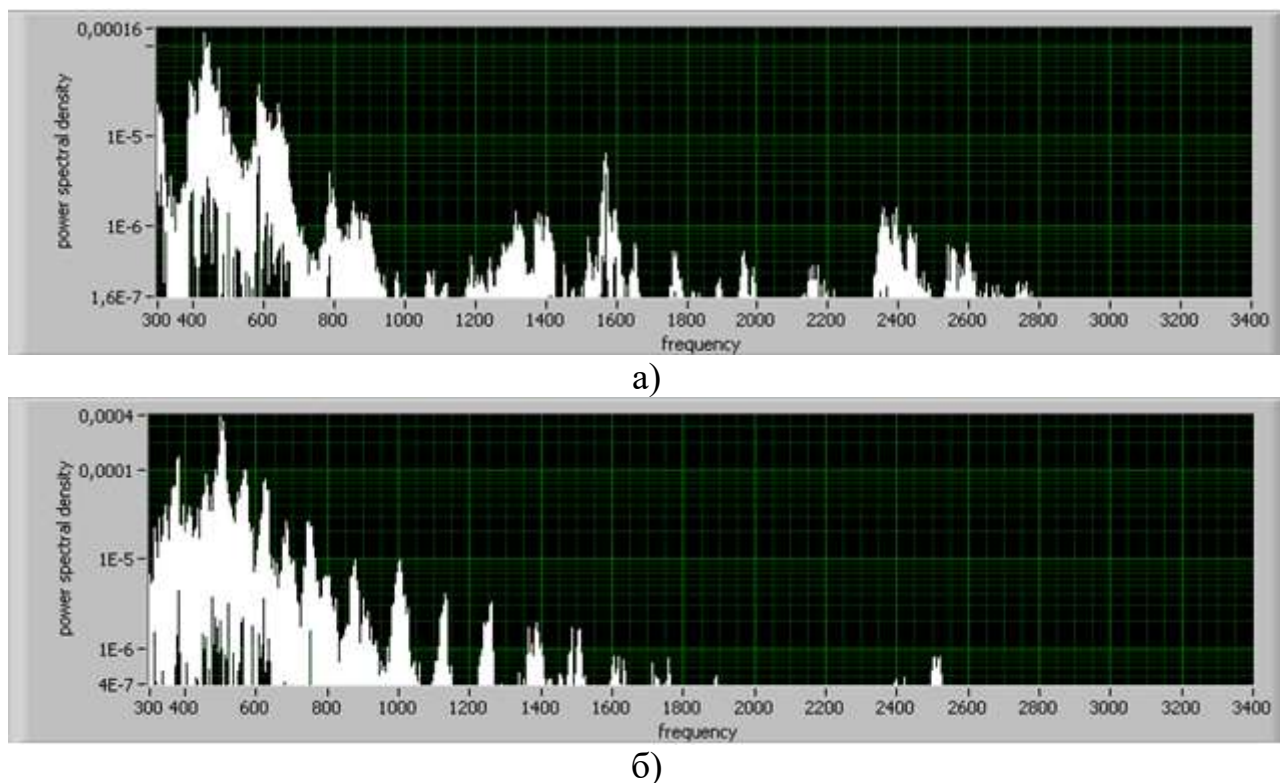


Рисунок 2 – Спектральные плотности мощности для речевых сигналов ключевой фразы: а) первого пользователя, б) второго пользователя

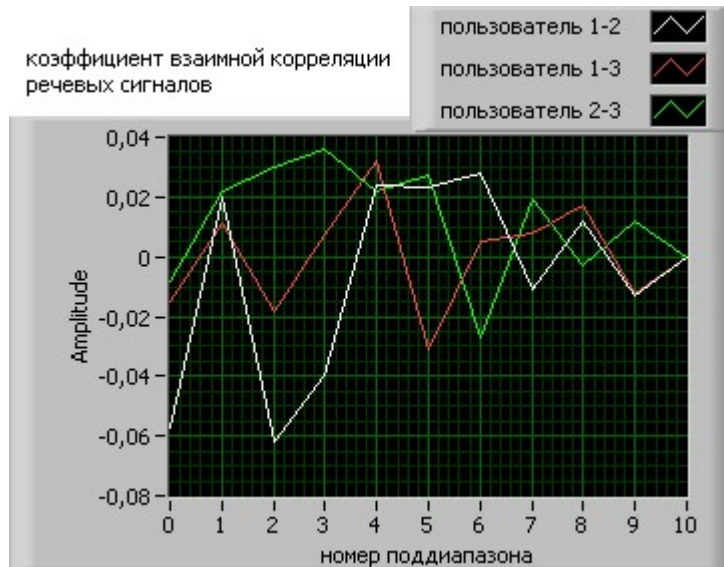
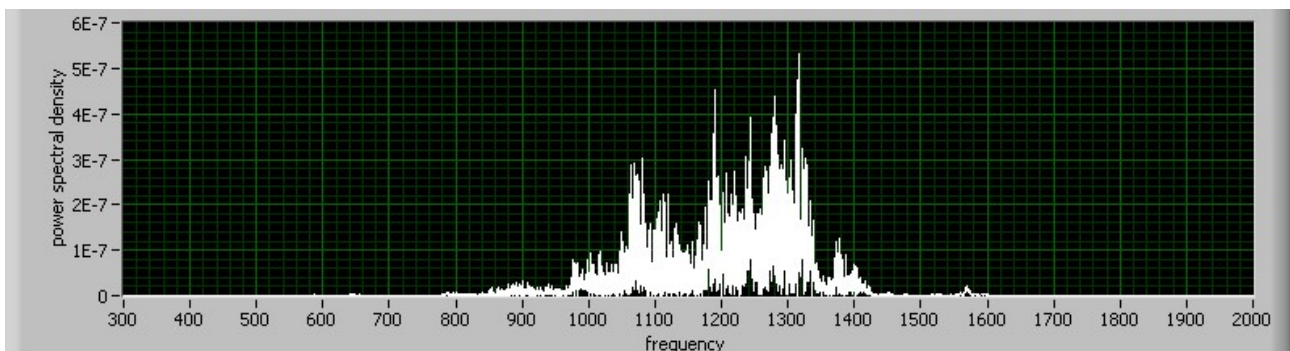
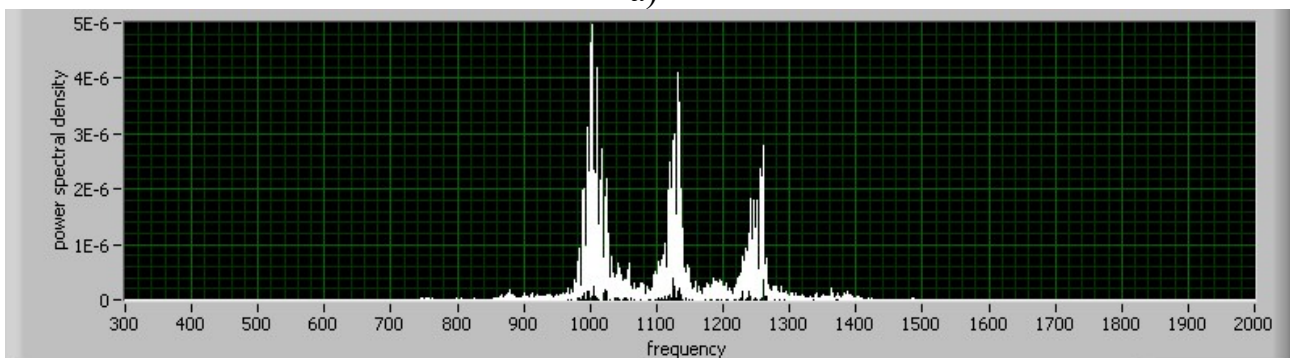


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента взаимной корреляции речевых сигналов нескольких пользователей в различных поддиапазонах спектра речевого сигнала

В связи с этим, руководствуясь ходом зависимостей коэффициента взаимной корреляции, на примере второго поддиапазона представим графики спектральных плотностей мощностей речевых сигналов двух пользователей, представленные на рис.4.



а)



б)

Рисунок 4 – Спектральные плотности мощности для речевых сигналов второго поддиапазона: а) первого пользователя, б) второго пользователя

Теперь если подвергнуть взаимокорреляционной обработке амплитудные спектры речевых сигналов пользователей в десяти поддиапазонах, то получим графики коэффициентов взаимной корреляции, представленные на рис.5. При построении спектральных плотностей мощностей использовалась весовая обработка окном Хеннинга.

Детальный анализ изменений коэффициентов взаимной корреляции спектра речевого сигнала показывает, что в данном примере наиболее информативные участки спектра со второго по пятый поддиапазоны позволяют провести аутентификацию пользователей по пороговому значению коэффициента взаимной корреляции в диапазоне от 0,05 до 0,35.

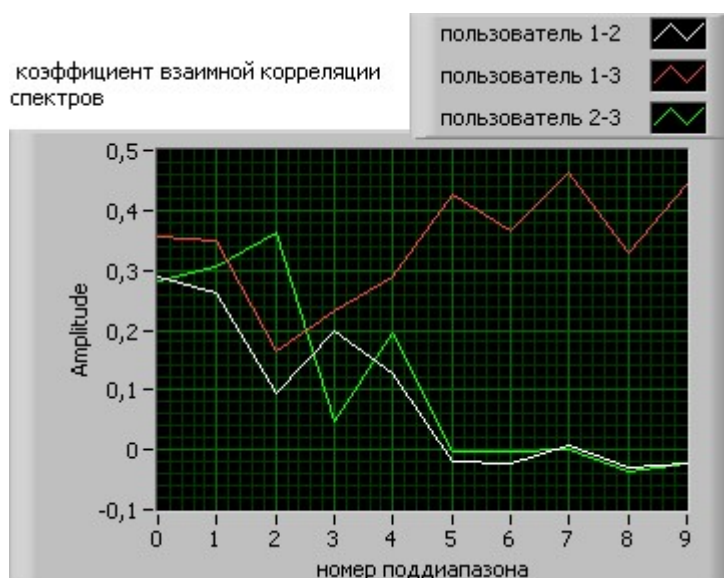


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента взаимной корреляции амплитудных спектров речевых сигналов нескольких пользователей в различных поддиапазонах спектра речевого сигнала

Таким образом, динамическая аутентификация пользователей может быть осуществлена на основе записанных ключевых фраз зарегистрированных пользователей по рассчитываемым значениям коэффициентов взаимной корреляции спектров речевых сигналов в определенных поддиапазонах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Файзулаева О.Н., Пастушенко Н.С.* Экспериментальные исследования амплитудного и фазового спектров речевого сигнала пользователя систем голосовой аутентификации. // Электронное научное специализированное издание «Проблемы телекоммуникаций». – 2016 – № 2 (19). – С. 28–34.
2. *Сорокин В.Н., Вьюгин В.В., Тананыкин А.А.* Распознавание личности по голосу: аналитический обзор // Информационные процессы. – 2012. – Т. 12, № 1. – С. 1–30.
3. *Besacier L., Bonastre J.-F.* Subband architecture for automatic speaker recognition // Signal Process. – 2000. – Vol. 80. – P. 1245–1259.

4. *Lu X., Dang J.* An investigation of dependencies between frequency components and speaker characteristics for text-independent speaker identification // *Speech Communication*. –2007. – Vol. 50, No. 4. – P. 312-322.

5. *Корниенко В.Т., Морозов М.Е., Медведев Ю.В.* Аутентификация пользователя по спектру речевого сигнала на основе виртуального прибора LABVIEW. // *Проблемы современной системотехники – сборник научных статей*. – Таганрог, 2018 – С.99–103.

6. *Корниенко В.Т., Морозов М., Медведев Ю.* Алгоритм выделения формант из спектра речевого сигнала // *Проблемы современной системотехники – сборник научных статей*. – Таганрог, 2017 – С.207–209.

7. *Иванченко С., Махмудов Ф., Корниенко В.Т.* Алгоритм распознавания речевых сигналов в условиях искажений // *Проблемы современной системотехники – сборник научных статей*. – Таганрог, 2017 – С.210–212.

УДК 550.3.001.5

ПРИМЕНЕНИЕ ГИБРИДНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПЛАЗМЕННОЙ СВАРКИ

Аль-Шамки Амир Абдулкадим Оуда, Финаев В. И.

*Институт радиотехнических систем и управления
Южный федеральный университет, Таганрог, Россия*

Приводятся сведения об измерениях и неопределенности параметров наблюдаемых объектов. Рассмотрено применение методов теории измерений и нечетких интервалов для формализации результатов измерений. Задание неопределенности экспертным путем в виде нечетких интервалов является более общим способом формализации понятия «неопределенность».

Ключевые слова: измерение, неопределенность, формализация, погрешность, нечеткий интервал

Введение. Применение автоматизации для реализации процесса управления плазменной сваркой связано с проектированием сварочных агрегатов, компонентом которого является система автоматического управления (САУ). Цель САУ при управлении плазменной сваркой состоит в том, чтобы, исходя из данных измерений и анализа текущего состояния сварочного процесса, находить значения переменных управления [1]. Анализ многочисленных источников указывает, что в настоящее время предлагается достаточно много сварочного оборудования с автоматическим и автоматизированным управлением [2 - 5]. САУ для сварки реализуют с применением ПИ-, ПИД-регуляторов или регуляторов другого типа. Однако при применении САУ на основе классических необходимо выполнять настройку параметров регуляторов, а процесс сварки отличается нестабильными параметрами. Следовательно, применение данного вида САУ даст существенные погрешности, т.к. сложно отслеживать изменение

параметров процесса сварки, да и сама сварочная дуга – формально процесс горения, который не имеет математической модели. Следует вывод о целесообразности применения гибридных регуляторов, что позволит создавать эффективные САУ для плазменной сварки.

При применении гибридных регуляторов САУ может быть построена на основе двух автономных методов. Первый метод обычно применяют при моделировании непрерывных процессов, а другой метод – при моделировании дискретных процессов. В основе гибридизации находятся три закона, которые имеют наименование «закон взаимной адаптации», «закон дискретных рядов структур» и «закон трансформаций».

САУ плазменной сваркой является адаптивной системой управления, а суть адаптации выражается в том, что новая структура знаний системы порождается на базе предыдущей структуры знаний, которые определяются с привлечением экспертов. Следовательно, адаптивная САУ плазменной сваркой определяется законом трансформации.

Гибридная система управления. Гибридная САУ – двухуровневая система, причем первый уровень реализован с применением классических методов ТАУ на дифференциальных уравнениях (точные количественные методы), а второй уровень – уровень обработки знаний экспертов и модели принятия решений, что позволяет управлять процессом сварки в условиях неопределённости. Рассмотрим поэтапную алгоритмизацию решения задачи управления с применением адаптивной гибридной САУ плазменной сваркой.

Первый этап – проектирование САУ с применением традиционных регуляторов классической теории автоматического управления с учетом того, что входные параметры – сигналы, поступающие от внешней среды (возмущения).

Второй этап – обработка знаний экспертов и построение моделей принятия решений.

Третий этап – анализ принятия решений и реализация выбранного метода синтеза гибридной САУ на основе данных анализа принимаемых решений.

Четвёртый этап - оценка эффективности функционирования адаптивной гибридной САУ плазменной сваркой. Знаний оценок позволяют корректировать (настраивать) работу системы управления для продолжения или завершения работы проектирования гибридного регулятора.

Управление с применением нечеткой логики. Управление процессом плазменной сварки происходит в условиях неопределенности. Применяются знания экспертов, обработка которых происходит с применением теории нечетких множеств, а знания экспертов формализуют с применением нечёткой логики. Это позволяет проектировать систему нечёткого управления, структурная схема которой показана на рис. 1 [6].

В САУ входит объект управления и система нечёткого управления, находящаяся в цепи обратной связи. Обязательным компонентом САУ является сравнивающее устройство. Процесс логического вывода – основа адекватного управления с применением САУ данного вида. Процесс логического вывода реализуют на основе концепций теории нечётких множеств, т.е. при применении

лингвистических и нечетких переменных, функций принадлежности и нечётких логических операций.

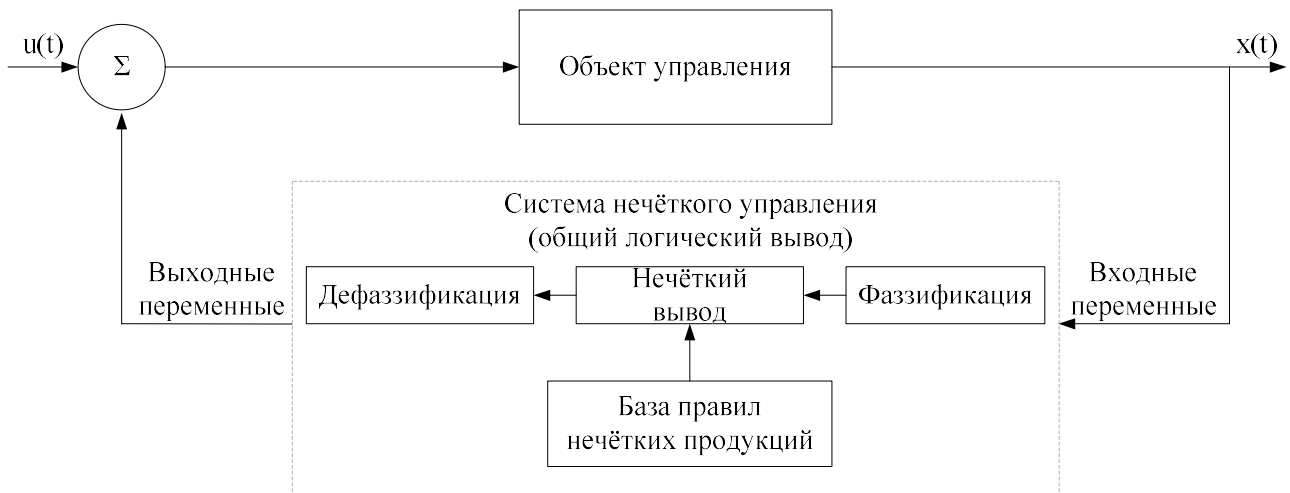


Рис. 1 – Структурная схема системы автоматического нечеткого управления

Процесс плазменной сварки реализуется с возможными измерениями параметров, которые поступают на вход САУ. Информация на выходе САУ – выходные (управляющие) переменные. Общий логический вывод осуществляется в четыре этапа – фазификация, нечеткий вывод, композиция, дефазификация.

Нечёткий вывод реализован классически, т.е. с применением продукционных правил или нечётких продукций: $(i): Q, P, A \Rightarrow B, S, F, N$, где (i) – имя нечёткой продукции; Q – сфера применения нечёткой продукции; P – условие применимости ядра нечёткой продукции; $A \Rightarrow B$ – ядро нечёткой продукции, A – условие ядра; B – заключение ядра; « \Rightarrow » – знак логического следования; S – метод определения количественного значения степени истинности заключения ядра; F – коэффициент определенности нечёткой продукции; N – постусловия продукции.

Получение окончательно управляющего решения происходит на этапе дефазификации. На данном этапе для каждой из выходных лингвистических переменных будут найдены количественные значения в форме некоторого действительного числа.

Интеграция классической теории управления и технологий нечёткого управления. Суть интеграции состоит в применении знаний алгоритма управления методами теории автоматического управления для задания базы правил нечёткого регулятора [7]. В качестве параметров для представления знаний применяем переменные САУ: ошибка θ , скорость изменения ошибки $\dot{\theta}$, интегрированный сигнал ошибки $1/s$, ускорение ошибки $\ddot{\theta}$ и управляющее воздействие U для плазматрона. Как видим, это параметры, которые применяют при реализации ПИД-регулятора. Алгоритм работы гибридной модели состоит из следующих действий.

П. 1. Расчёт параметров установки плазменной сварки.
 П. 2. Математический расчёт параметров ПИД-регулятора.
 П. 3. Синтез модели управления и анализ параметров переходного процесса.

П. 4. Выбор переменных θ , $\dot{\theta}$, $\ddot{\theta}, 1/s, U$, необходимых для синтеза нечёткого регулятора.

П. 5. Синтез нечёткой модели управления, входными переменными которого являются θ , $\dot{\theta}$, $\ddot{\theta}, 1/s$, а выходной переменной, U .

П. 6. Анализ основных показателей качества переходного процесса полученной нечёткой модели.

П. 7. Корректировка базы правил нечёткого регулятора, для достижения желаемого переходного процесса.

Моделирование САУ с применением ПИ-регулятора и нечёткого регулятора. Построение адаптивной гибридной САУ плазменной сваркой будет аналогичным построению гибридной системы управления электрическим двигателем с независимым возбуждением (ДПТ НВ). Поэтому кратко рассмотрим системы управления на основе ПИ-регулятора и нечёткого регулятора для САУ скоростью двумя ДПТ НВ. Модель данной системы показана на рис. 2 и рис. 3.

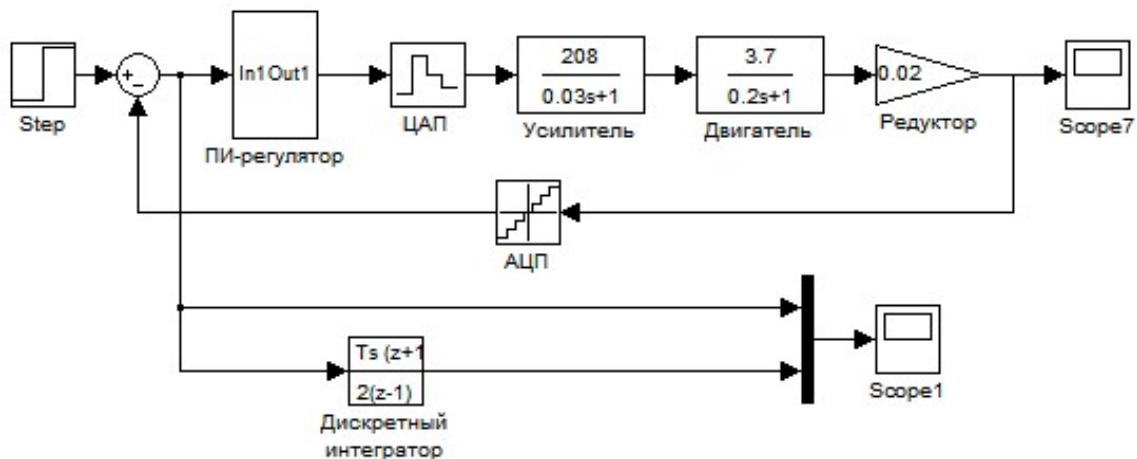


Рис. 2 – Структурная схема цифрового ПИ-регулятора

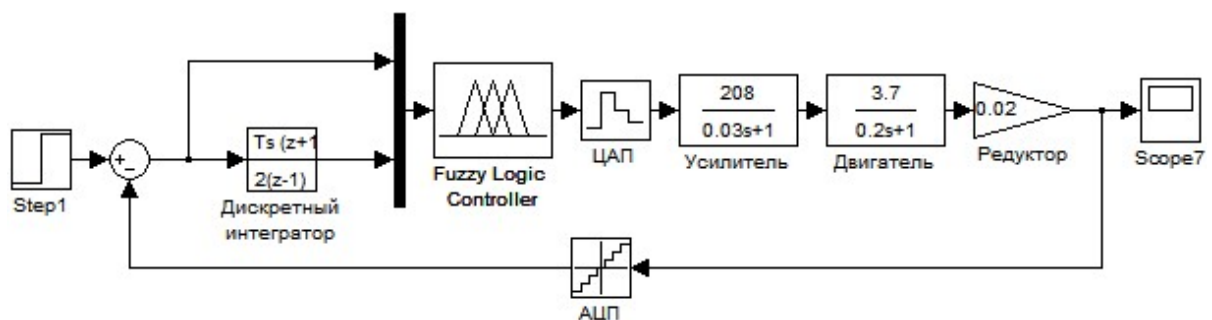


Рис. 3 – Структурная схема цифрового нечёткого регулятора

Из соображений точности выбирается шаг дискретизации 0,001 сек. Величина кванта АЦП Δu рассчитывается, исходя из максимального значения

координаты $y(t)$, поступающей на вход АЦП, и желаемой величины разрядности N : $\Delta y = y_{max}/2^N - 1$ и составляет $1,5975e-005$.

На вход нечёткого регулятора поступают сигнал ошибки и интегрированный сигнал ошибки от классического регулятора, которые являются первой и второй входной переменными нечёткого регулятора. Выходная переменная нечёткого регулятора - сигнал управления. Набор правил принятия решений нечеткого регулятора показан в таблице 1.

Выполнено моделирование и получены графики переходных процессов, которые показаны на рис. 4. Сравнительный анализ показателей качества переходных процессов говорит о том, что время регулирования у системы с нечётким регулятором меньше, чем у системы с классическим регулятором, также у этой системы отсутствует перерегулирование.

Выводы. Применение описанного метода для управления различными объектами позволяет в значительной степени повысить качество переходного процесса системы, т.к., настраивая параметры нечёткого регулятора, можно влиять на форму создания кривой управления. Так как нечёткая логика основана на правилах регулирования, форма кривой может создаваться индивидуально на каждом её участке, а с помощью нечёткой логики, используемой преимущественно для построения самого регулятора и организации подстройки коэффициентов, можно ограничить влияние соседних участков кривой.

Таблица 1

U(t)	PMB	PMB	PB	PMM	PMM	PM
E(t)	PM	PM	PS	PS	ZP	ZP
int	Z	ZP	PS	PM	PM	PM
U(t)	PMS	PS	ZP	ZP	Z	
E(t)	Z	Z	Z	ZN	ZN	
int	PB	PB	PB	PB	PB	

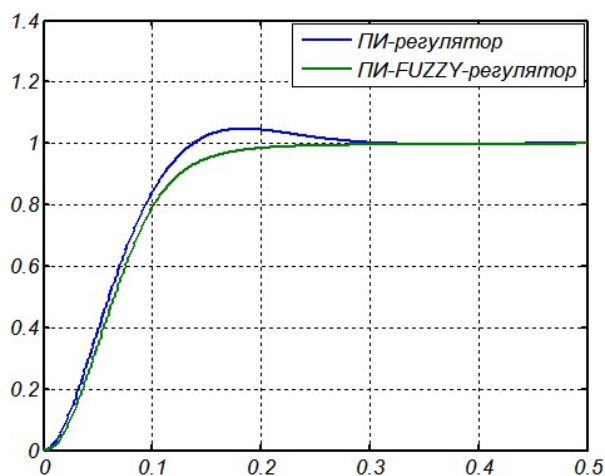


Рис. 4 – Графики переходных процессов для системы с классическим цифровым ПИ-регулятором и системы с цифровым нечётким регулятором

По полученным результатам моделирования можно сделать вывод, что применение нечёткого регулятора способствует значительному повышению качества переходного процесса и способствует снижению трудозатрат для его разработки. Таким образом, разработка и применение адаптивной гибридной САУ плазменной сваркой является перспективным направлением и требует дальнейшего развития и апробаций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Воронов А.А.* Основы теории автоматического управления: Автоматическое регулирование непрерывных линейных систем. – М.: Энергия, 1980. – 312 с.
2. *Сас А.В., Трух С.Ф., Долиненко А.В.* Полуавтоматы серии ПАРС с синергетическим управлением для сварки с плавящимся электродом / Сварщик – профессионал. 2005. № 1. - С. 9 - 13.
3. *Гладков Э.А., Бродягин В.Н., Перковский Р.А.* Автоматизация сварочных процессов: учебник. – М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – 421 с.
4. Системы управления сварочными автоматами. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://ellab.ru/index.php?q=proektyi/svarochnoe-oborudovanie/>
5. *Huissoon J.P., Strauss D.L., Rempel J.N., Bedi S., Kerr H.W.* Multi-variable control of robotic gas metal arc welding / Journal of Materials Processing Technology, 43 (1994) 1-12.
6. *Гаврилов А.В.* Гибридные интеллектуальные системы: Монография – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 142 с.
7. *Игнатьев В.В.* Метод синтеза систем гибридного управления на основе объединения классической и нечеткой моделей объекта / Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Ростов-на-Дону, ДГТУ, 2011/

УДК 681.21

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ НАБЛЮДАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

Аль-Шамки Амир Абдулкадим Оуда, Расол Муртадха Наджах, Финаев В. И.
*Институт радиотехнических систем и управления
Южный федеральный университет, Таганрог, Россия*

Приводятся сведения об измерениях и неопределенности параметров наблюдаемых объектов. Рассмотрено применение методов теории измерений и нечетких интервалов для формализации результатов измерений. Задание неопределенности экспертным путем в виде нечетких интервалов, есть более общий способ формализации понятия «неопределенность».

Ключевые слова: измерение, неопределенность, формализация, погрешность, нечеткий интервал

Введение. При измерении параметров любых технических объектов, будь то некоторые подвижные объекты, манипуляторы, сварочные агрегаты, прокатные станы, экологические объекты и прочее, необходимо получать достоверные данные и значения их параметров. Эта задача решается с применением средств измерений. Полученные результаты измерений должны соответствовать требованиям достоверности, т.к. на основе этих данных в дальнейшем выполняется оценка состояний объектов и управление этими объектами. Следовательно, достоверность данных определяет результат управления, направленных на достижение заданной критериальной функции.

Результаты измерений параметров преобразуются в физические данные для решения задач оценки и прогноза состояний объектов. При применении физических данных можно получать относительно достоверную информацию за счет измерений параметров объектов внешней среды. Однако в таком случае надо учитывать погрешности приборов измерения и проявляющуюся неопределённость.

Существует общая теория измерений [1, 2]. При получении измерений и формировании физических данных есть понятия погрешности и неопределенности [3]. Правила оценивания и представления неопределенности измерения регламентированы стандартом [4, 5].

Погрешность - конкретное измерение с применением измерительного прибора с известными параметрами точности прибора измерения. Неопределенность – это степень сомнения в истинности результата измерения, которая определена понятиями:

- неопределенность как параметр, характеризующий рассеяние значений измерений;
- стандартная неопределенность, выраженная в виде среднего квадратического отклонения результатов измерений;
- суммарная стандартная неопределенность определяется через значения других величин, таких как, как положительный квадратный корень суммы дисперсий или ковариаций этих величин;
- расширенная неопределенность, есть некоторая область относительно результата измерений с наиболее ожидаемыми значениями измеряемой величины.

Стандартная неопределенность выражается количественным значением неопределенности измерений. Общая (суммарная) стандартная неопределенность есть основное количественное выражение неопределенности. Общая стандартная неопределенность вычисляется через другие величины. Расширенная неопределенность вычисляется в соответствии с выражением (1):

$$U = ku_c, \quad (1)$$

где k - коэффициент охвата, представляющий собой множитель при суммарной стандартной неопределенности, необходимый для получения расширенной неопределенности; u_c - суммарная или общая стандартная неопределенность.

Измеряемую величину можно представить в виде:

$$Y=f(X_1, X_2, \dots, X_m), \quad (2)$$

где X_1, \dots, X_m – некоторые входные величины, определяющие результат измерения; m – число входных величин.

После преобразования с учетом источников неопределенности, можно определить, так называемую, оценку измеряемой величины:

$$y=f(x_1, x_2, \dots, x_m). \quad (3)$$

Далее, можно определить стандартные неопределенности всех входных величин, а также возможные корреляционные коэффициенты для оценок входных величин.

В настоящее время существуют два типа вычисления стандартной неопределенности:

- *A тип*, где применяется статистический анализ результатов измерений;
- *B тип*, при котором применяются другие способы измерений.

При определении стандартной неопределенности по *A* типу используют процесс многократных измерений x_{j1}, \dots, x_{jn} , где n – число измерений, а стандартную неопределенность i -й входной величины определяют в соответствии с выражением (4):

$$u_{A,i} = \sqrt{\frac{1}{n_i - 1} \sum_{q=1}^{n_i} (x_{iq} - \bar{x}_i)^2}, \quad (4)$$

где $\bar{x}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{q=1}^{n_i} x_{iq}$ – среднее арифметическое результатов измерений i -й входной величины.

Стандартную неопределенность при измерении i -й входной величины вычисляют по формуле (5):

$$u_{A,i} = \sqrt{\frac{1}{n_i(n_i - 1)} \sum_{q=1}^{n_i} (x_{iq} - \bar{x}_i)^2}. \quad (5)$$

При определении стандартной неопределенности по *B* типу применяют данные, полученные при измерении входных величин и принятый вид распределения вероятностей. Также, на практике, учитываются:

- экспертные данные относительно приборов измерения;
- данные о неопределенности констант и о справочных данных;
- данные поверки, калибровки, сведения изготовителя о приборе и т.п.

Зачастую стандартную неопределенность по *B* типу находят в соответствии с выражением (6):

$$u_B(x_i) = \frac{b_{i+} - b_{i-}}{2\sqrt{3}}, \quad (6)$$

где b_{i+} , b_{i-} - нижняя и верхняя границы измеряемой величины соответственно.

В данном случае применяют гипотезу о равномерном законе распределения ожидаемых значений измерений в границах: $[b_{i-}, b_{i+}]$. При симметричных границах стандартную неопределенность по В типу определяют по выражению (7):

$$u_B(x_i) = \frac{b_i}{\sqrt{3}}. \quad (7)$$

Коэффициента корреляции, в результатах измерений, определяется с применением следующей формулы (8):

$$r(x_i, x_j) = \frac{\sum_{l=1}^{x_{ij}} (x_{il} - \bar{x}_i)(x_{jl} - \bar{x}_j)}{\sqrt{\sum_{l=1}^{x_{ij}} (x_{il} - \bar{x}_i)^2 \sum_{l=1}^{x_{ij}} (x_{jl} - \bar{x}_j)^2}}, \quad (8)$$

Суммарная стандартная неопределенность, если результаты измерений не коррелированы, определяются по следующей формуле:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i)}, \quad (9)$$

Если результаты измерений коррелированы, то суммарная стандартная неопределенность вычисляется по формуле (10):

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i) + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} r(x_i, x_j) u(x_i) u(x_{ju(x_i)})}, \quad (10)$$

где $u(x_i)$ - стандартная неопределенность i -й входной величины, вычисленная по типу А или В.

Неопределенность данных, согласно все приведенным критериям, связана со стохастическими распределениями, с вероятностью, значение которой, в свою очередь, не определено. То есть все эти виды и неопределенности остаются недостаточно достоверными и трудно определяемыми для практических задач.

В работе [6] предложено мера сложности объекта на интервале от нуля до единицы, а определение степени сложности объекта выполняется на основе обработки знаний экспертов об этом объекте.

Известны возможность меры, описание которых можно встретить в работах [7, 8, 9]. Применяется понятие «нечеткий интервал». Нечеткий интервал задают на множестве X четверкой параметров $M=(\underline{m}, \bar{m}, \alpha, \beta)$, как это показано на рис. 1, где \underline{m} - нижнее и верхнее модальное значение, а \bar{m} - верхнее модальное значение нечеткого интервала. Коэффициенты α и β - левый и правый коэффициент нечеткости, которые задаются экспертами.

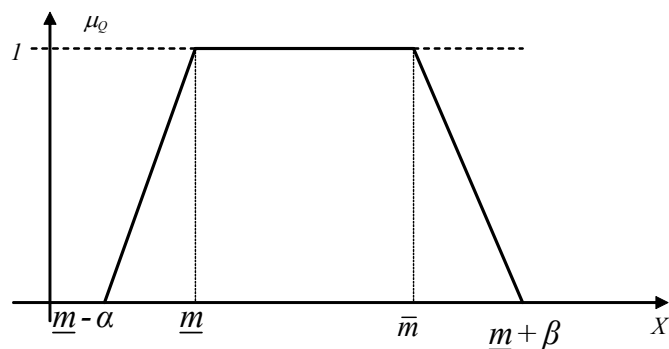


Рис. 1 – Задание нечеткого интервала

Задание неопределенности может быть выполнено экспертами в виде входной q_i переменной на множестве ее значений Q_i . Четкое значение измерения является частным случаем нечеткого интервала, когда его верхнее и нижние модальные значения совпадают. Существует алгебра нечетких интервалов, что позволяет получать значение неопределённости для комплекса выполняемых измерений. Таким образом, задание неопределенности экспертным путем в виде нечетких интервалов является более общим способом формализации понятия «неопределенность», является существенно более простым по отношению к известным определениям.

Выводы. Обоснована актуальность формализации неопределенности, которая присутствует при измерении параметров объектов. Рассмотрены виды неопределенности и их формальное определение, согласно существующим стандартам. Определены два типа вычисления стандартной неопределенности - тип A и тип B . Приведены определения стандартной неопределенности. Сделан вывод о сложности вычислений неопределенности по известной методике и предложено для оценки неопределенности применять знания экспертов, а саму неопределенность формально определять как нечеткое число с модальным значением, равным результату измерения параметра объекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хамханова Д.Н. Общая теория измерений: учебное пособие. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2006. – 168 с.
2. Шлыков Г.П. Теория измерений: уравнения, модели, оценивание точности: учеб. пособие. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2008. – 100 с.
3. Неопределенность измерений в метрологии. Отличие погрешности от неопределенности. Применение. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<http://eco-e.ru/goodies/normativnye-dokumenty/74-neopredelennost-izmerenij-v-metrologii-chem-neopredelennost-otlitschaetsya-ot-pogreshnosti-i-kak-ee-primenyat>

4. ГОСТ Р 54500.3-2011/Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008 Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения.

5. Рекомендации по межгосударственной стандартизации, РМГ 91-2009 «Совместное использование понятий «погрешность измерения» и «неопределенность измерения». – Москва, Стандартинформ, 2009.

6. *Finaev V.I., Pushnina A.A., Almasani S.A.M.* System complexity determination / International conference «Innovative technologies and didactics in teaching (ITDT-2017)», Germany. From 2 till 3 May. - Berlin, 2017. PP. 94 – 103.

7. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения. Пер. с англ. под ред. *Р.Р. Ягера*. - М.: Радио и связь, 1986. - 408с.

8. *Калмыков С.А., Шокин Ю.И., Юлдашев З.Х.* Методы интервального анализа. – Новосибирск: Издательство «Наука», сибирское отделение, 1986.

9. *Дюбуа Д., Прад. А.* Теория возможностей: Пер. с французского В.Б.Тарасова /Под редакцией С.А. Орловского. - М.: Радио и Связь, 1990. – 288 с.

УДК 621.3.078

МОДЕЛИРОВАНИЕ DC/DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ PSIM

Юров А.А., Мальцев В.А., Пивнев В.В.

Институт радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, г. Таганрог

В данной работе рассматривается вопрос о разработке модели DC/DC преобразователя в программной среде PSim. Также рассматривается модель серийно производимого контроллера UCC28950 компанией Texas Instruments.

Ключевые слова: модель, PSim, преобразователь напряжения, UCC28950.

Введение. PSim – это программное обеспечение для моделирования и проектирования исследований в области силовой электроники.

Пакет моделирования PSIM состоит из трех программ:

1. Программы схемотехники устройства (цепи) PSIM;
2. PSIM-симулятор;
3. Программа обработки формы сигнала SIMVIEW.

Структура среды моделирования изображена на рисунке 1.



Рис.1 – Структура среды моделирования PSIM

Схема представляется в PSIM следующими блоками: силовой цепью, цепью управления, датчики и устройства, управляющие ключами (switch controllers). Рисунок 2 показывает взаимодействия между блоками.

Силовая схема состоит из ключевых устройств: RLC цепей, трансформаторов и взаимных индуктивностей (coupled inductors). Схема управления изображена в виде блок-схемы. Логические компоненты (такие как логические элементы и триггеры) и нелинейные компоненты (такие как умножитель и делитель) используются в схеме управления. Датчики измеряют напряжение и ток в силовой схеме и передают значение в схему управления. Сигналы управления затем генерируются в схеме управления и посылаются назад в силовую цепь к ключам через соответствующие блоки управления.

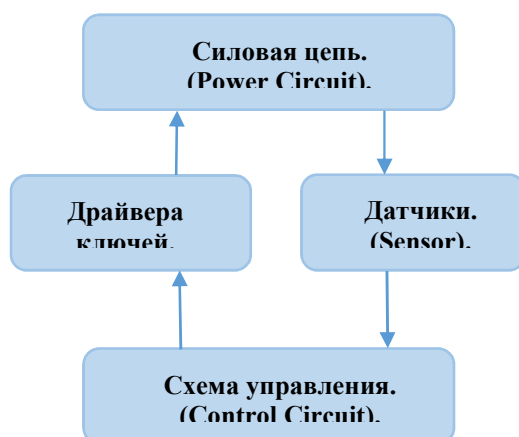


Рис. 2 – Взаимодействие между блоками схемного редактора PSIM

Таким образом, можно собрать схему DC/DC преобразователя. Исходные данные:

1. Напряжение входа – 390 ± 20 В;
2. Напряжение выхода – $12 \pm 0,6$ В;
3. Мощность преобразователя – 600 Вт;
4. Ток выхода – 50 А;
5. КПД не менее 93 %.

На рисунке 3 изображена схема силовой части DC/DC преобразователя.

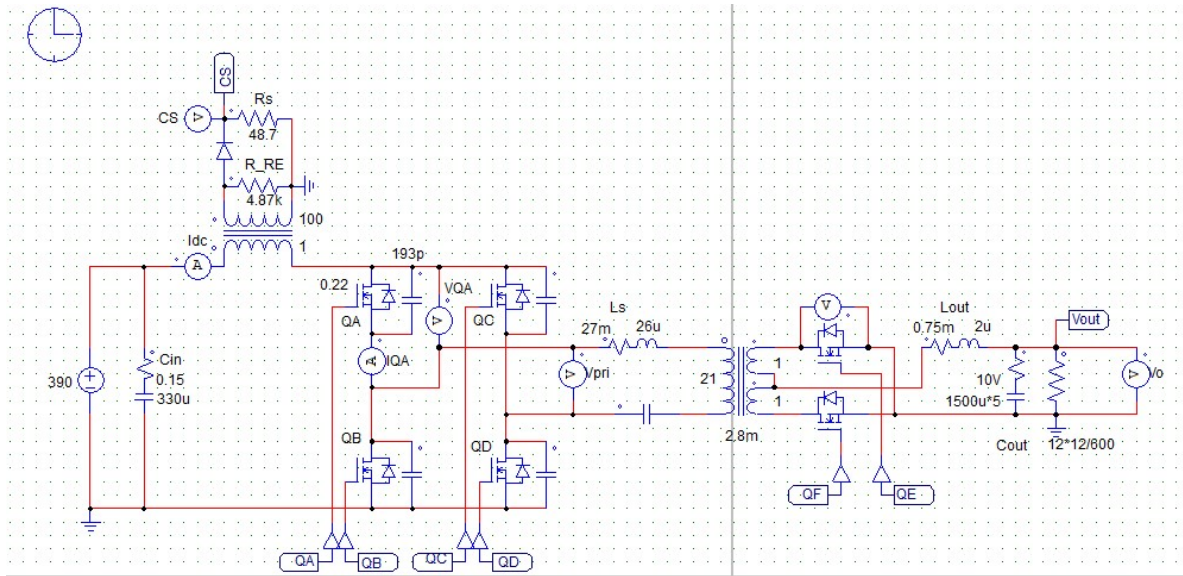


Рис. 3 – Силовые цепи DC/DC преобразователя

На рисунке 4 изображена схема системы управления на основе UCC28950.

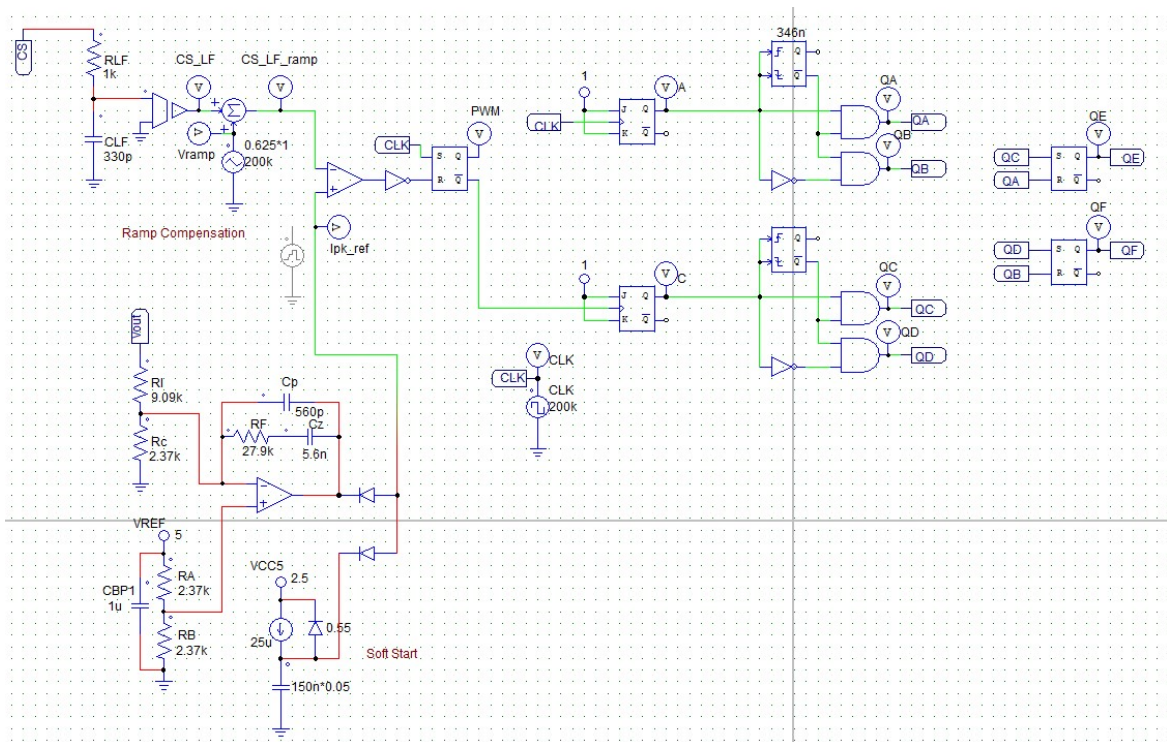


Рис. 4 – Схема системы управления

Теперь можно запустить симулятор SIMVIEW и оценить работоспособность разработанной схемы. Для этого потребуется снять ряд осциллограмм:

1. Напряжение выхода и ток входа преобразователя;
2. Напряжение входа и ток входа;
3. Напряжение на первичной и вторичной обмотках трансформатора.

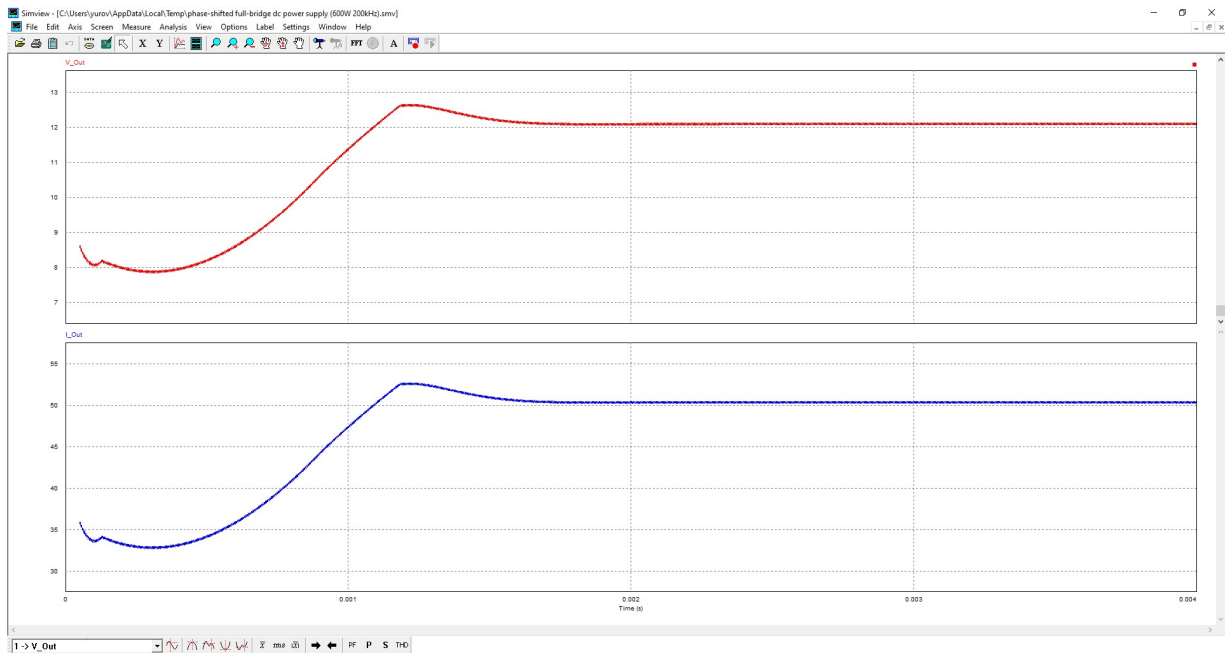


Рис. 5 – Напряжение выхода и ток выхода преобразователя

На рисунке 5 видно, что напряжение на выходе преобразователя плавно выросло до номинальных 12 В, с кратковременным перерегулированием в 0,6 В. При этом ток нагрузки был равен 50 А.

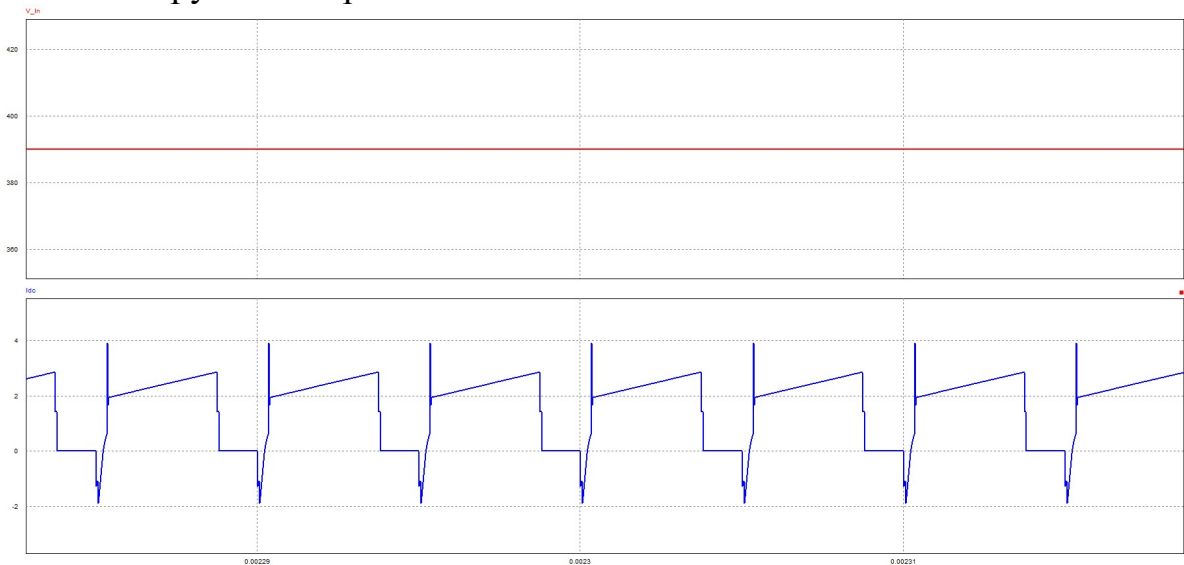


Рис. 6 – Напряжение входа и ток входа

На рисунке 6 видно, работа преобразователя не влияет на напряжение входа, а также ток потребления не превышает 1,7 Ампера. Следовательно, можно оценить КПД преобразователя:

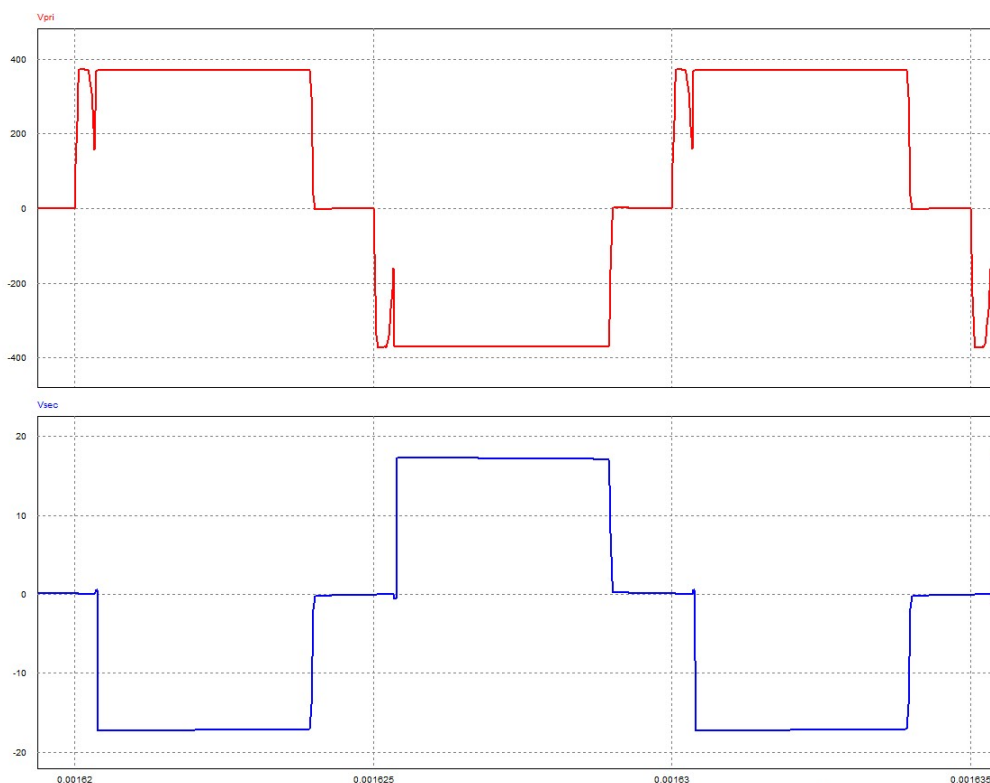


Рис. 7 – Напряжение на первичной и вторичной обмотках трансформатора

На рисунке 7 видно, что импульсы первичной обмотки не перекрещиваются, так же, как и импульсы вторичной обмотки. Следовательно, система управления работает стабильно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. PSIM Инструкция пользователя (перевод), НГТУ кафедра промышленной электротехники, 2010. – С.6-7;
2. <https://powersimtech.com>;
3. Импульсные источники питания, теоретические основы проектирования и руководство по практическому применению, 2010. – С.27-51;
4. Промышленная электроника, 2011. – С. 229-249.

УДК 681.515

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭКРАНОПЛАНОМ

Николаев А.А., Пивнев В.В.

ИТА ЮФУ, Таганрог

В настоящее время крупногабаритные тяжелые грузы (тысячи тонн) на большие расстояния перевозятся морским транспортом. Скорость этих транспортных средств ограничена десятками километрами в час. Самолеты перевозят десятки тонн со скоростью до 600 км/ч. Транспорта занимающего

промежуточное положение доставляющего грузы через океан нет. Над увеличением скорости водного транспорта в 60-х годах прошлого века работал Ростислав Евгеньевич Алексеев. Под его руководством были созданы суда на подводных крыльях. Но они имели ограничения скорости из-за кавитации на поверхности подводного крыла. Для решения этой проблемы было найдено решение – поднять корабль из воды. После чего были созданы экранопланы, выполненные по “самолетной” схеме. Экранопланы на основном режиме движения не имеют контакта с водой и не имеют ограничений по скорости. Кроме того, экранопланы имеют ряд дополнительных преимуществ – возможность перемещаться над любой ровной поверхностью (лед, снег, вода, равнина, пустыня), большую чем у самолетов экономичность, возможность использования без аэродромов и портов.

Создание экранопланов как нового скоростного вида транспорта в мировой практике на сегодняшний день находится в стадии, когда каждый конструктор выбирает компоновочную схему и геометрические параметры создаваемого экраноплана или на основании собственных разработок, или по аналогии с другими разработками. Нет общей теоретической базы, на основании которой можно было бы проектировать экраноплан с заранее заданными характеристиками по аэродинамическому качеству (аэродинамическому совершенству) и устойчивости движения. Это и послужило причиной того, что в настоящее время ни в одной из стран мира эти работы не перешли из стадии научно-исследовательских работ и создания небольших опытных экземпляров к широкому внедрению и серийному производству.

Тоже самое можно сказать про систему управления движением экраноплана. В небольших экранопланах применяется ручная система управления, а проблему стабилизации полета решают выбором аэродинамической компоновки аппарата. На больших экранопланах стабилизировать полет вручную очень сложно. Как следствие на таких действующих экранопланах как: ЭП ВМФ «Орленок» (рис. 1) и ЭП ВМФ «Лунь» (рис. 2) были установлены системы стабилизации полета. Полноценного автопилота не было.



Рис. 1 – Действующий экраноплан ЭП ВМФ «Орленок»



Рис. 2 – Действующий экраноплан ЭП ВМФ «Лунь»

Так как экраноплан во время полета находится в динамическом равновесии, при котором человек не успевает вовремя отреагировать на изменение критических параметров автопилот у таких судов должен быть, и быть активен даже во время ручного управления.

На экранопланы нельзя ставить автопилот от самолета, поскольку у этих машин алгоритм управления положением закрылков, элеронов, рулей высоты, вертикального оперения, тяга поддувных и маршевых двигателей сильно зависят от высоты полета, то есть радикально отличается от самолетного.

На основании испытаний нескольких образцов была выведена система уравнений продольного движения экранопланов, представленная в матричной форме

$$A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & 0 & a_{15} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & 1 & a_{25} \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & a_{55} \end{vmatrix}; \quad x = \begin{vmatrix} \Delta V \\ \Delta a \\ \Delta \theta \\ \Delta \dot{\theta} \\ \Delta H \end{vmatrix}$$

Исследование устойчивости системы основано на анализе критериев Рауса-Гурвица, полученных на базе коэффициентов характеристического уравнения системы. Критерии Рауса-Гурвица дают ответ на вопрос: устойчива система или нет. На практике же необходимо знать о том насколько устойчив экраноплан, так как условия его эксплуатации очень жесткие ввиду близости экранирующей поверхности [1].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Суржик В.В. Методы структурно-параметрического синтеза математических моделей экранопланов // Иркутск – 2010. – С. 10.
2. А.И. Маскалик, Р.А. Нагаптян, В.В. Иваненко, А.Г. Бутлицкий, В.В. Томилин, А.И. Лукьянов Экранопланы: транспортные суда XXI века // Санкт-Петербург «Судостроение». – 2005.

УДК 681.515

УПРАВЛЕНИЕ КВАДРОКОПТЕРОМ В ПРОСТРАНСТВЕ СОСТОЯНИЙ

Хуссейн Ф.А., Теплинский И.Д., Медведев М.Ю.
Южный Федеральный Университет, ИРТСиУ, каф. ЭиМ, г.Таганрог

Введение. В настоящее время создается большое число различных типов БПЛА. Из-за многосвязности таких объектов наиболее рационально применять метод пространства состояний для синтеза управления.

Существует множество методов синтеза управления подвижными объектами. Среди них можно выделить ПИД-регуляторы, управление по состоянию, метод обратных задач динамики, метод линеаризации обратной связью и т.д. [2, 4]. Метод управления по полному вектору состояния имеет то преимущество, что он базируется на полном описании системы. Также использование этого метода позволяет эффективно управлять системой, в которой присутствует несколько входных и выходных сигналов. Такие системы принято называть МИМО системы (Multiple-Input Multiple-Output). В данной работе разрабатывается управление по состоянию для квадрокоптера, как показано на рис.1.

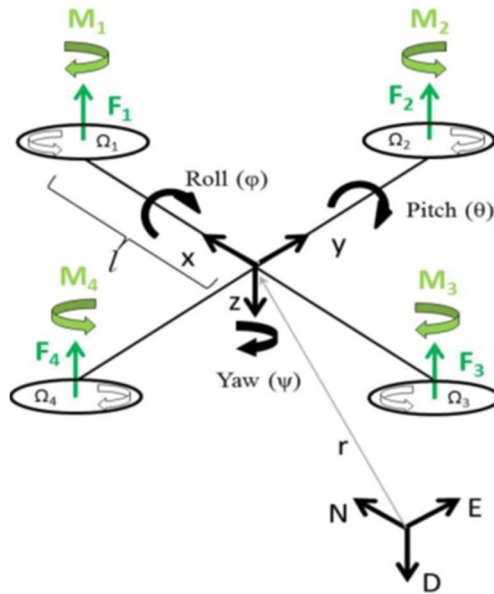


Рис. 1– Силы и моменты, действующие на квадрокоптер

Постановка задачи. Для решения поставленной задачи требуется выполнить последовательно следующие действия:

- 1) рассмотреть математическую модель квадрокоптера и выполнить ее линейризацию;
- 2) проверить управляемость и наблюдаемость;
- 3) синтезировать управление по состоянию путем размещения полюсов замкнутой системы и наблюдателя или используя процедуру квадратичной оптимизации (LQR).
- 4) выполнить моделирование и расчеты в Matlab.

Математическая модель квадрокоптера может быть представлена в виде [6]:

$$\ddot{\varphi} = \frac{l}{I_{xx}} u_2 - \frac{J_r}{I_{xx}} \dot{\theta} \Omega_r + \frac{I_{yy} - I_{zz}}{I_{xx}} \dot{\theta} \dot{\psi}$$

$$\ddot{\theta} = \frac{l}{I_{yy}} u_3 - \frac{J_r}{I_{yy}} \dot{\varphi} \Omega_r + \frac{I_{zz} - I_{xx}}{I_{yy}} \dot{\varphi} \dot{\psi}$$

$$\ddot{\psi} = \frac{1}{I_{zz}} u_4 + \frac{I_{xx} - I_{yy}}{I_{zz}} \dot{\theta} \dot{\varphi}$$

$$\ddot{x} = -\frac{u_1}{m} (\sin \varphi \sin \psi + \cos \varphi \sin \theta \cos \psi)$$

$$\ddot{y} = -\frac{u_1}{m} (\cos \varphi \sin \theta \sin \psi - \sin \varphi \cos \psi)$$

$$\ddot{z} = g - \frac{u_1}{m} (\cos \varphi \cos \theta),$$

где $\ddot{\varphi}, \ddot{\theta}, \ddot{\psi}$ - угловые ускорения по осям x, y и z соответственно; $\dot{\varphi}, \dot{\theta}, \dot{\psi}$ - угловые скорости по осям x, y и z соответственно; φ, θ, ψ - углы крена, тангажа, и рысканья; I_{xx}, I_{yy}, I_{zz} - моменты инерции по осям x, y и z соответственно; g - ускорение свободного падения; m - масса объекта; l - длина рычага; $\Omega_r = -\Omega_1 + \Omega_2 - \Omega_3 + \Omega_4$ - суммарная угловая скорость вращения роторов; J_r - инерция ротора.

$$\begin{aligned} u_1 &= K_f(\Omega_1^2 + \Omega_2^2 + \Omega_3^2 + \Omega_4^2); & u_2 &= K_f(-\Omega_2^2 + \Omega_4^2); & u_3 &= K_f(\Omega_1^2 - \Omega_3^2) \\ u_4 &= K_m(\Omega_1^2 - \Omega_2^2 + \Omega_3^2 - \Omega_4^2) \end{aligned}$$

где K_f, K_m - аэродинамические коэффициенты тяг и моментов; $\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3, \Omega_4$ - угловые скорости роторов вентиляльных двигателей.

Линеаризация уравнений объекта. Пространство состояния системы - это способ описания динамических систем в следующем виде [7]:

$$\begin{aligned} \dot{X} &= AX + BU \\ Y &= CX + DU \end{aligned}$$

где X - вектор состояния системы, U - вектор управления, Y - вектор выхода объекта, A - собственная матрица, B - матрица входа системы, C - матрица выхода, D - матрица прямой связи.

Для квадрокоптера в качестве векторов управления, состояния и выхода выберем следующие вектора:

$$U = [u_1 \quad u_2 \quad u_3 \quad u_4]^T$$

$$\begin{aligned} X &= [\varphi \quad \dot{\varphi} \quad \theta \quad \dot{\theta} \quad \psi \quad \dot{\psi} \quad z \quad \dot{z} \quad x \quad \dot{x} \quad y \quad \dot{y}]^T \\ &= [x_1 \quad x_2 \quad x_3 \quad x_4 \quad x_5 \quad x_6 \quad x_7 \quad x_8 \quad x_9 \quad x_{10} \quad x_{11} \quad x_{12}]^T \end{aligned}$$

$$Y = [\varphi \quad \theta \quad \psi \quad z \quad x \quad y]^T$$

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{I_{yy} - I_{zz}}{I_{xx}}; & a_2 &= \frac{J_r}{I_{xx}}; & a_3 &= \frac{I_{zz} - I_{xx}}{I_{yy}}; & a_4 &= \frac{J_r}{I_{yy}}; & a_5 &= \frac{I_{xx} - I_{yy}}{I_{zz}}; & b_1 &= \frac{l}{I_{xx}}; & b_2 &= \\ & & & & & & & & & & & & \frac{l}{I_{yy}}; & b_3 &= \frac{1}{I_{zz}}. \end{aligned}$$

Тогда нелинейные уравнения динамики квадрокоптера можно представить в векторной форме

$$\dot{X} = F(X, U) = \begin{bmatrix} x_2 \\ b_1 u_2 - a_2 x_4 \Omega_r + a_1 x_4 x_6 \\ x_4 \\ b_2 u_3 + a_4 x_2 \Omega_r + a_3 x_2 x_6 \\ x_6 \\ b_3 u_4 + a_5 x_2 x_4 \\ x_8 \\ g - \frac{u_1}{m} (\cos x_1 \cos x_3) \\ x_{10} \\ -\frac{u_1}{m} (\sin x_1 \sin x_5 + \cos x_1 \sin x_3 \cos x_5) \\ x_{12} \\ -\frac{u_1}{m} (\cos x_1 \sin x_3 \sin x_5 + \sin x_1 \cos x_5) \end{bmatrix}.$$

Опишем стационарную точку объекта [4] для задачи позиционирования, т.е. перемещения квадрокоптера в некоторое желаемое положение:

$$\bar{X} = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ \bar{z} \ 0 \ \bar{x} \ 0 \ \bar{y} \ 0]^T ; \quad \bar{U} = [mg \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

Для того, чтобы перейти к линейным уравнениям, проведем линеаризацию в малой окрестности стационарной точки. В результате получим:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & -0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -g & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ g & 0 & -0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} - & - & 0 & 0 & 0 & 0 \\ - & - & 0 & -b_1 & 0 & 0 \\ - & - & 0 & 0 & 0 & 0 \\ - & - & 0 & 0 & b_2 & 0 \\ - & - & 0 & 0 & 0 & 0 \\ - & - & 0 & 0 & 0 & b_3 \\ / & - & 0 & 0 & 0 & 0 \\ - & 1/m & 0 & 0 & 0 & 0 \\ - & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ - & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ - & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ - & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}.$$

Теперь проверим устойчивость стационарной точки. Для этого достаточно рассмотреть автономное уравнение вида $\dot{X} = AX$. Система является устойчивой по Ляпунову, если все действительные части собственных значений матрицы A являются отрицательными. Собственные значения являются корнями следующего уравнения:

$$\det|A - \lambda I| = 0,$$

где λ – вектор собственных значений; I – единичная матрица, соразмерная A

Вычислив с помощью численных процедур Matlab собственные числа матрицы A , получим, что они равны нулю.

Далее проверяем свойство управляемости, которое определяет возможность перевода объекта в заданное положение за конечное время с помощью ограниченных управлений. Для проверки управляемости построим матрицу управляемости по Калману вида

$$M = [B \quad AB \quad A^2B \quad \dots \quad A^{n-1}B],$$

где n – размерность вектора X .

Если количество независимых столбцов и строк в матрице M равно n , то система полностью управляемая. Используя систему Matlab, получаем, что ранг матрицы M равен 12, т.е. система полностью управляемая.

Свойство наблюдаемости определяет возможность восстановления всего вектора состояния по результатам измерения вектора выходных переменных.

Строим матрицу наблюдаемости $J = [C \quad CA \quad CA^2 \quad \dots \quad CA^{n-1}]^T$.

Если количество независимых столбцов и строк в матрице J равно n , то система полностью наблюдаема. Используя систему Matlab, получаем, что ранг матрицы J равен 12, т.е. система полностью наблюдаемая.

Синтез обратной связи. Управление по состоянию в общем случае записывается в виде $U = -kX$. В итоге замкнутая система принимает вид:

$$\dot{X} = (A - Bk)X.$$

Используем метод размещения полюсов для выбора вектора k . Выберем такой k , чтобы действительные части собственных значений в матрице $(A - Bk)$ стали отрицательными, т.е. корни уравнения

$$\det|A - Bk - \lambda I| = 0$$

принимали заданные значения. Выберем вектор $lambda$ с 12 отрицательными собственными значениями, и с помощью Matlab вычислим вектор k :

$$k = place(A, B, lambda).$$

Это позволит нам посчитать матрицу коэффициентов k .

Управление по состоянию является функцией всего вектора X , однако измеряется только вектор Y (является составной частью вектора X). Чтобы оценить неизмеряемые переменные вектора X , воспользуемся наблюдателем Луенбергера, которые имеют следующий вид:

$$\dot{\hat{X}} = A\hat{X} + BU + L(Y - \hat{Y}).$$

Обозначим ошибку наблюдателя:

$$\begin{aligned} e = X - \hat{X} \Rightarrow \dot{e} &= \dot{X} - \dot{\hat{X}} = AX + BU - A\hat{X} - BU - L(Y - \hat{Y}) \\ &= A(X - \hat{X}) - L(CX - C\hat{X}) = (A - LC)e. \end{aligned}$$

Когда e стремится к нулю, то вектор оценок \hat{X} стремится к X . При этом вектор коэффициентов усиления наблюдателя выбирается так, чтобы собственные числа матрицы $A-LC$ равнялись желаемым собственным числам.

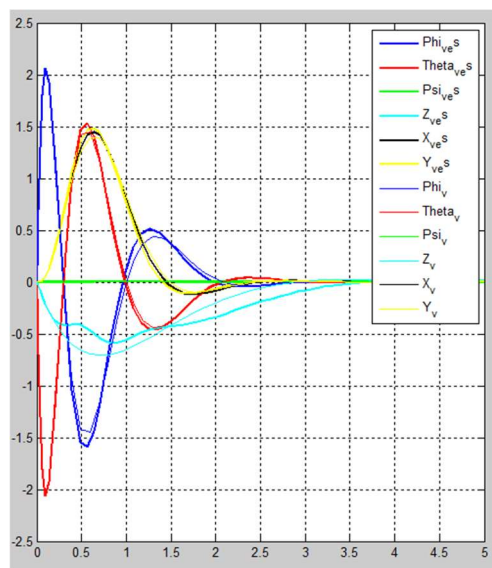


Рис. 2 — Разница между X и \hat{X}

На выбор собственных чисел наблюдателя влияют следующие факторы:

- Наименьшее собственное значение определяет скорость оценивания состояния. Выбор слишком больших чисел будет соответствовать большим коэффициентам усиления, что приводит к возрастанию влияния случайных шумов измерения.
- Если в собственные числа являются комплексными, то при оценивании появятся колебания.
- Комплексные собственные числа всегда задаются комплексно-сопряженными парами.
- Собственные числа наблюдателя должны выбираться таким образом, чтобы они обеспечивали быстродействие в 3 – 5 раз большее, чем быстродействие замкнутой системы управления.

Управление по состоянию не позволяет учитывать ограничения на управления и не позволяет определить реакцию системы на внешние воздействия. Большую грубость к внешним воздействиям и возможность учесть косвенно ограничения на управления обеспечивает оптимальное управление.

Рассмотрим процедуру синтеза оптимального по квадратичному критерию управления. Целью оптимального управления является определение управления таким образом, чтобы управляемая система соответствовала физическим ограничениям и минимизировала функционал качества следующего вида [5]:

$$\min J = \int_0^{\infty} (X^T Q X + U^T R U) dt ,$$

где Q – диагональная матрица весов переменные состояния;

R – диагональная матрица весов вектора управления

Решение задачи квадратичной оптимизации сводится к решению уравнения Рикатти:

$$K = R^{-1} B^T P$$

$$A^T P + P A - P B R^{-1} B^T P + Q = 0$$

В ходе моделирования в Matlab были подобраны следующие весовые матрицы функционала качества:

$$Q = \text{diag}([15 \ 1 \ 15 \ 1 \ 1 \ 1 \ 50 \ 1 \ 50 \ 1 \ 50 \ 1])$$

$$R = 20 * \text{diag}([1 \ 1 \ 1 \ 1])$$

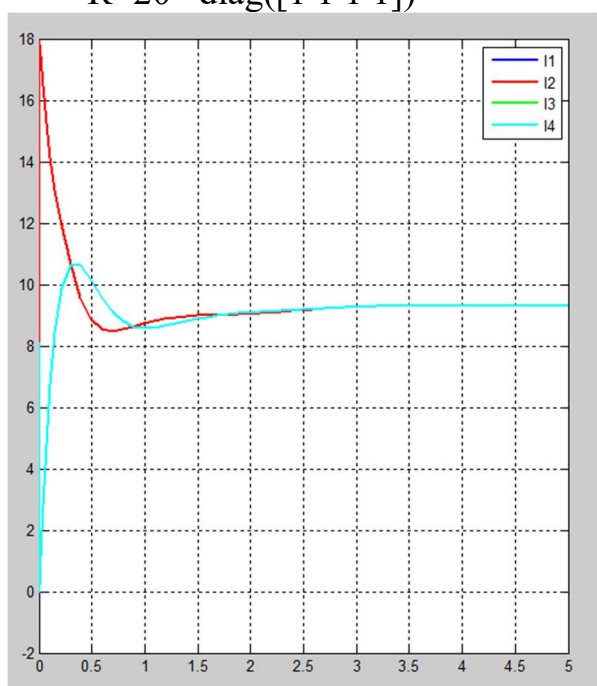


Рис. 3 – Результаты управления нелинейной системой

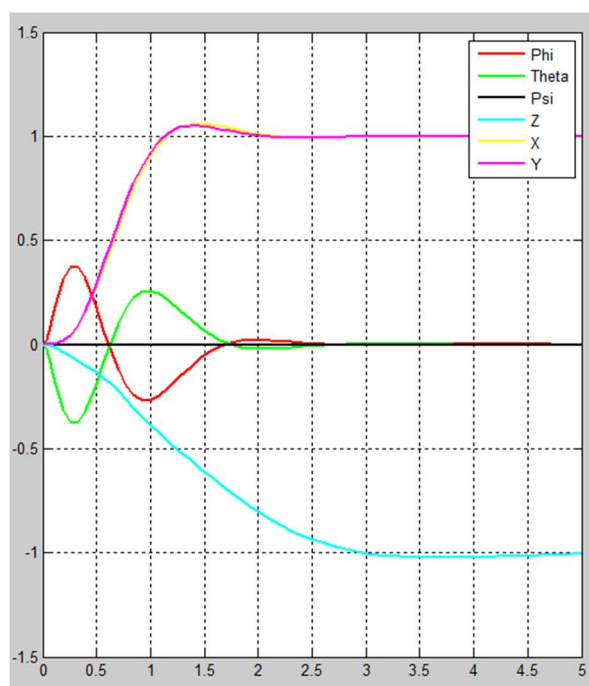


Рис. 4 – График зависимостей токов от времени

Заключение. В статье синтезирован регулятор по состоянию для управления квадрокоптером. Проведена оптимизация регулятора по квадратичному критерию и синтезирован наблюдатель состояния. Далее планируется развитие системы управления путем включения в нее контуров компенсации возмущений и адаптации, а также решения не только задачи позиционирования, но и движения вдоль заданной траектории.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Control of mobile robots, Georgia tech university [Электронный ресурс] // URL: <https://www.coursera.org/learn/mobile-robot> (дата обращения: 5.10.2019).

2. *Heba talla Mohamed Nabil ElKholly*. Dynamic Modeling and Control of a Quadcopter Using Linear and Nonlinear Approaches, The American University in Cairo, 2014, PP. 7-110.
3. *Sevkuthan Kurak, Migdat Hodzic*. Control and Estimation of a Quadcopter Dynamical Model, International University of Sarjevo, 2018, PP. 2-12.
4. *Francesco Sabatino*. Quadcopter control: modeling, nonlinear control design, and simulation, KTH Electrical Engineering, 2015, PP. 24-25.
5. *В.Х. Пилюхов, М. Ю. Медведев*. Управление роботами и робототехническими системами часть 1. Оптимальное управление роботами: учебное пособие. – Ростов-на-Дону:Изд-во ЮФУ, 2014. – 46с.
6. *В.Х. Пилюхов, М. Ю. Медведев, Б. В. Гуренко*. Алгоритмы терминального управления подвижными объектами мультикоптерного типа. Мехатроника, автоматизация и управление. 2019. Т. 20. № 1. С. 44 – 51. 10.17587/mau.20.44-51.
7. *Гайдук А.Р.* Непрерывные и дискретные динамические системы. – М.: «Учлитвуз», 2004.

УДК 621.396.91

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ОБНАРУЖЕНИЯ СПУТНИКА АНТЕННОЙ СИСТЕМОЙ

Чернявский Н.С., Торшин С.С., Мальков С.Б.
Южный федеральный университет, ИРТСУ, Таганрог

При проектировании систем автоматического обнаружения космических аппаратов, необходимо поддерживать высокую точность и быстродействие. В статье приведена разработанная система автоматического обнаружения спутника антенной системой, осуществляющая эффективное обнаружение спутника с последующим наведением антенны на него.

Ключевые слова: антенная система, навигация, спутник, моделирование сигнала, система автоматического управления, алгоритм.

В настоящее время разработка, развитие и реализация эффективных систем автоматического обнаружения космических аппаратов неразрывно связаны с повышением быстродействия и точности данных систем. Актуальность проблемы современной теории и практики обнаружения является создание, разработка и совершенствование новых перспективных методов обнаружения космических аппаратов. Данная система может применяться в антенных системах, следящих за спутником. В настоящее время для решения обозначенной проблемы разрабатываются антенные системы, осуществляющие быстрое и точное наведение по обнаруженному сигналу.

Во время разработки системы, очень важно составить эффективную систему автоматического обнаружения, так как в случае неправильного выполнения задачи, антенная система может терять принимаемый сигнал и сбиваться с курса следования.

В этой статье приводится система обнаружения, обеспечивающая точное наведение антенной системы на принятый со спутника сигнал, решая задачи:

- наведение антенны на исходную точку траектории спутника;
- получение сигнала со спутника;
- обработка принятого сигнала;
- подстройка двигателей антенны на источник сигнала;
- точное следование за спутником вдоль всей его траектории;
- после достижения финальной точки возврат на исходную позицию.

Предназначение радиолокационной станции заключается в обнаружении цели с последующим слежением за ней. Для обнаружения спутника антенна входит в режим поиска (ЭА), при этом ее зеркало по определенному закону в заданном промежутке времени сканирует необходимый участок пространства. В момент, когда спутник был обнаружен, антенная система переходит в режим слежения (ЭС) по заданным параметрам [1].

Для успешного обнаружения космического аппарата требуется, чтобы между антенной и спутником осуществлялась непрерывная связь без препятствий для передающего информацию сигнала. Зеркало антенны ориентируется так, чтобы ее направление на космический аппарат совпадало с максимумом ее диаграммы направленности (Рисунок 1).

Наша антенна обнаруживает и отслеживает спутник на ВЭО. Сам спутник движется с определенной скоростью и по определенной траектории, зависящей от параметров орбиты. Для реализации такой направленной антенны нам необходимо получать в реальном времени данные о параметрах орбиты и местоположении станции, а наличие спутника подтверждается по принимаемому сигналу [2].

В качестве методов для распознавания экстремума были рассмотрены метод «Золотого сечения», метод «Лагранжа» и метод «Координатной прямой». В ходе проверки были выявлены выводы. Оказалось, что метод золотого сечения является крайне неточным, поэтому данный метод не подходит для использования в нашем алгоритме автоматического обнаружения. Метод множителей Лагранжа нам не подходит, так как он наполнен множеством сложных математических функций, из-за чего становится труднореализуем на микроконтроллерах и требует большое количество оперативной памяти, и времени на обработку. Метод координатной прямой (Рисунок 2) имеет высокую точность и простоту реализации. Несмотря на множество логических элементов, они просты и микроконтроллер быстро справится с задачей обработки [3]. Поэтому в нашем алгоритме автоматического обнаружения используем именно его.

При необходимости передачи цифровой информации между устройствами зачастую используют FSK модуляцию. Данные передаются за счет сдвига частоты несущей сигнала циклично на одну из двух частот. Рисунок 3 показывает зависимость между двоичными данными и передаваемым сигналом.

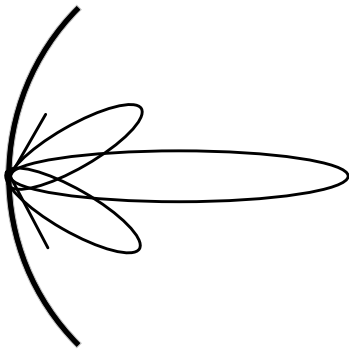


Рис. 1 – Диаграмма направленности антенны

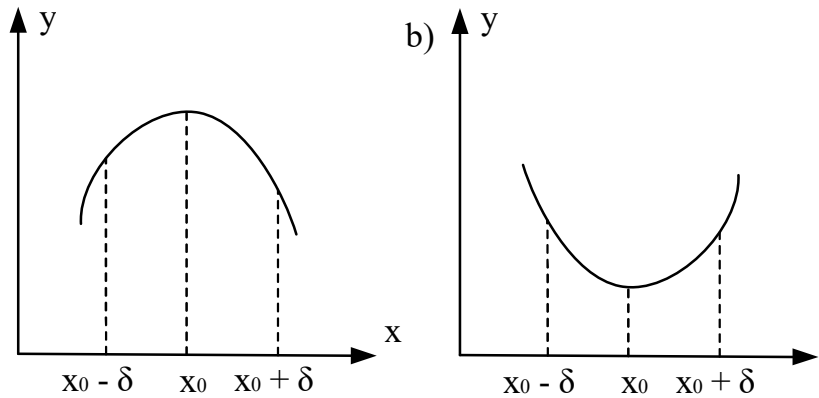


Рис. 2 – а) максимум функции, б) минимум функции

Распространенные системы могут использовать кодировку Мура, состоящую из 7 бит на символ и вмещающую в себя стоповые и стартовые элементы [4].

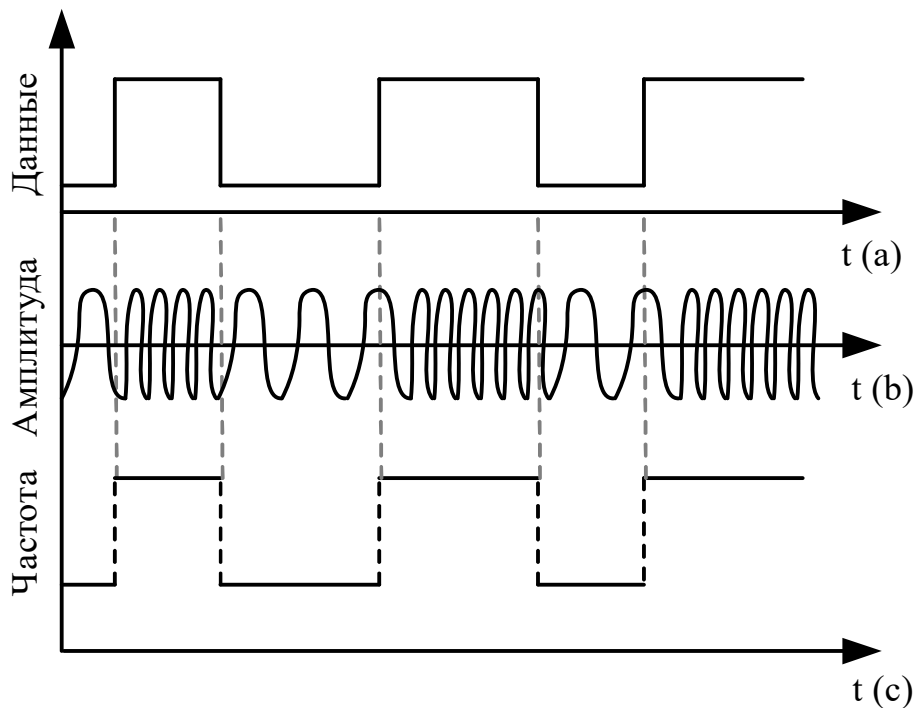


Рис. 3 – FSK модуляция

В состав изделия должны входить:

ОПУ включающее в себя: ЭП 1, ЭП 2; МК; Датчики Энкодеры; Компьютер в составе: ПК, Монитор; Приемник в составе: АЦП, Демодулятор.

Система автоматического обнаружения спутника антенной системой должна отвечать структуре, изображенной на рисунке 4.

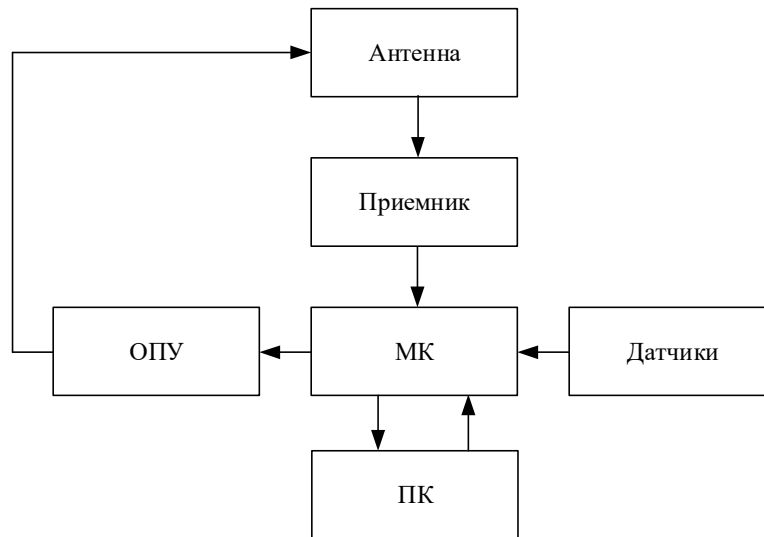


Рис. 4 – Структурная схема антенной системы обнаружения

САУ предназначена для одновременного решения двух задач:

- С необходимой точностью обеспечивать изменение выходящей величины в соответствии с входящей величиной;
- Максимально нейтрализовать внешние возмущения [5].

В основе работы любой автоматической системы лежит постоянное сравнение меняющейся регулируемой величины с задающим управление сигналом. Возмущающий сигнал ошибки применяется для формирования управляющего воздействия на объект регулирования так, чтобы возникающая ошибка в системе не превышала допустимого уровня.

Построим упрощенную структурную схему управления двигателем с учетом нагрузки (Рисунок 6):

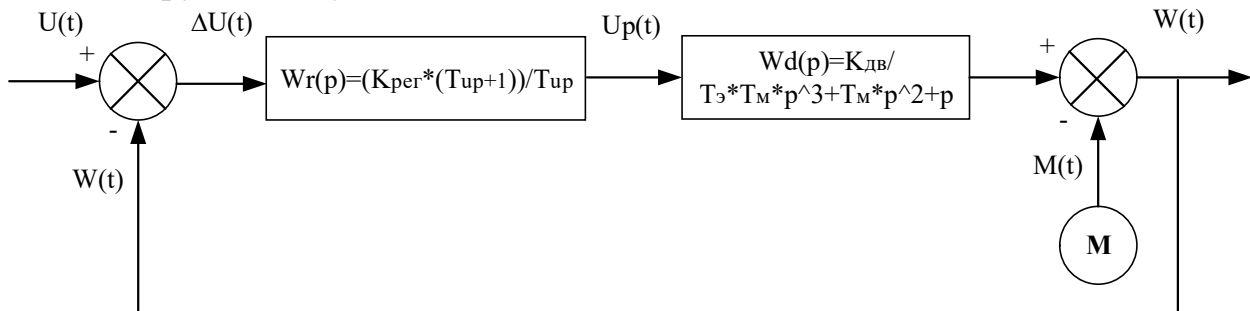


Рис. 6 – Упрощенная структурная схема управления электроприводом

Тут $U(t)$ – управляющее напряжение; $\Delta U(t)$ – напряжение рассогласования; $U_p(t)$ – напряжение регулятора; $M(t)$ – воздействие нагрузки; $W(t)$ – угловая скорость вала двигателя; $W_r(p)$ – передаточная функция регулятора; $W_d(p)$ – передаточная функция двигателя [6].

В заключении следует отметить, что созданная система автоматического обнаружения обеспечивает правильное функционирование антенной системы и осуществляет точную навигацию зеркала антенны на принимаемый с космического аппарата сигнал.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 *Панченко Б.А.* Проектирование антенных систем СВЧ. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2002. 48 с.
- 2 *Иванов Н.М., Лысенко Л.Н.* Баллистика и навигация космических аппаратов.
- 3 *Захарченко Н. В.* Численные методы поиска экстремума. Одесса – 2007.
- 4 *Павлейно М. А., Ромаданов В. М.* Спектральные преобразования в matlab». Санкт-Петербург 2007 г.
- 5 *Васильева К. К.* Теория автоматического управления. Ульяновск 2001 г.

УДК 004.896:621.865.8

РАСЧЁТ СИЛОМОМЕНТНОГО ОЧУВСТВЛЕНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ АВТОНОМНОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Полев Р.И. Мальков С.Б.
Россия, Таганрог, ЮФУ

Порядка 3-4 тыс. лет назад человечество начало использовать технические средства и приспособления в качестве способа облегчения быта. Примерами могут служить простые механизмы, транспорт, гидротехнические сооружения [1]. По мере продвижения научно технического прогресса, орудия труда стали совершенствоваться, а потребности людей возрастать. Постепенно начали образовываться технические машины – паровые, прядильные, металлорежущие станки и пр. Приближаясь к настоящему времени можно заметить огромное разнообразие технических средств и машин разной специальной направленности, однако из всех больше всего выделяются робототехнические системы.

Робототехнической системой называют совокупность технических средств, информационно и функционально связанных в единое целое, специализированную на выполнении конкретных задач [2]. В основе развития робототехники лежит идея многофункциональности и автономности совершения полезных действий [3]. Первый шаг в становлении робототехники оказался связным с производством промышленных робототехнических систем. Сферой их применения стала машиностроительная отрасль, сопряжённая с тяжёлыми условиями труда, в том числе риском смерти или получения тяжёлых травм. Первым поколением роботов являлись манипуляторы – электромеханические устройства, имеющие форму, похожую на человеческую руку и обладающие до шести степеней свободы, управляемые по заранее заданному алгоритму. Со временем такие робототехнические системы столкнулись с кризисом – ограниченность движения, отсутствие мобильности и реакции на изменяющиеся условия работы, определяли лишь узкий круг использования таких систем.

Прорывом являлось усовершенствование работа по образу человека – добавление сенсорных устройств.

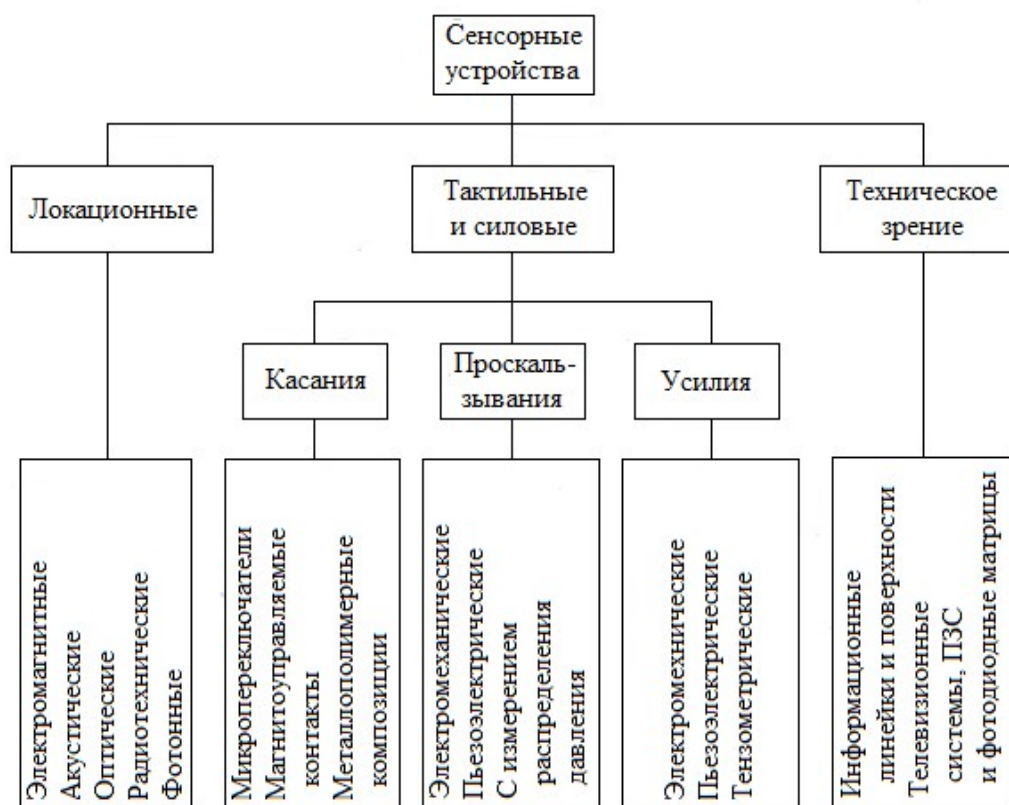


Рисунок 1 – Классификация сенсорных устройств

Из всего вышесказанного следует, что многофункциональная автономная робототехническая система может быть создана лишь посредством её оснащения различными сенсорными устройствами. Одним из таких устройств может являться электромеханический датчик схвата.

Рассмотрим способ расчёта силомоментного датчика схвата робота, встроенного в запястье. Такое устройство компактных размеров (10см x 3 см) может измерять усилия до 900 ньютонов. Для снижения величины гистерезиса, сенсор изготавливают из твёрдого металлического материала. Так, у сенсора (рисунок 2) восемь пар устройств измерения напряжения. Эти устройства полупроводниковой структуры, установленные по каждую сторону стержней, которые способны отклоняться и вращаться на некоторый угол относительно орт прямоугольной системы координат с началом в геометрическом центре всего датчика схвата, формируют некоторое напряжение, пропорциональное величинам отклонений. Такая пропорциональность достигается благодаря дифференциальному включению датчиков и потенциометрического контура, который в том числе автоматически производит небольшую температурную компенсацию.

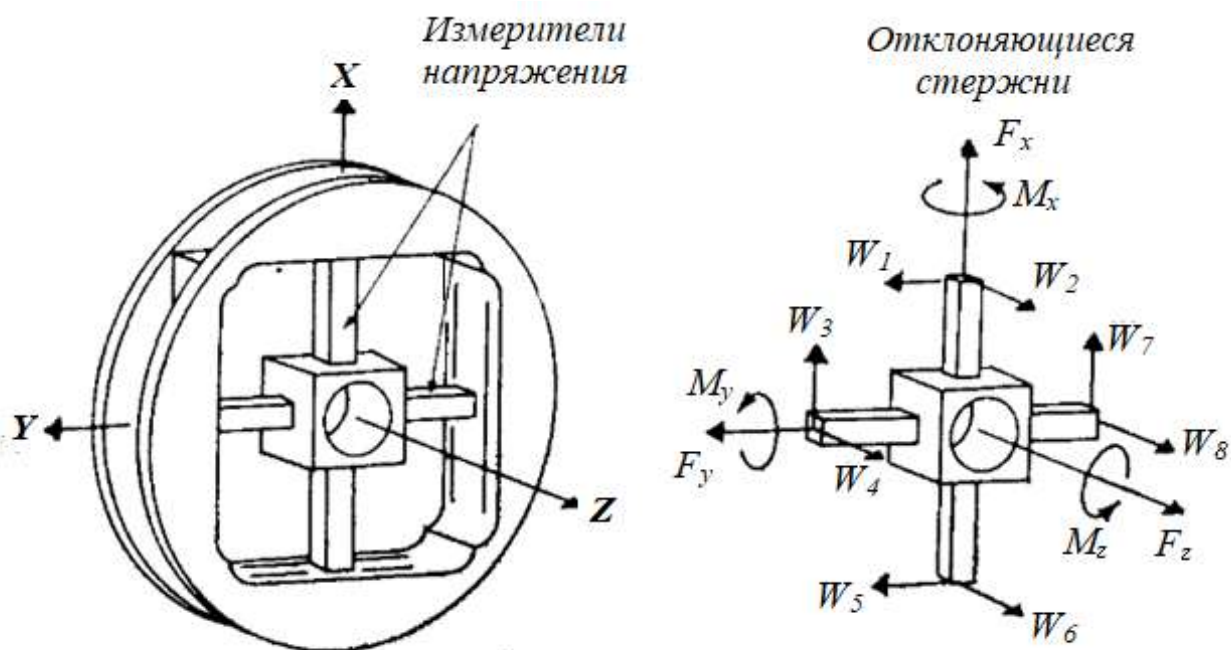


Рисунок 2 – Силовой датчик схвата, встроенный в запястье

Ортогональность расположения регистраторов отклонений к осям, позволяет вычислять проекции равнодействующих моментов и сил соответственно складывая или вычитая выходные напряжения. Такие действия удобно выполнять с помощью матрицы калибровки.

Поскольку метод измерения сил и моментов в силомоментных сенсорах основан на измерении напряжения при отклонении и вращении стержней в схвате, следует снизить влияние таких перемещений на точность позиционирования самого схвата. Таким образом обозначим требования, предъявляемые к датчикам:

1. Величина жёсткости датчика. Частота и амплитуда собственных колебаний, которые возникают в сенсоре схвата, зависят прямо от его жёсткости. Такая посылка даёт основание использования материалов для изготовления датчика, обладающих большим коэффициентом жёсткости. Этот коэффициент увеличивает затухание колебаний при регистрации сил, что повышает общую точность измерений в короткий промежуток времени.

2. Размеры изделия. Малые габариты позволяют облегчить перемещение схвата в ограниченном пространстве и уменьшить риск столкновения с другими объектами, находящимися в пределах рабочей зоны. Размещение миниатюрного датчика ближе к рабочему устройству, заключённому в манипулятор уменьшает ошибку позиционирования этого устройства, связанную с неадекватностью рабочих условий. При уменьшении величины рычага действующих сил, вследствие минимизации устройства, происходит расширение диапазона измерения.

3. Линейная зависимость. Такая зависимость выходных величин измерительных датчиков от приложенных моментов и сил, позволяет

производить матричные вычисления посредством простых действий, что существенно облегчает калибровку сенсора.

4. Малые величины внутреннего трения и гистерезиса. Большая величина трения негативно сказывается на чувствительности измерителей напряжения, а гистерезисный эффект, при возвращении схвата в изначальное положение – увеличивается.

Пренебрегая взаимным воздействием измерителей, можно считать, что сенсор схвата работает в пределах упругих деформаций. Регистраторы напряжений генерируют выходные напряжения, прямо пропорциональные отклонениям. В результате сенсор создаёт восемь различных показаний, обрабатываемые посредством простого выделения трёх нормальных компонентов моментов и сил в системе координат, связанной с датчиком силы. Это может быть выполнено посредством нахождения матрицы калибровки датчика R_F (разделения силы), размером 6 x 8. Разложенный вектор представим в виде:

$$F = R_F W, \quad (1)$$

где

$$F = (\text{силы, моменты})^T = (F_x, F_y, F_z, M_x, M_y, M_z)^T$$

$$W = (\text{ряд измерений})^T = (\omega_1, \omega_2, \omega_3 \dots \omega_8)^T$$

и

$$R_F = \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{18} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ r_{61} & \dots & r_{68} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Так как из выражения выше $r_{ij} \neq 0$ являются членами, которые требуют трансформации измерений напряжений W (В) в моменты и силы (Н*м, Н), то опуская взаимовлияние измерителей и складывая моменты и силы, получаем выражения с некоторыми нулевыми элементами r_{ij} . Матрица калибровки датчика по уравнению (2) имеет вид:

$$R_F = \begin{bmatrix} 0 & 0 & r_{13} & 0 & 0 & 0 & r_{17} & 0 \\ r_{21} & 0 & 0 & 0 & r_{25} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & r_{32} & 0 & r_{34} & 0 & r_{36} & 0 & r_{38} \\ 0 & 0 & 0 & r_{44} & 0 & 0 & 0 & r_{48} \\ 0 & r_{52} & 0 & 0 & 0 & r_{56} & 0 & 0 \\ r_{61} & 0 & r_{63} & 0 & r_{65} & 0 & r_{67} & 0 \end{bmatrix}$$

В действительности взаимовлияние измерителей вносит свои погрешности. Существуют датчики силы с размером погрешности до 5%. Поэтому, обычно необходимо менять матрицу калибровки датчика R_F на матрицу с 48-ю ненулевыми элементами. Нормированный вектор силы F используют для вычисления ошибки, которая влияет на управляющий манипулятором сигнал.

Определение всех 48 неизвестных элементов матрицы калибровки на основе эмпирических данных, является задачей калибровки силомоментного датчика схвата, встроенного в запястье. Из-за наличия взаимного влияния контуров датчиков, калибровка происходит путём определения псевдообратной матрицы калибровки R_F^* , удовлетворяющей выражениям:

$$W = R_F^* F \quad (3)$$

$$R_F^* R_F = \mathbf{1}_{8 \times 8} \quad (4)$$

где R_F^* - матрица размером 8×6 , а $\mathbf{1}_{8 \times 8}$ – единичная матрица размером 8×8 .

Тогда R_F можно найти из псевдообратной матрицы методом наименьших квадратов. Перемножая уравнение (3) на $(R_F^*)^T$ получаем

$$(R_F^*)^T W = [(R_F^*)^T R_F^*] F \quad (5)$$

После обращения матрицы $[(R_F^*)^T R_F^*]$ имеем

$$F = [(R_F^*)^T R_F^*]^{-1} (R_F^*)^T W \quad (6)$$

Сравнивая уравнения (1) и (6) получим

$$R_F \cong [(R_F^*)^T R_F^*]^{-1} (R_F^*)^T \quad (7)$$

Матрица R_F^* может быть определена путём расстановки известных весовых коэффициентов при векторах, расположенных вдоль осей системы координат датчика.

Заключение. В данной работе была обсуждена проблема создания автономной робототехнической системы, предъявлены требования к созданию наиболее оптимального сенсорного устройства силомоментного оучувствления, а также рассмотрен способ расчёта электромеханического датчика схвата.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гринин Л.Е.* Производительные силы и исторический процесс. 3-е изд., изд. — М.: КомКнига, 2006. — 272 с
2. *Боголюбов А.Н.* Теория механизмов и машин в историческом развитии ее идей. М., 1976.
3. *Воротников С.А.* Информационные устройства робототехнических систем. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005.
4. *Сырямкин В.И.* Информационные устройства и системы в робототехнике и мехатронике: учеб. пособие. (Серия: Интеллектуальные технические системы). – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2016. – 524 с.
5. *Готлиб Б.М.* Введение в специальность «Мехатроника и робототехника». – Екатеринбург, УрГУПС, 2012 – 134 с.

УДК 621.396.67

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ СПУТНИКА АНТЕННОЙ СИСТЕМОЙ

Торшин С.С., Чернявский Н.С., Мальков С.Б.

ЮФУ, г. Таганрог

В настоящее время ряд научно-исследовательских институтов и оборонно-промышленных комплексов ведут интенсивные исследования в области проектирования роботизированных антенных систем и комплексов, разработки и реализации эффективных технологий сопровождения спутника. Такая антенная система обладает рядом преимуществ, главные из которых — автономность работы, точность наведения и сопровождения цели. При создании нового поколения роботизированных антенных систем в современных условиях особое внимание уделяется разработке системы управления такого робота.

Современные антенные системы выполняют задачу слежения за космическим аппаратом в любой момент времени, где известна траектория движения спутника и его положение в данный момент времени по исходным данным расчета целеуказаний. Решением этой задачи является использование эффективных методов управления роботизированной антенной системой.

Система автоматического сопровождения спутника роботизированной антенной (САССАС) предназначена для управления движением антенны по азимуту и углу места при сопровождении цели на всех участках полета, поддержания максимума амплитуды принимаемого полезного сигнала. Такая система является одной из важнейших систем роботизированной антенной системы, так как от её корректного функционирования зависит как уровень принимаемого полезного сигнала, так и безопасность, и автономность работы. Системы автоматического сопровождения спутника в настоящее время активно внедряют в антенные комплексы и системы и обуславливается это тем, что они обеспечивают эффективное управление зеркалом антенны без непосредственного участия человека, увеличивая тем самым уровень автономности, качество принимаемого полезного сигнала и уменьшая затраты на производство.

В работе ставится цель разработать систему управления роботизированной антенной системы, решающей задачу слежения за космическим аппаратом на всех видимых участках его полёта и позволяющей увеличить точность, автономность и эффективность работы роботизированной антенной системы при сопровождении спутника на высокоэллиптической орбите. Объектом исследования по рассматриваемой теме является роботизированная антенная система. Предмет исследования — управление роботизированной антенной системой при сопровождении спутника на высокоэллиптической орбите.

Практическая ценность заключается в осуществлении сопровождения спутника, движущегося по высокоэллиптической орбите, в автономном режиме,

а также в обеспечении поддержании уровня полезного сигнала на необходимом уровне.

Состав роботизированной спутниковой антенной системы:

1) Двухзеркальная антенна Кассегрена. Диаметр — 3,7 метров. Зеркальные антенны отличаются простотой конструкции, возможностью получения различных диаграмм направленности, хорошими диапазонными свойствами [2].

2) ОПУ — опорно-поворотное устройство. Самым распространённым из механизмов поворота является двухзвенный манипуляционный робот, имеющий два последовательно соединённых вращательными сочленениями звена. Кинематическая схема такого манипуляционного робота является разомкнутой. Один конец этой кинематической цепи соединён с жёстко зафиксированным основанием. Второй конец свободен для перемещения и обладает рабочим органом [1], который представляет собой приёмник радиосигнала;

3) Спутниковый конвертер — приёмное устройство, которое собирает сфокусированный сигнал антенны;

4) Устройство цифровой обработки сигнала;

5) Приёмник сигнала, предназначенный для формирования на выходе сигнала, пропорционального уровню принимаемого станцией радиочастотного сигнала L-диапазона;

6) УУА — устройство управления антенной;

7) Устройство отображения информации.

Система должна обеспечивать поворот зеркала антенны диаметром 3.7 метров со скоростью по азимуту не более 6 град./сек и углу места не более 3 град./сек. в диапазоне перемещений зеркала по углу места от 3 до 90 градусов.

Современные системы автоматического сопровождения спутника должны производить слежение зеркалом антенны за спутником с последующей корректировкой направления при понижении уровня сигнала [3]. Для получения информации об уровне сигнала используется приёмник сигнала, соединённый с микроконтроллером.

В качестве системы управления СУ выступает персональный компьютер, к которому через USB подключается микроконтроллер. Микроконтроллер управляет электродвигателями с помощью специальных драйверов.

САССАС должна отвечать структуре, представленной на рисунке 1.

В качестве исполнительного механизма ИМ выступают асинхронные трёхфазные электродвигатели с короткозамкнутым ротором. Таких двигателей необходимо два: для управления зеркалом антенны по углу места и азимуту.

В качестве датчиков выступают два датчика положения вала, установленных на валах электроприводов.

Источником информации данных о полезном принимаемом сигнале для системы автоматического сопровождения спутника является спутниковый приёмник сигнала. Оцифрованный сигнал, поступивший на спутниковый приёмник, формирует информацию о принятом сигнале.

Основные элементы САССАС должны взаимодействовать согласно рисунку 2.

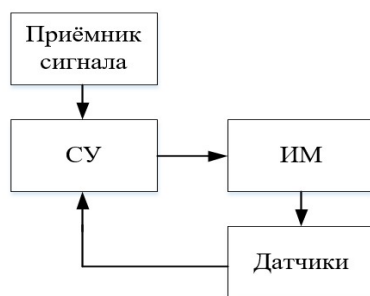


Рис. 1 – Структурная схема системы автоматического сопровождения спутника антенной системой

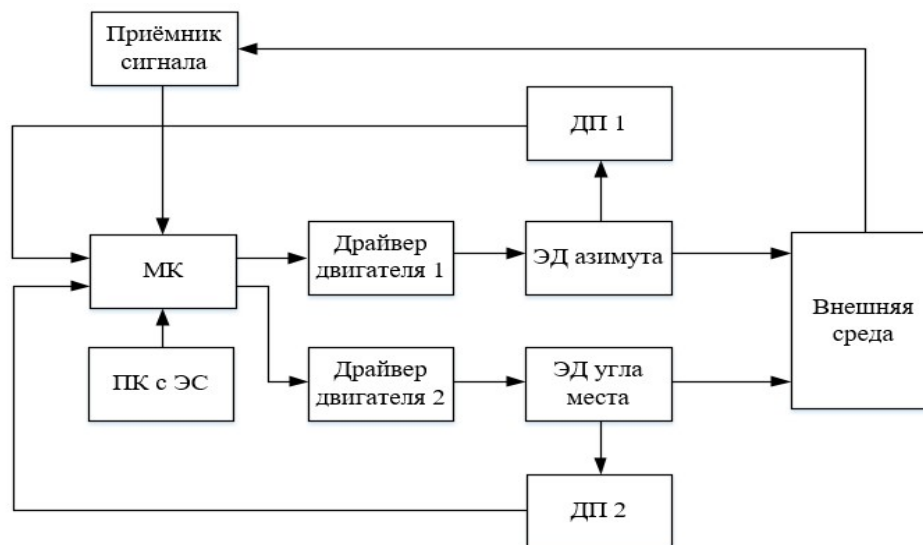


Рис. 2 – Функциональная схема системы автоматического сопровождения спутника антенной системы

Значение амплитуды принятого сигнала поступает на микроконтроллер МК, который исходя из принятого значения уровня сигнала принимает решение.

Персональный компьютер ПК с установленным программным обеспечением, представляющим собой ЭС, отправляет по USB-каналу на МК значения углов, на которые должны быть установлены валы двигателей ЭД.

Электродвигатель ЭД угла места и электродвигатель ЭД азимута производят вращение на определённые углы, которые поступили с МК с помощью драйверов двигателей. Также управляющий сигнал проходит через ПИ-регулятор, коэффициенты которого равны: П-регулятор = 50; И-регулятор = 4,9. Система имеет отрицательную обратную связь, которая делает систему более устойчивой к случайному изменению параметров.

Датчик положения вала ДП 1 и датчик положения вала ДП 2 соединены с МК и отправляют на МК информацию о положении валов двигателей.

Основная задача расчета движения электроприводов состоит в том, чтобы зеркало спутниковой антенны всегда было направлено на спутник, а сигнал, принимаемый с бортового маяка спутника, имел максимально возможную амплитуду [5].

При использовании направленных антенн для работы со спутниками требуется их постоянное сопровождение, которое осуществляется на основе информации о местоположении станции и элементах орбиты спутника и может корректироваться по принимаемому сигналу.

Метод автоматического сопровождения — наиболее точный способ сопровождения спутника [5]. Он основан на получении антенной земной станции сигнала радиомаяка со спутника. Система управления может работать в двух режимах: режиме эталонной системы и режиме экстремального автомата.

При сопровождении спутниковой антенной цели основным является определение направления на спутник. Оно складывается из угла азимута и угла места. Азимут — угол между направлением на спутник и направлением на север. Угол места — угол между направлением на спутник и горизонтом.

Режим экстремального автомата представляет собой режим автоматической коррекции направления приёмника антенны по уровню принимаемого с КА сигнала. Суть метода в том, что при понижении уровня сигнала до порогового уровня следящая система выполняет подстройку антенны — смещает антенну от начальной позиции, определяет направление максимального сигнала и наводит антенну на это направление [4]. Уже в сам этот принцип заложена необходимость расстройки антенны от максимума во время пробных качаний, это приводит к кратковременному ухудшению сигнала при автоподстройке. Таким образом в результате работы режима экстремального автомата направленная антенна роботизированной антенной системы становится ориентированной таким образом, что направление на спутник совпадает с максимумом её диаграммы направленности. Основным режимом является режим эталонной системы. Он заключается в повороте зеркала антенны по TLE данным сопровождаемого спутника. TLE — двухстрочный формат данных, представляющий собой набор элементов орбиты искусственного спутника Земли. Формат TLE используется для определения положения космических объектов, для вычисления положения спутника в определённое время с определённой погрешностью [6].

Система автоматического сопровождения спутника действует по алгоритму, сокращённая блок-схема которого представлена на рисунке 3.

— Проверка положения ЭП угла места, связанная с конструктивными особенностями антенны;

— Сопровождение спутника по эталонной системе. Эталонная система предполагает собой идеальную траекторию движения спутника, полученную при помощи данных TLE;

— При уменьшении амплитуды принимаемого с бортового маяка сигнала система переходит в режим экстремального автомата. Происходит повтор работы режима, пока амплитуда сигнала не примет необходимый пороговый уровень;

— Когда система принимает необходимый уровень сигнала, она продолжает движение по данным эталонной системы, но с учётом корректировки, рассчитанной во время работы экстремального автомата.

Таким образом роботизированная спутниковая антенна будет принимать необходимый уровень сигнала на протяжении практически всего видимого пути полёта спутника.

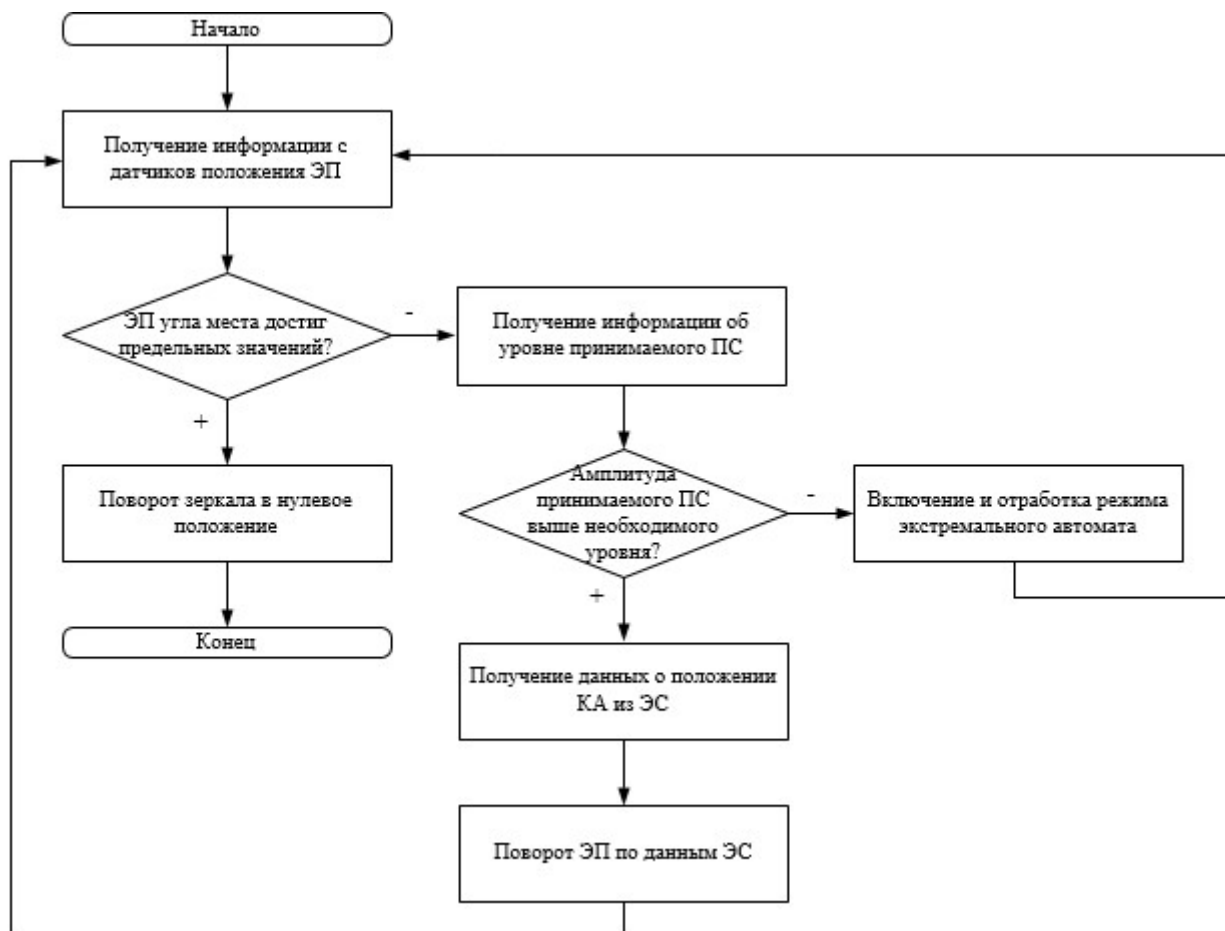


Рис. 3 – Сокращённая блок-схема алгоритма работы САССАС

Для проверки и корректировки алгоритмов системы управления была произведена симуляция работы системы автоматического сопровождения спутника в специальном пакете V-REP с применением функций MATLAB. Для моделирования и проверки работы системы управления была построена условная траектория движения КА в масштабе, условный сигнал и условное время работы системы.

Был проведён ряд симуляций с разными отклонениями по траектории. На рисунке 4 символами «+» обозначены данные, принимаемые во время работы режима экстремального автомата. Уровень принимаемого полезного сигнала держится на протяжении всего времени симуляции на условном уровне не ниже 16, что соответствует заданным требованиям к уровню принимаемого сигнала.

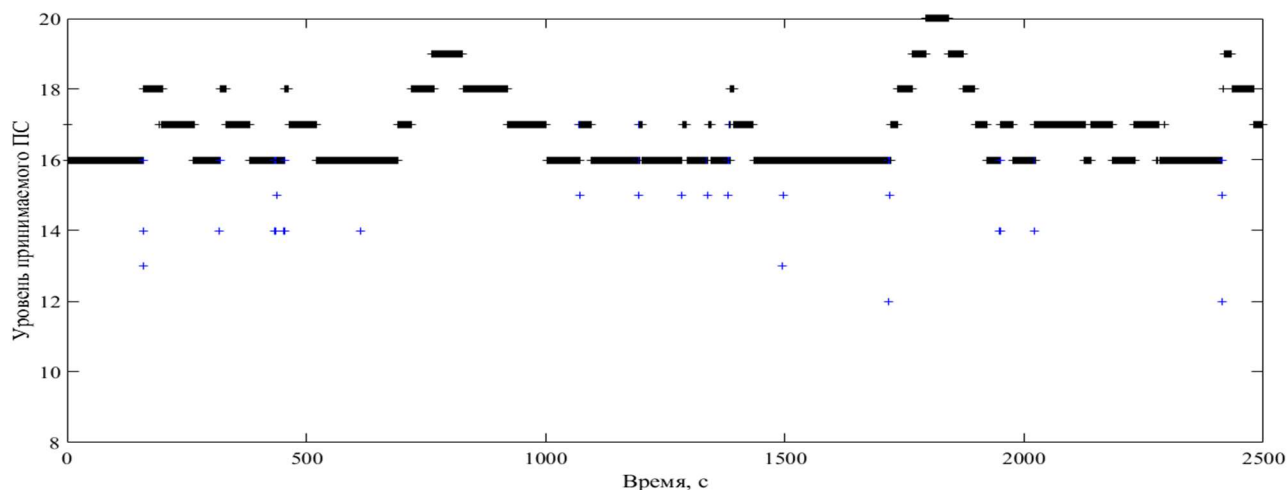


Рис. 4 – Результаты моделирования

Исходя из рисунка 4 можно увидеть, что разработанный алгоритм функционирует на протяжении всего времени пролёта спутника над точкой, в которой установлена роботизированная антенная система с установленной на ней системой САСАС.

В результате была разработана структурная схема системы управления роботизированной антенной системой, алгоритмы работы системы, реализован алгоритм работы антенны при сопровождении спутника соответствии с требованиями задания на языке программирования MATLAB, произведено имитационное моделирование работы антенной системы с помощью программного пакета V-REP. Выбранное программное обеспечение позволяет в реальном времени передавать на МК направление на выбранный спутник с помощью данных TLE, позволяет в реальном времени отслеживать расположение необходимого спутника и фиксировать всю необходимую информацию о нём. Работа разработанной системы не требует вмешательства человека. Антенна производит подстройку двигателей антенны под спутник автоматически по излучаемому сигналу бортовой антенны и сопровождает её.

В результате проведенного имитационного моделирования антенная система выполняет поставленную задачу, способна сопровождать космический аппарат на всём видимом участке пути. Однако, имитационное моделирование имеет ряд недостатков с имитацией передаваемого спутником сигнала ввиду сложности реализации имитации настоящей амплитуды сигнала космического аппарата. Для написания программного обеспечения использовались встроенные библиотеки MATLAB, интерфейс программирования удаленного приложения Remote API и библиотеки Remote API Functions для MATLAB. Реализована имитация работы направленной передающей антенны на языке программирования LUA в среде разработки V-REP.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Пилюхов В.Х.* Математические модели манипуляционных роботов. — М.: Физматлит, 2008. — 121 с.
2. *Неганов В.А., Ключев Д.С., Табаков Д.П.* Устройства СВЧ и антенны.

Часть 2. Теория и техника антенн. — М.: Ленанд, 2014. — 728 с.

3. Покрас А.М., Цирлин В.М., Кудеяров Г.Н. Системы сопровождения антенн земных станций спутниковой связи. — М.: Связь, 1998. — 152 с.

4. Бойченко М.П., Попов К.С. Экстремальный автомат наведения антенн. // 12th Int. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology”. — SU., 2002. — С.257–258.

5. Назарцев М.С., Яловой В.Я. Разработка системы управления вращением антенны цифровыми методами. // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки: Сборник статей по математике VI междунар. студ. науч.-практ. конф. — Н., 2012. — Вып. 6. — С.56-68.

6. Вербицкий Л.Н., Вербицкий М.Н. Устройство управления поворотом антенны // РАДИОДЕЛО — 2005. — № 5. — С.54-56.

УДК 631.171

РОБОТ-ГАЗОНОКОСИЛКА ДЛЯ УМНОГО ДОМА

Сидоренко С.Ю., Немцов Д.А.

Южный Федеральный Университет, ИРТСиУ, каф. ЭиМ, г.Таганрог

Введение. В настоящее время роботы находят все большее применение в быту, стремясь отвлечь человека от кропотливой работы. Отсюда возникает задача автоматизировать процесс покоса газона путем использования робота-газонокосилки в системе «умный дом».

Постановка задачи. Для решения поставленной задачи требуется выполнить следующие действия:

- 1) рассмотреть трансмиссию и режущий привод робота;
- 2) проанализировать необходимые датчики;
- 3) решить вопрос безопасности;
- 4) описать управление и автономность.

Трансмиссия и режущий привод. Привод робота-газонокосилки оснащается электродвигателями постоянного тока. На каждое ведущее колесо устанавливается по одному мотору. Они работают независимо и вращаются с разными скоростями, чтобы осуществить манёвр. Большинство моделей устроены по схеме — большие ведущие колёса (как правило, задние) и маленькие передние, свободно поворачивающиеся на любой угол. Полноприводные модификации встречаются не так часто, но тогда все колёса одного размера и не имеют возможности поворачиваться. Возможно и вращение колёс в «противофазе», при этом косилка разворачивается практически на месте, что обеспечивает непревзойдённую манёвренность. Сочетая небольшой вес и высокий крутящий момент электромоторов, такие роботы-газонокосилки могут работать на газонах сложного рельефа. Колеса зачастую выполнены из пластика с развитыми грунтозацепами, обеспечивающими хорошую проходимость. В силу небольшого веса, робот не приминает траву и не рвёт травяной покров.

Ножей может быть один или несколько. Каждый из них приводит в движение отдельный электромотор. Это сильно упрощает конструкцию. Режущие ножи лучше располагать от центра ближе к краям, делая покос без «стыков». Существует две разновидности конструкции:

- 1) вращающийся диск с «свободно плавающими» ножами;
- 2) прочные металлические ножи.

В первом случае, нож, за счёт центробежной силы, выходит в рабочее положение и срезает траву. Плюсом такой конструкции является то, что нож, встретив небольшое препятствие, просто обойдёт его, повернувшись на оси. Во втором случае, система представляет собой прочные металлические ножи, наподобие таких, что ставят на мотокосы.

Робот может иметь несколько режимов покоса:

- мульчирование, выброс травы в сторону;
- сбор травы в бак/мешок.

При первом режиме, робот стрижёт газон довольно часто, и трава не успевает отрасти. Ножи имеют тонкие и очень острые лезвия, поэтому срез аккуратный, а обрезки – мелкие.

При сборе травы в бак, его периодически необходимо чистить вручную, что отменяет идею автономности робота. Помимо этого, необходимо найти место, куда утилизировать скошенную траву, в то время как после мульчирования через 2-3 дня трава станет естественным удобрением для почвы.

Датчики. Роботы-газонокосилки оснащены рядом датчиков. Ультразвуковой / инфракрасный датчик препятствия служит для правильного реагирования на нештатные ситуации. Когда в микроконтроллер поступает сигнал с датчиков столкновения, газонокосилка производит остановку, разворачивается в обратном направлении, но под небольшим углом продолжает движение.

Датчик травы (например, оптопара). Здесь границей газона является поверхность без травы. Но этот датчик работает не всегда корректно и может дать свой в алгоритме покоса. Поэтому наибольшее распространение получила система с ограничительным проводом, по которому пускают постоянный ток. Границы участка кошения определяют специальным кабелем, создавая контур. Его подключают к станции подзарядки, а о приближении к нему сигнализирует специальный датчик.

Датчик дождя при первых каплях отдаёт команду заканчивать работу, и робот уезжает на станцию подзарядки. При кошении мокрой травы увеличиваются затраты энергии. Так же это пагубно сказывается на ресурсе самой газонокосилки, так как ее ножи забиваются. Чтобы избежать условий затяжной непогоды, датчик дождя необходимо сделать отключаемым или обучаемым. Это позволит настроить газонокосилку не реагировать на мелкий дождь, но скрываться от серьёзного ливня. Датчики температуры служат для защиты электродвигателей от перегрева. Датчики тока на электродвигателях считают потребление энергии.

Безопасность. Ножи должны устанавливаться на достаточном расстоянии от корпуса и закрыты кожухом. Попытка поднятия косилки остановит ножи.

Наезд на какой-нибудь небольшой предмет тоже. При большом препятствии, наподобие клумбы или человеческой ноги, сработает датчик столкновения, и робот продолжит двигаться по алгоритму, описанному выше [1].

Остановить работающего газонокосилку можно вручную. Достаточно дотронуться до корпуса или взяться за рукоятку – и ножи остановятся. Так же это можно сделать с пульта ДУ или станции подзарядки.

Контур «дальнего оповещения». Это система акустических датчиков, фиксирующих крупные объекты на достаточном расстоянии, чтобы робот успел снизить скорость.

Защита от угона. Прежде всего, это блокировка с помощью PIN-кода:

- машина не будет работать в принципе, если не ввести персональный PIN-код;
- она не будет работать с другой станцией подзарядки;
- может периодически требовать ввод кода;
- в случаях, если работа косилки была прервана чьими-то действиями, может потребоваться ввод первой цифры кода.

Не исключена возможность встроенной сирены, включающаяся при попытке «несанкционированного доступа». Определение местоположения с помощью GPS запретит роботу работать на каком-либо другом газоне, кроме того, который есть в памяти. Присутствует функция SMS-уведомлений с указанием новых координат и происшествий на газоне.

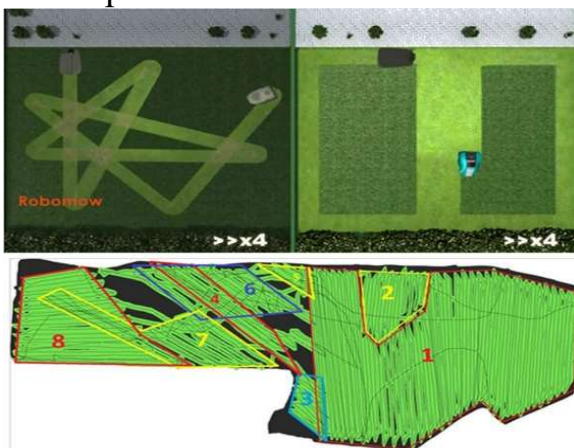


Рис. 1 – Алгоритм передвижения

Управление. Робот-газонокосилка имеет комбинированный алгоритм передвижения: на широких участках — стохастический, а в узких местах — детерминированный [3]. Хаотичный режим лучше прокосит все участки (рис. 1).

Мультизональность (рис.2) позволяет определить несколько участков покоса на газоне, если это необходимо. Также это могут быть разные газоны. Выкашивание краев — это алгоритм, который строит маршрут робота так, чтобы он дополнительно проходил по границе газона для более качественного выкашивания. Такой режим возможен только на роботах с захватом травы за пределами колес.

Для поддержания автономии, робот возвращается на станцию подзарядки самостоятельно. Правильное распределение нагрузки помогает решить проблему энергоэффективности. Датчики тока, которые устанавливаются на электродвигателях кошения, помогают отслеживать участки, где высокая трава. Другими словами, робот притормаживает так, где большой объем травы [2].

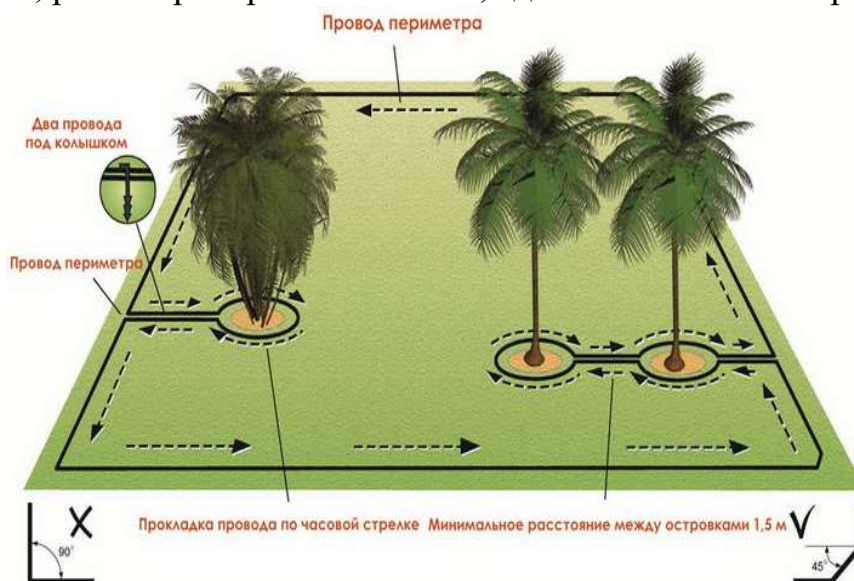


Рис. 2 – Зоны покоса

Для подключения к умному дому на борту необходим модуль Wi-Fi, так как основные системы работают по беспроводной сети. Таким образом, роботу можно задавать необходимые режимы работы, кошение по расписанию, интенсивность и получать обратную связь о состоянии газона прямоком из смартфона.

Газонокосилки-роботы различаются на несколько типов питания:

- аккумуляторные;
- комбинированные (питание от аккумулятора и/или солнечных батарей).

Робот подключается к зарядному устройству самостоятельно. «Базовую станцию» необходимо установить на границе с газоном. Когда заряд уменьшается до минимума, робот идёт по нему и упирается прямо в контакты зарядного устройства. И выезжает оттуда также самостоятельно, когда её батареи полностью зарядятся.

Чтобы правильно выбрать тип и емкость аккумулятора, необходимо учитывать размеры газона. Лучший и современный выбор, это литий-железно-фосфатные (LiFePO₄). Количество циклов заряда-разряда таких аккумуляторов достигает 2000, а это повышает их срок службы на фоне литий-ионных. Блок питания для базовой станции должен быть широкодиапазонным, так как в деревнях и коттеджных поселках входное напряжение зачастую не укладывается в нормативы 220V.

Заключение. В статье рассмотрен принцип работы трансмиссии и режущего привода робота-газонокосилки. Подробно разобраны вопросы безопасности и автономности, что не маловажно в нынешней реальности. Описан алгоритм управления и подключение к системе «умный дом».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Роботы-газонокосилки [Электронный ресурс] // URL: <https://masterforum.ru/vkalyvayut-roboty-a-ne-chelovek-likbez-po-robotizirovannym-gazonokosilkam> (дата обращения: 6.10.2019).
2. *Robomow RS 630* [Электронный ресурс] // URL: <https://habr.com/ru/company/qrobot/blog/202026> (дата обращения: 6.10.2019).
3. В.Х. Пилюхов, М. Ю. Медведев. Управление роботами и робототехническими системами часть 1. Оптимальное управление роботами: учебное пособие. – Ростов-на-Дону:Изд-во ЮФУ, 2014. – 46с.

УДК 62-1/9

РОБОТ ПЫЛЕСОС ДЛЯ ОСОБО ВРЕДНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Немцов Д.А., Сидоренко С.Ю., Волощенко Ю.П.
Южный федеральный университет, Таганрог

Введение. Существует огромное множество различных предприятий, на которых в процессе производства происходит загрязнение помещений вредными веществами, которые могут оказывать пагубное влияние на человеческий организм, и если само производство мы можем роботизировать, то процесс уборки пока что остается прерогативой человека.

Постановка задачи. Необходимость роботизировать процесс уборки на опасных производствах стала видна давно, но к сожалению, так ничего и не было придумано для этих целей. Конечно обезопасить людей занимающихся уборкой помещений пытаются, и довольно успешно; применяются современные промышленные пылесосы и уборочные машины с мощными системами фильтрации, а сами люди используют специальную одежду и защитные маски. Данная работа направлена на рассмотрение существующих методов уборки, обзор современных разработок в области роботехники, и поиск решения, способного свести к минимуму контакт человека с вредными веществами, такими как асбестовая пыль, мелкодисперсная пыль и пыль класса *H*.

Существующие виды уборочной техники. На данный момент рынок насыщен различной техникой для производства уборочных работ. Существуют как простые пылесосы с низкой классностью убираемого мусора, так и модели способные работать с мелкодисперсной и опасной пылью, а также некоторыми жидкими веществами. Есть множество видов подметальных машин и поломоечных машин. Не стоит забывать и о существующих моделях роботов пылесосов промышленного класса, только стоит отметить что они совсем не подходят для поставленной нами задачи, но при этом могут послужить отличной базой для изучения, и создания агрегата, удовлетворяющего нашим требованиям.

Роботы-пылесосы промышленного класса. Простые роботы-пылесосы имеют много общего с пылесосами промышленной категории. В обоих случаях используется устройство, способное убрать определенную территорию без прямого участия со стороны человека. Вот только слово "промышленный" означает, что пылесос способен убирать не только помещения, но и открытые площадки. Увеличенная мощность и емкость позволяет убирать и достаточно крупный, опасный для простого пылесоса строительный мусор. Данные устройства относятся к бытовой технике, несмотря на то, что они не используются непосредственно в быту, как их младшие модели. Если бытовой робот-пылесос будет работать на ламинате, линолеуме или ковре, то промышленный пылесос будет работать на асфальте, бетоне. Наличие продвинутой интеллектуальной системы позволяет такому роботу самостоятельно прокладывать наиболее оптимальный маршрут. Хотя при желании владелец пылесоса может самостоятельно очертить границы, за которые пылесос не может выходить пылесос – для этого есть виртуальная стена или маяк. Устройства промышленного класса изначально рассчитаны на то, что они будут работать долго без подзарядки, поэтому там используются емкие аккумуляторные батареи. При этом габариты промышленного пылесоса, несмотря на свою мощность, являются компактными. Его удобно транспортировать с места на место. Производители учитывают то, где потенциально может использоваться такой робот, что отражается на функциональности. Наличие инновационных датчиков, камер и сенсоров позволяет без проблем работать даже в людном месте. В основе любого пылесоса-робота лежит способность интеллектуальной прокладки маршрута как в более дорогих моделях или способность преодоления препятствий. За это отвечают алгоритмы, прописанные в системе.

Специфика использования. Роботы-пылесосы промышленного типа изначально рассчитаны на уборку производственных помещений и площадок с большой площадью. Это может быть торговый центр, территория стадиона, офисные помещения, складские помещения, ангар, аэропорт. При выборе пылесоса стоит напрямую отталкиваться от того, где и когда будет использоваться пылесос.

Для примера можно разобрать возможности робота Makita DRC200 (Рисунок 1), который очищает 500 квадратных метров на двух аккумуляторах 5.0Ah. Наличие ультразвуковых датчиков и бамперов позволяет работать в помещении, где есть люди, хотя лучше всего данную модель использовать на пустых площадках.



Рис. 1 – Робот Makita DRC200

У пылесоса имеется два особых режима работы:

1. Первый режим характеризуется движением пылесоса по паттерну. Этот способ прохождения пространства подходит для широких пространств, где не так много препятствий, которые нужно обходить.

2. Второй режим является случайным. Движения становятся хаотичными, что подходит для площадок, где есть много препятствий.

Еще одним примером такого устройства станет Byson DC06 (Рисунок 2)



Рис. 2 – Робот Byson DC06

Он способен выполнять сухую и влажную уборку, бак имеет емкость, равную 12 литрам. Мощность составляет 1000 Вт. Эти усредненные характеристики стандартного промышленного устройства. Там присутствуют насадки для влажной уборки и щелей, сменные фильтры-мешки, удлинительные трубки.

При выборе устройства промышленного типа следует смотреть не только на голые цифры, но и на другие факторы, характеризующие степень эффективность агрегата в тех или иных условиях.

Речь идет про универсальность пылесоса. Если пылесос будет использоваться для уборки строительной площадки, то убирать потребуется мусор разной конфигурации. Это и мелкий песок, и осколки стекла, и опилки. Придется убирать воду вместе с растворами и стиральными порошками.

Металлические корпуса смотрятся более выигрышно, чем пластиковые. Условия работы будут довольно жесткими, поэтому при прочих равных стоит выбирать более прочный корпус. Что касается системы очистки воздуха, то имеет смысл выбрать тот пылесос, где есть механический вихревой фильтр.

Важными характеристиками являются и предельный срок работы без подзарядки. Устройство не должно перегреваться или снижать эффективность своей работы во время многочасовой очистки помещений.

Есть компания TASKI, которая изготавливает поломоечные машины-роботы. Робот имеет 17 сенсоров, отвечающих за прокладку маршрут, подачу раствора с компьютерным управлением, емкость бака, равную 53 литрам. Популярной является модель TASKI SwingoBot 1650 EU (Рисунок 3)



Рис. 3 – Модель TASKI SwingoBot 1650 EU

Производительность (может варьироваться, в зависимости от окружающих условий)	929	м ² /ч
Емкость гелевых батарей	180	Ah/C5
Напряжение	24	В
Зарядное устройство допустимое входящее напряжение	220В,	с автоматическим отключением)
	20	Ah/24В
Автономия батарей	до 4	ч
Дополнительный сменный комплект батарей увеличивает вдвое время работы до	8	ч
Вес машины	326.6	кг
Габариты (Д x Ш x В)	121.92 x 81.28 x 109.22	смц

На основе всего вышесказанного мы можем сделать вывод, что существующие промышленные роботы-пылесосы очень даже неплохи, но они не выполняют наше условие: «возможность уборки пыли класса Н, мелкодисперсной пыли, а также асбестовой.»

Классификация пыли.

Пыль класса L -является малоопасной. К пылесосам данного, L-класса, предъявляются простые требования: необходимость в измерении скорости воздушного потока не требуется, к утилизации отходов требования отсутствуют, а требования к фильтрующей системе значительно упрощены. К классу L относят следующие виды пылевых отходов: пыль от красок и лаков, пыль от наполнителя на бумаге, пыль от извести (CaCO_3), пыль от зубной пасты, гипсовая пыль (CaSO_4), сульфат кальция, пыль, образующаяся при производстве либо транспортировке удобрений, мела, белой краски, глины, слюды и пр.

Пыль класса М- классифицируется как среднеопасная. С ней работают пылесосы М-класса, к которым предъявляются строгие требования: обязательно измерение скорости воздушного потока, утилизация отходов относится к малопыльной категории, установлены достаточно серьезные требования к системе фильтрации.

К классу М относят такие виды пыли: пыль от меди, жести, никеля, дерева; марганец, пыль на атомных электростанциях. Древесная пыль весьма взрывоопасна, но, при мощности пылесоса <1200 Вт и общем объеме бака <50 л, отсутствует необходимость в применении взрывобезопасного пылесоса.

Пыль класса Н- является высокоопасной. К пылесосам предъявляются самые строгие требования: обязательное измерение скорости воздушного потока, утилизация "без пыли" и самые высокие требования к системе фильтрации. К классу Н относят следующие виды отходов: канцерогенная пыль, вирусы, плесень в больницах, микробы, бактерии, свинец, удобрения, древесностружечная плита, консерванты, красители.

Разработка робота-пылесоса для возможности уборки опасных производств. Нами предлагается разработка такого аппарата на основе существующих моделей промышленных роботов-пылесосов, но с заменой системы пыле-мусоросбора и системы фильтрации на те, что существуют в промышленных пылесосах, таким образом взяв лучшие качества от этих двух видов пылесосов мы сможем реализовать поставленную задачу.

Так как данный вид уборочной техники довольно специфичен, то он вряд ли будет пользоваться большим спросом и налаживать его поточное производство было бы не целесообразно, поэтому будем рассматривать штучное производство на заказ. В таком случае не стоит останавливаться на какой-то одной базе роботизированной части аппарата, её будем выбирать исходя из ТЗ. А вот систему пыле-мусоросбора и фильтрации воздуха, для интеграции в будущее изделие, можно выбрать одну конкретную.

Наш выбор пал на промышленный пылесос DELFIN ZEFIRO 75 (Рис. 4)



Рисунок – 4 пылесос DELFIN ZEFIRO 75

Рабочие характеристики:

-Сфера применения: строительство и ремонт, уборка офисов и торговых залов, уборка складов, химическая промышленность, деревообрабатывающая промышленность, уборка больниц.

-Предназначение: мелкодисперсная пыль, бетонная пыль, влажный мусор, сухой мусор, жидкая грязь, пыль класса М, пыль класса Н, стружка

-Система сбора пыли: контейнер

-Возможность влажной уборки: нет

-Возможность работы без мешков: да

-Циклонная система: да

-Мощность всасывания: 5800 л/мин

-Количество двигателей: 1

-Объем: 100 л

-Шланг: Ø80 мм

Из-за очень высокой специфичности предложенного нами устройства, оно не будет являться популярным и распространенным (скорее всего именно по этой причине до сих пор не было создано чего-то подобного), но если мы хотим минимизировать контакт человека с вредными веществами, то именно такой робот пылесос, как предложенный нами, способен справиться с этой задачей.

Заключение. Был произведен обзор существующих методов уборки опасной пыли и мусора, рассмотрены образцы роботизированной техники для проведения уборки. Исходя из классификации пыли по уровню опасности, выбрана приемлемая система пыле-мусоросбора и фильтрации воздуха. Обозначены дальнейшие пути развития данной тематики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Носков В.П., Рубцов И.В. Ключевые вопросы создания интеллектуальных мобильных роботов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Машиностроение». 2013. С. 34 - 35.

2. Батманов В. П., Сергина Н. М., Дружинина Д. С., Евсеева В. А., Неумержицкая Н. В. О «малой опасности» некоторых видов пыли в воздухе рабочей зоны и в атмосферном воздухе при производстве строительных материалов // Инженерный вестник Дона, 2017, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4015

3. Азаров В. Н., Кошкарев С. А., Николенко М. А. Снижение выбросов систем обеспыливания с использованием дисперсионного анализа пыли в стройиндустрии // Инженерный вестник Дона, 2015, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2838.

УДК 621.3.078

ЭЛЕКТРОННЫЙ БЛОК ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ЗАПОРНОЙ АРМАТУРОЙ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

Лобов П.Н., Волощенко Ю.П.

*Институт радиотехнических систем и управления Южного федерального
университета, г. Таганрог*

На сегодняшний день во многих странах существует устойчивая тенденция к возрастанию требований к экологичности и экономичности технических систем [1]. Для выполнения этих требований и повышения рациональности расходования энергоресурсов активно внедряются системы автоматизированного управления [2].

Основная цель автоматизации управления системой отопления заключается в приведении в соответствие количества потребляемой тепловой энергии с реальными потребностями в ней. Наиболее доступный метод контроля расходования тепла системой отопления состоит в ручном управлении работой котла и отопительных приборов. Способы ручного регулирования на сегодня являются устаревшими и для систем отопления разрабатываются блоки автоматического контроля и регулирования, предназначенные для оптимизации расходов на отопление и поддержания в помещениях комфортных условий. В работе рассмотрено современное состояние разработки и проектирования систем контроля и регулирования отопительных систем, предложены схема и конструкция электронного блока автоматизированного управления запорной арматурой системы отопления, разработан алгоритм управления электроприводом шарового крана.

Для систем отопления жилых зданий уже разработан ряд технологий оптимизации энергозатрат на основе автоматизированных систем. Однако

слабая конкуренция в данной области и ряд дополнительных факторов обуславливает высокую стоимость таких систем. Как правило, компании, занимающиеся производством компонентов для систем отопления, разрабатывают автоматизированные системы только для собственных котловых установок, что позволяет устранить конкуренцию в этой области. Поэтому разработка новых узлов для автоматизации управления отопительными системами жилых и производственных помещений, пригодных для установки на существующие отопительные приборы является актуальной.

Целью работы является обзор существующих систем автоматизации регулирования температуры в помещениях и разработка электронного блока для автоматизированного управления запорной арматурой водяной системы отопления с возможностью установки в различных помещениях и условиях и позволяющего поддерживать необходимый микроклимат. Для достижения цели работы требуется выполнить ряд задач: сделать обзор имеющихся на рынке систем и устройств управления отопительными приборами; выбрать принцип автоматического управления исполнительным устройством; подобрать элементную базу; построить алгоритм работы и написать программу для системы автоматического управления; разработать общую конструкцию и схемы электронного блока на основе выбранной элементной базы.

Современной промышленностью в нашей стране и за рубежом выпускаются системы регулирования микроклимата как в отдельных помещениях, так и во всем здании. Как правило, в основе принципа их работы лежат либо термомеханические устройства, либо это комплексные системы, управляющие отоплением во всем здании или нескольких помещениях, а не отдельными радиаторами отопления. Рассмотрим основные устройства управления систем водяного отопления.

Термостатические клапаны, устанавливаемые на радиаторы отопления, осуществляют изменение потока теплоносителя, поступающего в отопительный прибор. Принцип работы клапана построен на расширении или сжатии рабочего вещества, воздействующего на поршень, который регулирует проходное сечение клапана, изменяющего количество теплоносителя, проходящего через отопительный прибор [3]. Требуемая температура в помещении выставляется вручную на самом устройстве, но при этом поддерживаемая температура может существенно отличаться от комфортной при изменчивости внешних факторов, так как фактическое регулирование осуществляется относительно температуры теплоносителя.

Современные системы отопления оснащаются комнатными регуляторами температуры, подключенными к блоку управления отопительным котлом. В данном случае управление температурой основывается на измерении температуры в помещении с регулятором и передачи результатов блоку управления отопительным котлом, который уже и осуществляет регулировку температуры теплоносителя в системе для достижения требуемой температуры [4-5]. При этом отсутствует возможность управления температурой в отдельных помещениях.

Также в системах используются регуляторы работающие на основе разности температур воды в обратном и подающем трубопроводах. Принцип работы заключается в измерении разницы температур теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе и регулировании потока воды с помощью открытия или закрытия крана на подающем трубопроводе таким образом, чтобы разность температур поддерживалась постоянной [6-7]. В отопительных системах с такими регуляторами удастся лишь увеличить КПД, но при этом отсутствует возможность регулировки температуры в отдельных помещениях, так как единственный критерий управления – разность температур подающегося и обратного теплоносителя. Из проведенного обзора устройств и принципов регуляции температуры в системах отопления можно сделать вывод, что абсолютный аналог разрабатываемого устройства на сегодняшний день производителями регулирующей аппаратуры для отопительных систем не выпускается.

Разрабатываемая конструкция для управления краном системы отопления, приведенная на рис. 1, содержит следующих компоненты: сервопривод (1), крепление сервопривода к крану радиатора (2), цанговое соединение сервопривода с краном (3), регулировочный шаровой кран на трубопроводе системы отопления (4), крепление датчика температуры (5), микроконтроллер с потенциометром и дисплеем (6), датчик температуры (7). Конструкцией предусмотрено универсальное соединение сервопривода к регулировочному крану – вал электропривода соединяется цанговым креплением с осью крана на радиаторе. Другой точкой крепления служит зажим хомутного типа, охватывающий регулировочный кран.

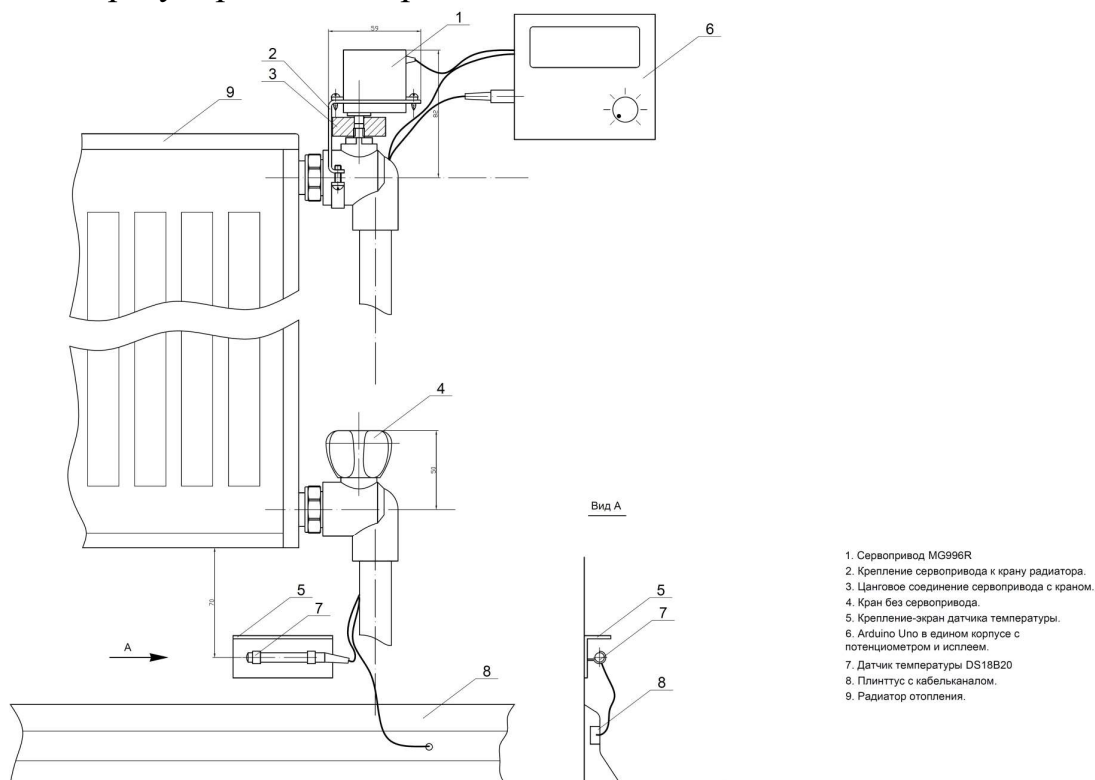


Рис.1 – Общий вид конструкции для управления краном системы отопления

В качестве исполнительного механизма электронного блока управления служит сервопривод. Для подбора сервопривода необходимо измерить усилия, прикладываемые для поворота вала регулировочного шарового крана. Для проведения измерений 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:

$$M = \frac{F \times g}{L}, \text{ Н/м.}$$

Исходя из полученных данных измерений, вычислим максимальный момент поворота шарового крана $M_{\max}=4,9$ Н/м. По M_{\max} выбираем сервопривод MG996R [8].

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 рисунке 2.

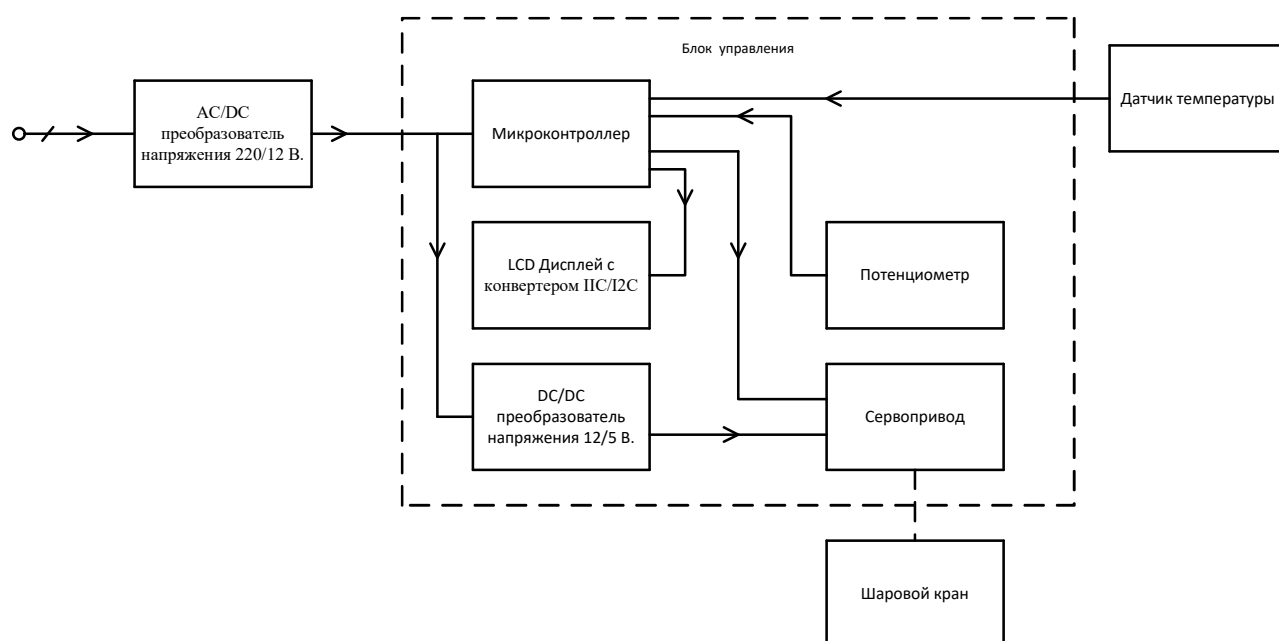


Рис. 2 – Схема электрическая функциональная блока управления.

В настоящий момент наиболее распространённой и недорогой микроконтроллерной платформой с широкими возможностями прототипирования является Arduino Uno. Платформа позволяет использовать большое количество датчиков и модулей различного назначения, различное программное обеспечение. Работа микроконтроллерной платформы Arduino Uno реализована на основе микроконтроллера ATmega328 [9]. Arduino Uno обладает следующими техническими характеристиками: рабочее напряжение - 5 В;

входное напряжение (рекомендуемое) - 7-12 В; входное напряжение (предельное) - 6-20 В; микроконтроллер - ATmega328; 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.

Датчик температуры необходим для сбора данных о текущей температуре в помещении. При выборе датчика контролируемого параметра учитывались: требования совместимости с микроконтроллерной платформой; погрешность измерений датчика и необходимая дискретность измеряемого параметра; возможность выноса датчика от блока управления. Датчик DS18B20 полностью отвечает 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 $+125^{\circ}\text{C}$ и точностью $0,5^{\circ}\text{C}$ в диапазоне от -10°C до $+85^{\circ}\text{C}$. DS18B20 может запитываться напряжением линии данных при отсутствии внешнего источника напряжения.

Кроме того, осуществлена разработка схемы электрической структурной блока питания. Внешний блок питания работает сети переменного напряжения 220В и расположен вне корпуса блока управления, что дает возможность запитать от него несколько подобных устройств. Датчик температуры также установлен на удалении от блока управления. Он расположен под радиатором системы отопления с целью снятия своевременных и наиболее точных значений температуры в помещении, что достигается путем измерения температуры воздушного конвекционного потока. Сервопривод смонтирован в корпусе блока управления и выполняет функцию одного из узлов крепления корпуса устройства с помощью цангового соединения вала привода с осью шарового крана системы отопления.

Для автоматизации регулировки температуры разработана программа и алгоритм управления электронным блоком в программной среде для платформы Arduino Uno. В программной среде используется язык C++ и набор библиотек, реализующих работу различных модулей и датчиков. В алгоритме работы программы можно выделить циклическую и нециклическую части. Нециклическая часть программы предназначена для задания начальных значений, присвоение типа переменных и предварительной настройки. Циклическая часть предназначена для вычисления коэффициентов регулятора и реализации работы регулятора с имеющимися коэффициентами. Предварительная настройка выполняется, когда разность установленной пользователем и текущей и температурами теплоносителя дает возможность осуществить расчет коэффициентов регулятора.

Основная цель предварительной настройки состоит в выводе контролируемого показателя на стабильный уровень, ниже значения, заданного

пользователем. В ходе выполнения программы постоянно считываются значения выставленной температуры и, в случае изменения этих значений, вновь осуществляется проверка условий разности текущей и заданной температуры. Стабильность температуры исследуется согласно следующего алгоритма: через определенный интервал времени осуществляется считывание температуры в контролируемом помещении, после сбора требуемого количества замеров осуществляется выбор минимальной и максимальной температур методом перебора и сравнения данных. Если разность максимального и минимального значений температуры превышает необходимое значение, то переходной процесс является не закончившимся и процесс стабилизации температуры продолжается, пока не будет достигнут указанный в параметрах предварительный уровень. Запись вновь измеренных значений ведется поверх имеющихся, что необходимо для исключения переполнения массива. Цикл предварительной настройки не осуществляется, если разность заданной пользователем и текущей температурами в помещении не позволяет осуществить анализ переходного процесса для первого выполнения этого цикла, если во время выполнения цикла предварительной настройки переходной процесс завершился и контролируемая температура стала в $1,5^{\circ}\text{C}$ меньше температуры предварительного уровня, если на предыдущем этапе был осуществлен расчет коэффициентов регулятора. При переходе к расчету коэффициентов контролируемая температура в помещении установлена на уровне ниже заданного пользователем. Для анализа и расчета коэффициентов регулятора в программе используется методика настройки регулятора по отклику на единичное воздействие. Используя текущий угол положения регулирующего крана и ранее измеренный угол положения регулирующего крана при температуре на $1,5^{\circ}\text{C}$ меньше предварительного уровня, производится приблизительный расчет линейной функции положения вала сервопривода от температуры в контролируемом помещении. Эта зависимость используется для расчета угла, на который предположительно требуется повернуть вал крана для получения заданной температуры в помещении. На следующем этапе регулирующий кран открывается на это значение с помощью сервопривода, осуществляется фиксация температуры и анализ переходного процесса за определенные интервалы времени. После окончания переходного процесса собранные данные об изменении температуры анализируются и вычисляются коэффициенты регулятора. Если после включения устройства коэффициенты регулятора уже были вычислены, то цикл с расчетом коэффициентов регулятора не выполняется. Когда настройка коэффициентов регулятора либо невозможна, либо уже осуществлена, регулятор работает с имеющимися коэффициентами предварительной настройкой и без нее.

В результате выполнения работы осуществлен обзор существующих систем автоматизации регулирования температуры в помещениях. На основе результатов обзора предложена конструкция для автоматизированного управления краном системы отопления, предусматривающая универсальное соединение сервопривода к регулировочному крану. Выбраны и спроектированы компоненты конструкции: исполнительный механизм электронного блока

управления; схема электрическая функциональная блока управления; микроконтроллер, датчик температуры и дисплей; схема электрическая структурная блока питания; электрическая схема понижения напряжения со встроенной системой защиты. Разработан алгоритм и программа управления сервоприводом для используемой микроконтроллерной платформы. Выполнен анализ технико-экономических параметров представленной конструкции для автоматизированного управления микроклиматом помещения показывающий целесообразность дальнейшего 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-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2017. - 104 с.
2. Энергоэффективное управление движением поездов с электрической тягой: учебники для вузов. Специальная литература / Волощенко Ю.П., Гайдук А.Р., Зарифьян А.А., Колпахчян П.Г., Медведев М.Ю., Полуянович Н. К., Под ред. Пишихонова В.Х. - Санкт-Петербург: издательство "Лань", 2018. - 320 с.
3. Термостатические вентили: описание и принцип работы / [Электронный ресурс] / URL: <http://fb.ru/article/> (дата обращения: 15.05.2019).
4. Управление котлом отопления в доме, квартире или коттедже / [Электронный ресурс] / URL: <https://termogorod.ru/> (дата обращения: 15.05.2019).
5. Комнатный регулятор / [Электронный ресурс] / URL: <http://teplo4life.ru/?p=45> (дата обращения: 15.05.2019).
6. Современные тепловые пункты / [Электронный ресурс] / URL: <http://umноеотопление.ru> (дата обращения: 15.05.2019).
7. Регуляторы температуры теплоносителя в обратных трубопроводах / [Электронный ресурс] / URL: <http://www.irimex.ru> (дата обращения: 15.05.2019).
8. Сервопривод TowerPro MG996R / [Электронный ресурс] / URL: <http://amperkot.ru> (дата обращения: 15.05.2019).
9. Робототехника для детей и взрослых / [Электронный ресурс] / URL: <http://amperka.ru> (дата обращения: 15.05.2019).

УДК: 629.113

ВОЗМОЖНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВА СГОРАНИЯ СМЕСИ В ЦИЛИНДРЕ ДВС ПОСРЕДСТВОМ ОПТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ.

Быстрицкий А.В., Береснев А.Л., Быстрицкая Е.М.

*Институт Радиотехнических Систем и Управления, Южный Федеральный
Университет, г. Таганрог, Россия*

В настоящее время существуют различные способы диагностики двигателей внутреннего сгорания. К перспективным способам можно отнести

диагностику по пламени горения топливо-воздушной смеси. Процесс сгорания от начала и до конца неизбежно сопровождается свечением. Причем в первый момент источником свечения является искра возникающая между электродами свечи от которой возгорается топливовоздушная смесь (ТВС), далее источником света служит разогретое рабочее тело и нагретые от него элементы камеры сгорания. Интенсивность свечения и его спектр зависит от угла поворота коленчатого вала двигателя, количества топливно-воздушной смеси, поступившей в цилиндр, состава смеси, скорости распространения горения, угла опережения зажигания, энергии искры, появления детонации и ряда других факторов [1]. Таким образом становится ясно, что свет испускаемый камерой сгорания работающего двигателя является своеобразным индикатором, происходящих процессов. Общеизвестно, что из-за невозможности получения полностью гомогенной смеси в камере сгорания ДВС горение топлива имеет не равномерный характер. В тоже время далеко не всегда топливовоздушная смесь успевает сгореть полностью в цилиндре и догорает в выпускном коллекторе и если химические реакции успевают закончиться до момента их поступления к месту установки датчика кислорода, то и система управления двигателем и диагностические системы определяют данную ситуацию. как нормальное горение близкое к стехиометрическому [3]. Из этого следует, что фундаментальные исследования процессов горения невозможны без применения оптических методов. Спектральный состав излучения испускаемого, поглощаемого или рассеиваемого в пламени несет огромное количество информации о протекающих химических реакциях, позволяет определить состав и количество промежуточных и конечных продуктов горения, их температуру, давление и пространственное распределение [3]. Этот методы является бесконтактным, малоинерционным и высокочувствительным. Поэтому при диагностике и настройке двигателей внутреннего сгорания следует использовать оптические методы исследований.

Упомянутые выше методы контроля процессов внутри двигателя чрезвычайно сложны. Их можно использовать в научных лабораториях и исследовательских центрах. Они требуют специально подготовленных двигателей, и неприменимы для ДВС установленных на автомобиле для процессов их диагностики и настройки что является основным недостатком данных методик. Ранее была получена осциллограмма с датчика (фотоприемника инфракрасного диапазона). Осциллограмма показана на рисунке 1:

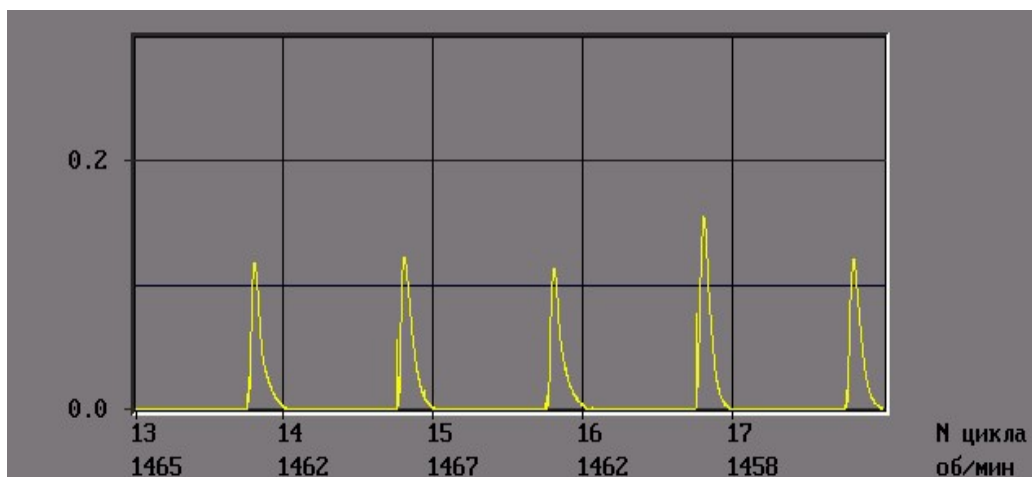


Рис.1 – Осциллограмма фотоприемника инфракрасного диапазона

Как видно из рисунка свечение заканчивается к концу первого такта. За это время вся рабочая смесь успевает сгореть. Однако, отчетливо видна присущая всем двигателям небольшая неповторяемость циклов. В качестве фотоприемника можно использовать датчик принимающий световую информацию в широком диапазоне.

Примером такого датчика может быть высокосортная камера. Современные технологии фотосъемки и видеозаписи позволяют производить захват кадров с довольно высокой скоростью. Такая возможность позволяет произвести запись, наблюдение и затем и исследования такого быстротечного процесса как процесс горения смеси в цилиндре двигателя внутреннего сгорания. При помощи такой камеры удалось запечатлеть начальный момент воспламенения и распространения пламени в камере сгорания ДВС. В результате с помощью камеры, имеющей высокое быстродействие, удалось получить серию кадров, характеризующих процесс горения, показанных на рисунке 2.



Рис. 2 – Покадровая выборка тактов воспламенения

На данном рисунке сделана выборка из полученных кадров различных тактов воспламенения в цилиндре ДВС. Можно увидеть что быстродействие камеры позволило получить несколько информативных в момент воспламенения смеси. Данная фотовыборка подтверждает сделанное ранее заключение о неповторяемости циклов, полученных с датчика на основе инфракрасного фотоприемника. Эти кадры имеют большую информативность для исследования процессов горения смеси в цилиндре ДВС. Подтверждение теорий о неповторяемости циклов воспламенения, полученных с разных источников, и в

результате разных экспериментов говорит о ее достоверности. Таким образом, используя оптические методы наблюдения за воспламенением в цилиндре ДВС, можно сделать вывод о том, что процесс горения в цилиндре ДВС при одинаковых условиях протекает различно. Это связано со сложностью настройки и управления ДВС. Полученные кадры были обработаны и получены гистограммы изображений процесса горения. Одной из важнейших характеристик изображения является гистограмма распределения яркостей его элементов. Изучив гистограмму, можно также получить представление о цветовом насыщении снимка. Полученные гистограммы показаны на рисунке 3.

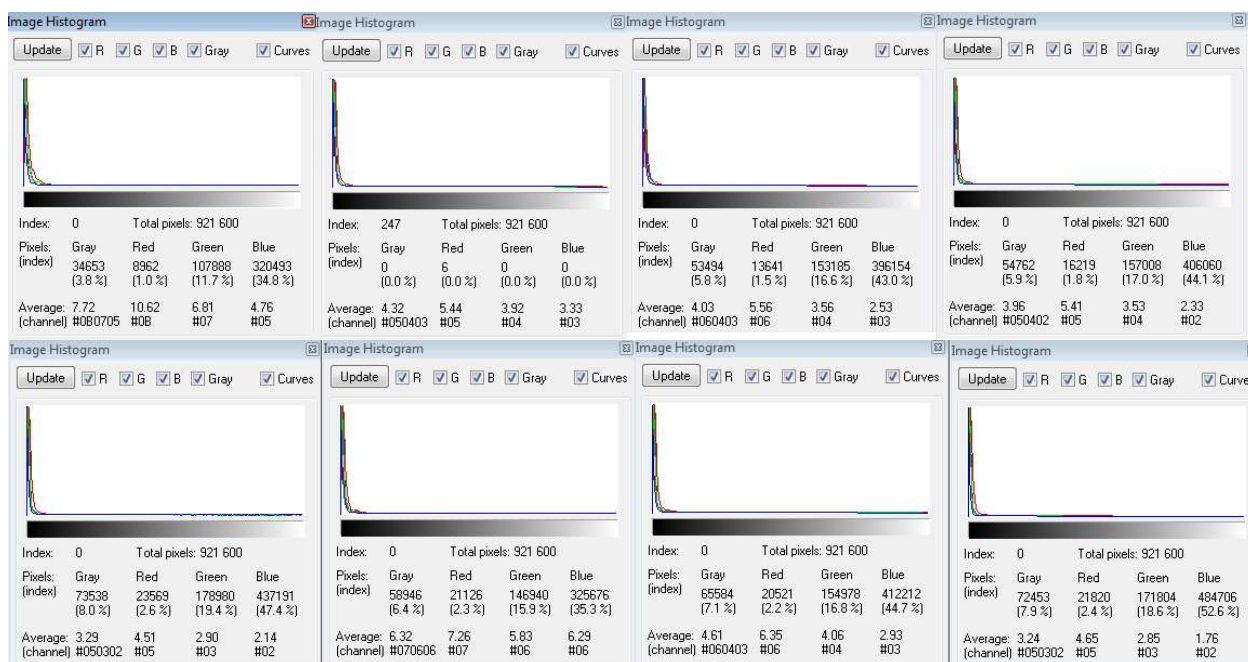


Рис. 3 – Гистограммы изображений

На рисунке 3 представлен результат обработки полученного на рисунке графического изображения в виде гистограммы. Данные обработаны и представлены в Таблице 1. Проанализировав данные полученные из таблицы 1 можно проследить взаимосвязь от начального до конечного момента воспламенения смеси. В начальный момент воспламенения смеси можно выделить всплеск значений пикселей красного цвета и незначительное количественное изменения их количества на протяжении времени горения. Пиксели же синего цвета имеют тенденцию количественного увеличения от начального момента воспламенения до конечного момента воспламенения. Таким образом обработка полученных изображений указывает некоторые зависимости цвета пламени от момента начального воспламенения смеси до конечного момента воспламенения смеси. Также по полученным данным можно подтвердить неповторяемость каждого цикла воспламенения смеси в цилиндре ДВС.

Таблица 1

Результаты разложения цвета изображений на пиксели

Номер такта	Номер кадра	пиксели серого цвета	пиксели красного цвета	пиксели зеленого цвета	пиксели синего цвета
1	1	34653 (3,8%)	8962 (1,0%)	107888 (11,7%)	320493 (34,8%)
	2	52459 (5,7%)	16379 (1,8%)	151021 (16,4%)	338775 (36,8%)
	3	53494 (5,8%)	13641 (1,5%)	153185 (16,6%)	396154 (43,1%)
	4	54762 (5,9%)	16219 (1,8%)	157008 (17,0%)	406060 (44,1%)
2	1	73538 (8,0%)	23539 (2,6%)	178980 (19,4%)	437191 (47,4%)
	2	58946 (6,4%)	21116 (2,3%)	146940 (15,9%)	325579 (35,3%)
	3	65584 (6,4%)	20521 (2,2%)	154978 (16,8%)	412212 (44,7%)
	4	72453 (7,9%)	21820 (2,4%)	171804 (18,6%)	484706 (52,6%)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Крива В.В., Береснев А.Л.* Оптимизация процесса горения смеси по цвету пламени. Сборник статей Международной научно-практической конференции: в 2 частях. Ответственный редактор: Сукиасян Асатур Альбертович. 2016. С. 27-29.

2. *Вибе И.И.* Теория двигателей внутреннего сгорания: Конспект лекций. Челябинск: Изд-во Челябин. политехи, ин-та, 1974.

3. *Быстрицкий А., Береснев А.Л.* Исследование процессов сгорания смеси в цилиндре ДВС с помощью оптических средств. В сборнике: Исследование и проектирование интеллектуальных систем в автомобилестроении, авиастроении и машиностроении ("ISMCA' 2019") Материалы III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Таганрог, 2019. С. 115-116.

УДК 621.311

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАЩИЩЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ SMART GRID ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ХАКЕРСКИХ АТАК И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИМПУЛЬСОВ

Врублевских А.А., Горемыкин Е.В.

Технологический институт «Южный федеральный университет» г. Таганрог

Введение

В последние годы в сфере электроэнергетики все острее встает проблема физического износа и морального старения существующей системы передачи и распределения электроэнергии. Существующей системе становится все труднее удовлетворять растущие потребности потребления, в связи с чем возрастает количество аварийных ситуаций, ведущих не только к временным и экономическим потерям, но и создающих непосредственную опасность для жизни и здоровья людей. Именно поэтому на сегодняшний день большое внимание уделяется разработке технологии интеллектуальных электросетей, более известной как SmartGrid [1,2]. Применение данной технологии позволит не только модернизировать существующие электрические сети, включив в них современное оборудование, но увеличит надежность и безопасность такого стратегически важного объекта как система электроснабжения, позволяя ей эффективнее противостоять авариям, природным катаклизмам, саботажу, а также целенаправленным атакам со стороны потенциальных агрессоров.

Постановка проблемы

Несмотря на все преимущества, предлагаемые технологией SmartGrid, существует довольно обоснованное мнение, утверждающее, что данная технология из-за внушительного количества современного оборудования, входящего в ее состав, включающего в себя различные микропроцессорные устройства, а также использования способа управления и мониторинга всех процессов, основанного на применении компьютерного программного обеспечения (ПО) и компьютерных сетей, будет уязвима не только к хакерским атакам, но и к воздействию на нее недоброжелателями направленных электромагнитных импульсов. [3]

При хакерских атаках, которые представляют собой покушение на систему безопасности, с целью захвата контроля над удаленной или локальной системой для ее дестабилизации, либо отказа в обслуживании [4], недоброжелатели могут получить контроль как над отдельными элементами или функциональными частями системы, так и над всей системой. В итоге у них появится возможность не только вмешиваться в процессы сбора, передачи и обработки информации, но и дистанционно изменять топологические параметры электрической сети, путем дистанционного управления коммутационными аппаратами.

Воздействие на элементы SmartGrid с помощью направленного электромагнитного импульса может привести к выходу из строя критически важного оборудования, что повлечет за собой аварии в сети электроснабжения, которые могут вывести из строя не только рядовых потребителей, но и стратегически важные объекты.

Так как система электроснабжения является стратегически важной частью инфраструктуры любой страны, то при разработке концепции технологии SmartGrid возникает необходимость обеспечения ее устойчивости к указанным выше негативным воздействиям.

Решение проблемы

Прежде чем переходить к обсуждению возможных способов решения поднятых проблем, необходимо разобраться с тем, что же представляет из себя технология SmartGrid. Несмотря на популярность данного направления в сфере

электроэнергетики, на сегодняшний день в мире отсутствует четкое определение данной технологии. Министерства энергетики различных стран приписывают ей различные атрибуты и свойства, но, изучив основную их массу, можно прийти к выводу, что Smart Grid это технология, включающая в себя все современные разработки и представления о сфере электроснабжения, направленная на увеличение стабильности работы электросетей, а также повышающая эффективность распределения и потребления энергоресурсов, при сохранении требуемых параметров качества электросети. [5]

Так как речь идет о системе, включающей в себя современные разработки, то наличие компьютерного ПО, используемого для управления, мониторинга, анализа и осуществления многих других функций, в данной технологии становится неизбежным. При успешном внедрении разрабатываемой концепции технологи SmartGrid умные устройства, такие, например, как счетчики электроэнергии, будут размещаться у каждого потребителя, независимо от того частные ли это лица, либо организации. Это подразумевает под собой создание разветвленной сети микропроцессорных устройств, связанных общими каналами связи. Каждая точка подключения такого устройства может являться потенциально уязвимым местом для воздействия недоброжелателей, проще говоря, для хакерской атаки.

На сегодняшний день хакерские атаки можно разделить на два основных типа:

- DDoS (Denial of Service) — атака направленная на вывод системы из строя.
- Атаки направленные на компрометацию ресурса. В этом случае злоумышленник исследует несовершенства системы, которые можно использовать для получения полного, либо частичного контроля над ней. [6]

Оба представленных типа атак являются чрезвычайно опасными, так как в первом случае выводится из строя вся система управления процессом передачи и распределения электроэнергии, а во втором, контроль над таким стратегически важным объектом передается в руки потенциальных недоброжелателей. В обоих случаях возникают угрозы не только глобальных экономических потерь, но и здоровью и жизни людей.

В процессе проведенных исследований было выявлено, что самым рациональным способом, позволяющим обеспечить защищенность системы от хакерских атак, будет использование комплексного подхода по обеспечению безопасности на протяжении всей стадии разработки и дальнейшего жизненного цикла ПО технологии SmartGrid. В данный подход входят:

- Обеспечение безопасности на стадии разработки. При заказе разработки ПО или разработке собственными силами, необходимо привлечь специалиста, отвечающего за безопасность. Этот этап очень важен, поскольку позволяет ликвидировать большинство уязвимостей еще на стадии создания ПО.
- Периодическое проведение аудитов безопасности. На сегодняшний день существует большое количество компаний, предлагающих свои услуги с целью выявления потенциальных уязвимостей системы. Для этого проводится проверка

кода ПО на уязвимости, а также тесты на проникновение. Данные мероприятий позволят постоянно поддерживать и при необходимости совершенствовать существующую систему безопасности.

- Применение технических средств защиты. Использование сканеров уязвимостей, а также внедрение защитного экрана уровня приложений (WAF) позволят предотвратить часть целенаправленных атак на систему.

- Поддержание необходимого уровня знаний и квалификации обслуживающего персонала. Обслуживающий персонал считается самой уязвимой точкой системы безопасности, поэтому злоумышленники в первую очередь будут пытаться воздействовать на сотрудников, которые при отсутствии специальных знаний и подготовки могут сами предоставить недоброжелателям доступ к системе. Поэтому необходимо особое внимание уделять подготовке кадров и доверять поддержку такой важной системы только опытным специалистам. [6]

Применение данного комплекса мероприятий позволит обеспечить необходимый уровень безопасности ПО входящего в технологию SmartGrid.

Для обеспечения защиты оборудования, входящего в состав SmartGrid, от электромагнитных импульсов необходимо обеспечить достаточный уровень электромагнитной совместимости (ЭМС). Под электромагнитной совместимостью понимается способность технического средства функционировать с заданным качеством в заданной электромагнитной обстановке и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим техническим средствам. [7]

Все методы защиты электронной аппаратуры можно разделить на:

- пассивные методы защиты. Данная категория методов включает в себя применение дополнительных внешних средств, которые не связаны с режимом и алгоритмом работы защищаемого оборудования. Сюда можно отнести специальные строительные краски, лаки, материалы, монтажные шкафы и т.д.

- активные методы защиты. В эту категорию относятся внешние устройства, связанные алгоритмом работы с защищаемым оборудованием, например, упрощенные органы релейной защиты, выполненные на электромеханической основе.

- организационно-технические мероприятия. Смысл этого метода заключается в специальном хранении запасных частей и принадлежностей, которые позволяют обеспечить максимально быстрое восстановление поврежденной аппаратуры.

Применять данные методы необходимо в комбинации друг с другом, поскольку по отдельности они не смогут обеспечить достаточный уровень защищенности электрооборудования.

Кроме того, существуют специальные линейки приборов, устойчивых к неблагоприятной электромагнитной обстановке. Так, например, российский приборостроительный завод «Вибратор» [8] с 2005 года занимается разработкой и производством контрольно-измерительных приборов, применяемых на

крупных энергетических объектах, в том числе и на атомных станциях, а также на крупных промышленных производствах.

Таким образом, применяя специальное оборудование, а также комплекс методов, направленный на защиту электрооборудования от электромагнитных импульсов, можно добиться необходимого уровня безопасности, надежности и стабильности технологии SmartGrid.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Новости Интернета вещей. Умные сети (smart grid) [Электронный ресурс] / Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <https://iot.ru/wiki/umnye-elektroseti> (дата обращения: 01.09.2019)

2. TADVISER Государство. Бизнес. IT. Smart Grid Умные Сети Интеллектуальные сети электроснабжения [Электронный ресурс] / Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <http://www.tadviser.ru/a/102530> (дата обращения: 01.09.2019)

3. *Гуревич В.И.* Защита оборудования подстанций от электромагнитного импульса. – М.:Инфра-Инженерия, 2016. – 302 с. :ил.

4. SecutiryLab.ru. Хакерские атаки [Электронный ресурс] / Электрон. Текстовые дан. – Режим доступа: <https://www.securitylab.ru/news/tags/%F5%E0%EA%E5%F0%F1%EA%E8%E5+%E0%F2%E0%EA%E8/> (дата обращения 05.09.2019)

5. *Кобец Б. Б., Волкова И. О.* Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. — М.: ИАЦ Энергия, 2010. — 208 с.

6. vc.ru. Защита бизнеса от кибератак. Как обеспечить безопасность своего интернет-проекта? [Электронный ресурс] / Электрон. Текстовые дан. – Режим доступа: <https://vc.ru/flood/42814-zashchita-biznesa-ot-kiberatak-kak-obespechit-bezopasnost-svoego-internet-proekta> (дата обращения 05.09.2019)

7. *Харлов Н.Н.* Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 207 с.

8. Электромагнитная совместимость и безопасность оборудования. Контрольно-измерительные приборы с повышенной ЭМС //Энергетика и промышленность России. – 2006г. – №5. – с.8.

ОПТИМИЗАЦИЯ НАСТРОЙКИ ПАРАМЕТРОВ ЧПУ/CNC ДЛЯ МОДУЛЯ КАМЕРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ГИБОЧНОГО КОМПЛЕКСА

Кашин В.Е, Полуянович Н. К., Мальков С.Б.
Южный федеральный университет, ЮФУ, г. Таганрог

В данной работе будет произведен обзор состава гибочного комплекса, принципиальной схемы работы модуля камеры и предложены варианты исключения проблемы задержки в обработки данных, получаемых от модуля камеры.

Введение. Актуальность данной работы обусловлена тем, что в настоящее время для снижения себестоимости оборудования завод изготовитель устанавливает аппаратное обеспечение с «усредненными» характеристиками производительности. Выбор алгоритма и настройка программной конфигурации оборудования напрямую влияют на безопасность, надежность, энергоэффективность всего станка в целом. И на примере автоматизированного гибочного комплекса отвечающий всем современным требованиям будет проведен анализ ключевых «энергоёмких» параметров влияющих на скорость обработки данных получаемых от модуля камеры.

Описание гибочного комплекса. Гибочный комплекс предназначен для массового производства обработки плоских заготовок методом гибки в автоматическом режиме. Заготовки должны быть выполнены из холоднокатаного проката толщиной от 0.5 мм до 8 мм. Максимальный формат 500 мм x 380 мм. и весом детали до 3 кг. Гибочный комплекс состоит из, рис.1, где: 1 манипулятор типа SCARA; 2 загрузочная паллета; 3 панель управления; 4 разделение сдвоенного листа; 5 конвейер; 6 прибор ручного управления; 7 модуль камеры; 8 передаточный стол; 9 измерение толщины листа; 10 пневматический блок; 11 заводской номер; 12 робот; 13 распределительный шкаф системы подачи; 14 магазин инструмента; 15 защитное ограждение; 16 консоль смены захватов; 17 листогибочный пресс; 18 электрошкаф листогибочного пресса.

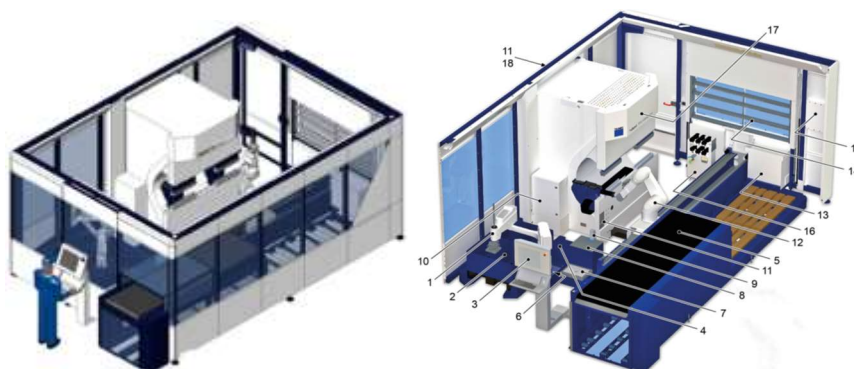


Рис.1 – Внешний вид гибочного комплекса

Основными элементами безопасности являются: главный выключатель; защитное ограждение; дверь с защитной блокировкой и аварийным деблокированием изнутри; кнопка аварийного останова; защитная дверь на магазине инструмента; защитная дверь на транспортере паллет; Ключ-выключатель «Режим работы». Технические характеристики манипулятора типа SCARA, робота и рабочей зоны приведены соответственно в табл. 1, 2 и 3.

Принцип действия. После укомплектовки заготовками загрузочной паллеты 2, закрываются защитные двери кабины 15. Через панель управления 3 происходит загрузка, выбор, составление сменного задания. Перед запуском производственного цикла, производится самотестирование гибочного комплекса. При отсутствии ошибок запускается цикл, последовательность которого следующая: Манипулятор типа SCARA 1 подходит к заданной ячейки

и с помощью вакуумного захвата извлекает ее, при этом происходит взвешивание заготовки.

Таблица 1. Технические характеристики манипулятора «SCARA»

Рабочая зона		
Рабочая зона (mm)		1000
Внутренний радиус (mm)		334
Рабочая зона оси 1 (°)		± 140
Рабочая зона оси 2 (°)		± 160
Ход шариковинтовой пары (mm)		400
Рабочая зона оси 4 (°)		± 500
Повторяемость		
Ось 1 + 2 (mm)		± 0.01
Ось 3 (mm)		± 0.01
Ось 4 (°)		± 0.01
Точность		
Ось 1 ($\times 10^{-3}^\circ$)		0.060
Ось 2 ($\times 10^{-3}^\circ$)		0.069
Ось 3 ($\times 10^{-3}$ mm)		0.254
Ось 4 ($\times 10^{-3}^\circ$)		0.183
Номинальная скорость		
Ось 1 (°/s)		300
Ось 2 (°/s)		425
Ось 3 (mm/s)		1600
Ось 4 (°/s)		1200

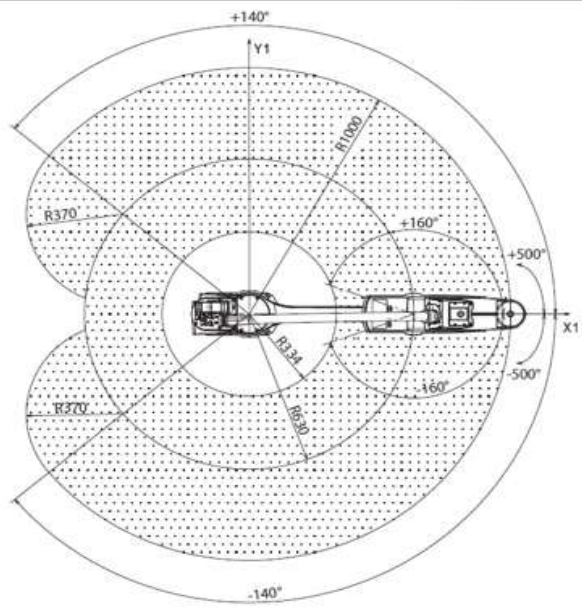


Таблица 2. Технические характеристики робота

Ось	1	2	3	4	5	6
Угол поворота (°)	360	277,5	290	540	255	540
Ограничения угла поворота (°)	A ± 180	B + 147.5 - 130	C ± 145	D ± 270	E + 140 - 115	F ± 270
Номинальная скорость (°/s)	215	170	255	430	350	600
Максимальная скорость (°/s)	400	390	420	540	475	760
Угловая точность ($^\circ \cdot 10^{-3}$)	0.057	0.057	0.057	0.057	0.122	0.183

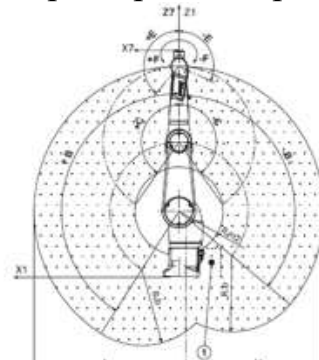
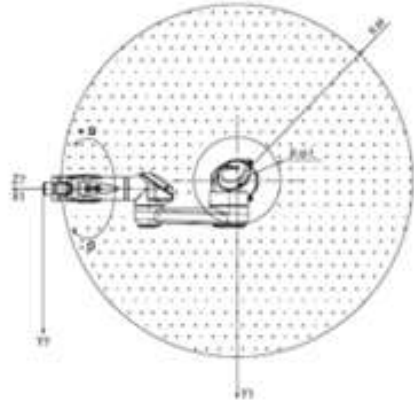


Таблица 3. Характеристики рабочей зоны

Рабочая зона	
R. M : Max. Расстояние по осям 1 и 5	1100 мм
R. M : Max. Расстояние по осям 2 и 5	1050 мм
R.m1: Min. Расстояние по осям 1 и 5	272 мм
R.m2: Min. Расстояние по осям 2 и 5	320 мм
R. b : Расстояние по осям 3 и 5	550 мм
Повторяемость	
Точность повторения при постоянной температуре	± 0.035 mm



При обнаружении сдвоенного листа запускается цикл разделения листа на узле 4. Далее заготовка перемещается в зону действия камеры 7. Здесь происходит распознавание заготовки (на соответствие запрограммированной) и ее определение в пространстве. Компенсируя отклонения позиции, заготовка укладывается на передаточный стол 8 в нулевую позицию. Заготовка фиксируется вакуумными присосками и происходит цикл измерения толщины металла 9. После запуска цикла одновременно с манипулятором типа SCARA 1 начинает работать робот. В автоматическом режиме происходит оснащение рабочим органом – цанговым захватом выбирая необходимый из консоли смены захватов 16. Также происходит оснащение гибочным инструментом соответствующим программе листогибочный пресс 17 выбирая необходимый из магазина инструмента 14.

После проведения подготовки происходит обработка заготовки методом гибка на листогибочном прессе 17. При этом робот, взяв заготовку с передаточного стола 8 перемещается согласно программе ЧПУ. После окончания обработки заготовки происходит разгрузка на конвейерную ленту 5 по которой выходит за пределы комплекса.

При работе комплекса при определенных условиях, в том числе 100% скорости подачи, сложная форма заготовки (наличие большого количества вырезов и отверстий) наблюдается задержки в работе камеры и как следствие кратковременный простой оборудования. На рассматриваемом комплексе установлена камера производства фирмы Basler модель acA1300-30gm/c общий вид которой представлен на рисунке 3. Данная камера соответствует всем требованиям стандарта EMVA1288. Стандарт EMVA1288 описывает единый подход к оценке, вычислению и представлению технических параметров камер и светочувствительных сенсоров, используемых в сфере машинного зрения. Технические характеристики камеры представлены [5]. Камера обеспечивает такие функции, как кадровый фотозатвор и электронный контроль времени экспозиции. Начало экспозиции и время экспозиции можно контролировать с помощью параметров, передаваемых на камеру через Basler pylon API и интерфейс GigE. Существуют также параметры, доступные для установки камеры и получения одного кадра или непрерывного сбора кадров. Запуск экспозиции также может управляться с помощью внешнего генерируемого сигнала "frame start trigger" (ExFSTrig), подаваемого на входную линию камеры. Сигнал ExFSTrig облегчает периодический или непериодический старт приема рамки. Доступны режимы, позволяющие непосредственно контролировать длительность экспозиции с помощью сигнала ExFSTrig или устанавливать ее на заранее запрограммированный период времени.

Принцип работы камеры следующий. Накопленные заряды считываются с сенсора матрицы по окончании экспозиции. При считывании накопленные заряды переносятся от светочувствительных элементов сенсора (пикселей) к регистрам вертикального сдвига (см. рис.4 для камер с сенсором прогрессивного сканирования и рис. 5 для камер с сенсором чересстрочного сканирования). Заряды из нижней строки пикселей в массиве затем перемещаются в горизонтальный регистр сдвига. Далее заряды смещаются из горизонтального

регистра. Когда заряды выходят из горизонтального сдвигового регистра, они преобразуются в напряжения, пропорциональные размеру каждого заряда. Каждое напряжение тока после этого усилено переменной регулировкой усиления (VGC- Variable Gain Control) и переведено в цифровую форму аналого-цифровым преобразователем (ADC - Analog-to-Digital converter).

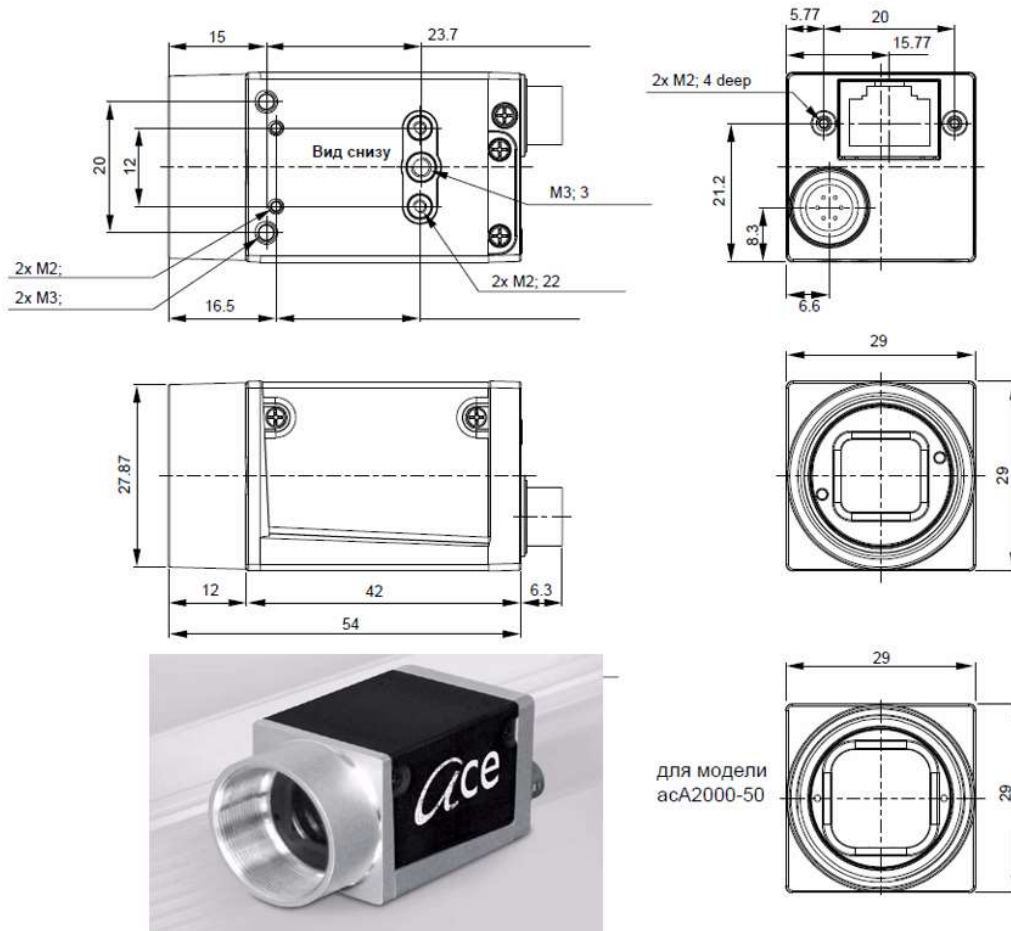


Рис 3 – Общий вид и габаритные размеры камеры

После того как каждое напряжение было усилено и оцифровано, оно проходит через FPGA и в буфер изображения. Все смещения синхронизируются в соответствии с внутренней скоростью передачи данных камеры. Перемещение продолжается по рядам до тех пор, пока все данные изображения не будут считаны сенсора. Данные пикселя выходят буфер изображения и проходят назад через FPGA к регулятору локальных сетей где они собраны в пакеты данных. Затем пакеты передаются по сети Ethernet на сетевой адаптер на хост-ПК. Контроллер Ethernet также обрабатывает передачу и получение управляющих данных, таких как изменения параметров камеры.

Буфер изображения между датчиком и контроллером Ethernet позволяет считывать данные с датчика со скоростью, не зависящей от скорости передачи данных между камерой и главным компьютером. Это гарантирует, что скорость передачи данных не влияет на качество изображения. Принципиальная схема работы камеры изображена на рисунке 6.

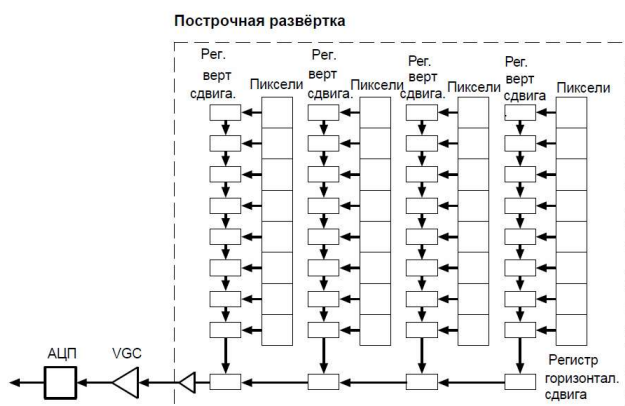


Рис. 4 – CCD Sensor Architecture - построчная развёртка

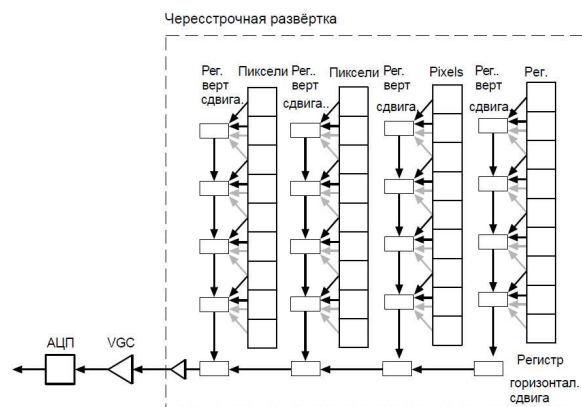


Рис. 5 – CCD Sensor Architecture-чересстрочная развёртка

Исходя из принципиальной схемы возможно предположить, что для уменьшения времени обработки необходимо настроить параметры камеры. Такие как: 1) Изображение области интереса (АОИ); 2) Настройка формата пиксельных данных; 3) Размер пакета данных; 4) Размер кадра и частота кадра. Первые два параметра рассмотрим более подробно.

Функция область интереса изображения (АОИ) позволяет указать часть массива сенсоров матрицы, и после получения каждого изображения только информация о пикселях из указанной части массива считывается из сенсора в буфер изображения камеры. Область интереса ссылается на верхний левый угол массива сенсоров. Верхний левый угол обозначается как столбец 0 и строка 0, как показано на рисунке 7. Расположение и размер области интереса определяются путем объявления смещения X (координаты), ширины, смещения Y (координаты) и высоты. Например, предположим, что вы задаёте смещение X как 10, ширину как 16, смещение Y как 6 и высоту как 10. Область массива, ограниченная этими настройками также показана на рисунке 7. Камера будет передавать пиксельные данные только из области, определенной вашими настройками. Информация из пикселей за пределами интересующей области отбрасывается. При этом уменьшение высоты и ширины области интереса изображения АОИ может увеличить максимально допустимую частоту кадров захвата камеры.

Преимущество очевидно: обработка части изображения выполняется гораздо быстрее, чем полного изображения, соответствующего максимальному разрешению сенсора, и на хранение передается существенно меньший объем данных.

Сенсор используемый в этой камере оборудован аддитивным фильтром разъединения цвета известным как фильтр Байера (Baeyer). Форматы вывода пиксельных данных, связаны с шаблоном Байера.

В фильтре Байера каждый отдельный пиксель обладает полупропускной способностью, которая позволяет свету только одного цвета поражать пиксель. Схема фильтра Байера, используемого в камере, показана на рисунке 8.

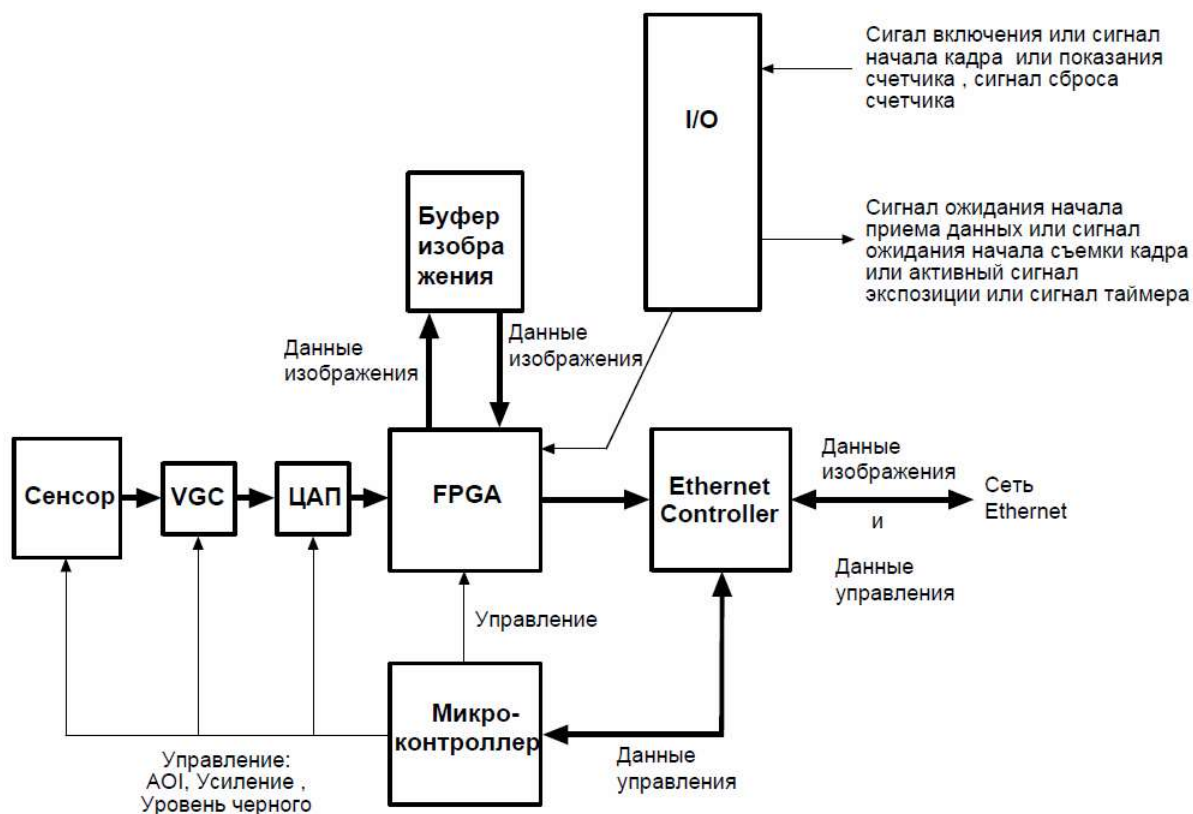


Рис. 6 – Принципиальная схема работы камеры

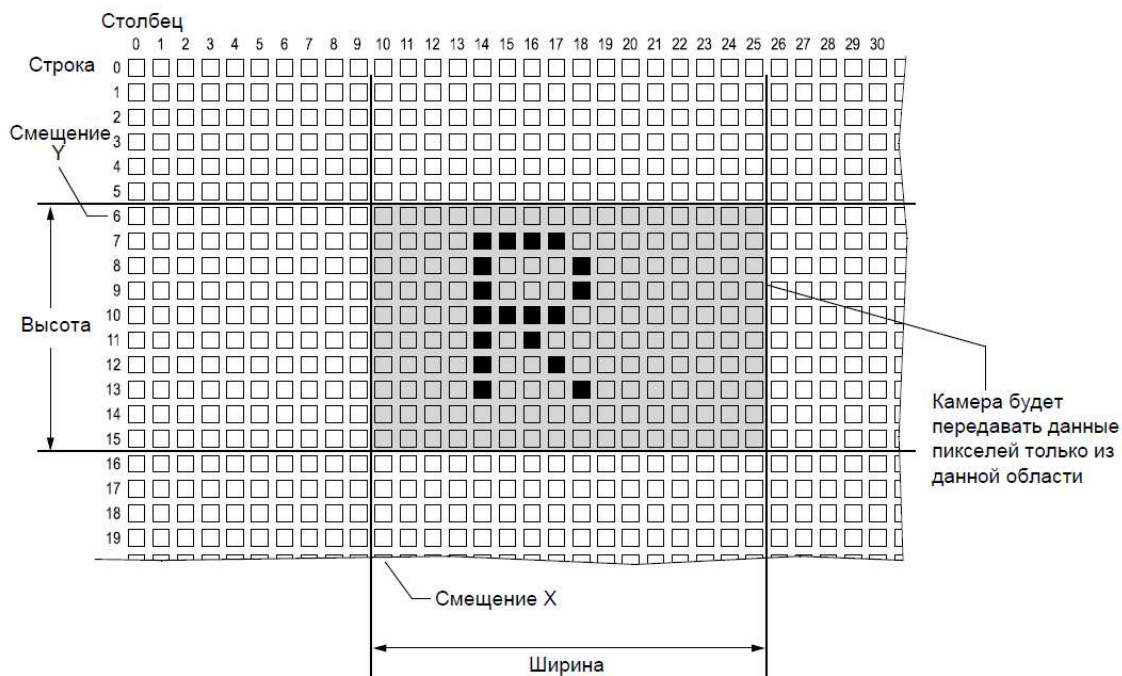


Рис. 7 – Область интереса изображения (АОИ)

Как показано на рисунке, в пределах каждого квадрата из четырех пикселей один пиксель видит только красный свет, один видит только синий

свет, а два пикселя видят только зеленый свет. (Эта комбинация имитирует чувствительность человеческого глаза к цвету.)

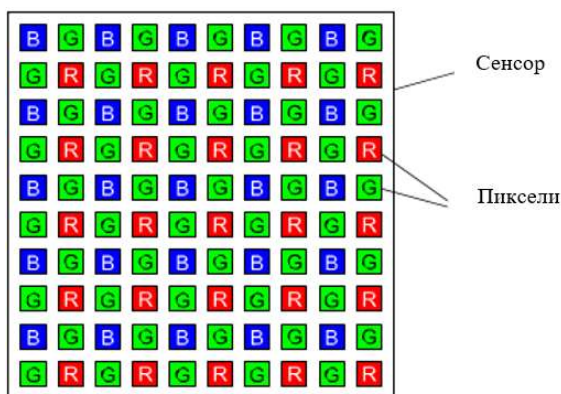


Рис. 8 –Фильтр Байера для" BG"

По умолчанию, для передачи данных с камеры на гибочном комплексе используется формат пиксельных данных Bayer BG 12. Данный формат предполагает, что на каждый пиксель выдается 2 байта (16 бит) данных, из которых 12 бит несут информацию. Информация о яркости содержится в 12 младших битах, тогда как 4 старших бита заполнены нулями. Последовательность формирования данных в случае Bayer BG12 определяется расположением цветных фильтров на сенсоре в форме шаблона Байера. В шаблоне Байера строки пикселей чередуются: ряд зеленых и ряд синих пикселей сменяет ряд красных и ряд зеленых пикселей. Это означает, например, что при выборе формата Bayer BG12 передается 12-разрядное значение на каждый синий и зеленый пиксель в строке. Затем передается 12-разрядное значение на каждый красный и зеленый пиксель в следующей строке и так далее, пока не будут считаны данные всех строк пикселей сенсора. В формате BG12 данные передаются начиная с синего пикселя, а в формате GB12 – с зеленого. В таблице 5 описано, как данные для четных строк и для нечетных строк полученного кадра будут упорядочены в буфере изображений на промышленном компьютере ПК, при этом данные помещаются в буфер изображений в формате little endian, имеющем следующие назначения байт: P0 – первый байт пикселя, передаваемые камерой для строки, Pn – последний байт пикселя, передаваемых камерой для строки, B0 – первый байт данных для строки, Bm – последний байт данных для строки, LB – младший байт, HB – старший байт.

Обработка и интерполяция пиксельных данных при использовании форматов: Mono 8, Bayer BG 12 Packed, Bayer BG 8, Bayer BG 12 не выполняются, т. е. передаются необработанные данные. Поэтому предлагается заменить данный формат на YUV 4:2:2 Packed Format, в котором для каждого значения пикселя в захваченном изображении проходит процесс преобразования, когда оно выходит из сенсора и проходит через контроллер камеры. Этот процесс присваивает информацию о цвете Y, U и V для каждого значения пикселя.

Вывод пиксельных данных после сжатия для компонента Y представляет собой 8-битные данные типа "unsigned char (данные без знака). Вывод

пиксельных данных для компонента U или компонента V представляет собой 8-битные данные «чисто двоичного» типа.

Таблица 5.

Таблица данных формата Bayer BG 12

Считываемая строка		Возможная строка	
Байт	Данные	Байт	Данные
V0	Значение зеленого для P0	V0	LB значение зеленого для P0
V1	Значение красного для P1	V1	HB значение зеленого для P0
V2	Значение зеленого для P2	V2	LB значение красного для P1
V3	Значение красного для P3	V3	HB значение красного для P1
V4	Значение зеленого для P4	V4	LB значение зеленого для P2
V5	Значение красного для P5	V5	HB значение зеленого для P2
*	*	V6	LB значение красного для P3
*	*	V7	HB значение красного для P3
*	*	*	*
V _{m-5}	Значение зеленого для P _{n-5}	*	*
V _{m-4}	Значение красного для P _{n-4}	*	*
V _{m-3}	Значение зеленого для P _{n-3}	V _{m-7}	LB значение зеленого для P _{n-3}
V _{m-2}	Значение красного для P _{n-2}		
V _{m-1}	Значение зеленого для P _{n-1}		
V _m	Значение красного для P _n		

Диапазон значений данных для компонента U или V показаны в таблице 8. Уровень сигнала компонента U или компонента V может колебаться от -128 до +127 (десятичное число).

Заключение. В работе произведен анализ алгоритма работы модуля камеры гибочного комплекса, а также рассмотрены варианты исключения задержек в работе модуля камеры без замены его на более производительный.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.

1. Betriebsanleitung TruBend Cell 7000. Pasching, 2016. – 310 Seiten.
2. Service-Handbuch TruBend Cell 7000. Pasching, 2018. – 612 Seiten.
3. Официальный сайт производителя гибочного комплекса // https://www.trumpf.com/de_AT/produkte/maschinen-systeme/biegemaschinen/trubend-cell-7000/ от 12.10.2019
4. Официальный сайт производителя компонентов с ЧПУ // <https://www.br-automation.com/de-de/technologie/cnc-robotik/> от 12.10.2019
5. Официальный сайт производителя камеры // <https://www.baslerweb.com/> от 12.10.2019

6. Сайт [wikipedia.org // https://ru.wikipedia.org/wiki/Цветовая_субдискретизация](https://ru.wikipedia.org/wiki/Цветовая_субдискретизация) от 12.10.2019.

УДК 620.92

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ С ПОЛУЧЕНИЕМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИНТЕЗИРОВАННОГО ТОПЛИВА

Немцов Д.А., Ротэрмель Н.И. Полуянович Н.К.
Южный федеральный университет, Таганрог

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 являются твердые коммунальные отходы (ТКО), являющиеся бесплатным сырьем для получения синтез-газа. Основной статьей расходов при работе с данным видом топлива будет транспортировка. В течение года житель города в среднем образует 360 кг ТКО. Они могут быть направлены для утилизации на мусоросжигательные паротурбинные предприятия с выработкой электроэнергии и теплофикационного тепла, это поможет в решении сразу всех обозначенных нами проблем. 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. [1]

Постановка задачи. Искусственные полимеры разлагаются столетиями, медленно отравляя биосферу. В России полигоны ТБО переполняются городскими отходами, что в ближайшие 10 лет приведет к необратимым последствиям. Захоронения мусора в землю или сжигание в котлах не решают проблему, напротив, ускоряет высвобождение ядов в окружающую среду. Современные предприятия уже не могут только использовать природные ресурсы, не заботясь об окружающей среде. Если не начать бороться с мусором правильными способами, то наша страна погрязнет в отходах. Есть и экономический момент в переработке: выработка «зелёной» энергии позволяет существенно экономить в долгосрочной перспективе, получая материалы или электроэнергию буквально «из ничего» [3,4]. Основной целью работы является обзор существующих методов переработки отходов с выбором оптимального варианта, а также классификация электростанций и выбор оптимального ее типа.

Принципы работы с ТБО. У бытового мусора есть классификация. Для каждого вида отходов управление имеет свои особенности. Управление

отходами – единый процесс. В Европе развитие системы управления ТБО связано с повсеместным строительством мусоросжигающих заводов. В ЕС работает около 500 таких предприятий. Строительство МСЗ планируется и в России. Существует несколько методов термической переработки мусора:

- Сжигание. Преимущественная технология – объем ТБО сокращается на 95 процентов, установки работают более 15 лет.

- Газификация. За счет частичного окисления из бытовых отходов выделяется синтез-газ – ценное сырье для промышленности.

- Пиролиз. ТБО разлагаются при нагревании без доступа кислорода. Используется редко, хотя и явно выигрывает у сжигания с точки зрения экологии.

- Гидрогенизация. Умеренный нагрев, водород и катализатор помогают выделять из полихлорированных бифенилов трансформаторное масло. В России технология распространения не получила.

- Плазменная переработка. Бытовой мусор нагревается плазматроном. Плюс – безопасные для человека и природы остаточные вещества. Минусы – трудности с выводом шлаков, дороговизна и сложность конструкции.

- Слоеое сжигание. Сгорающий мусор помещается на специальные решетки. Сжигание в таких установках эффективно даже при меняющемся уровне влажности и консистенции отходов. Главный плюс – качественная система воздухообмена.

Анализ преимуществ и недостатков рассмотренных методов утилизации и переработки ТБО дает возможность сделать вывод, что оптимальным вариантом реализации требований, предъявляемых к мусороперерабатывающему комплексу, обозреваемому в рамках настоящего проекта, является вариант получения топлива в виде сизага из ТБО способом пиролиза или же плазменной переработки.

Плазменная газификация. 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» [5].

Большинство типов исходных материалов, включая твердые бытовые отходы, содержат как органические, так и неорганические компоненты. Органические компоненты преобразуются в синтетический газ. Неорганические компоненты, такие как стекло, металл и бетон, плавятся внутри реактора и вытекают из его нижней части в качестве нетоксичного остеклованного жидкого шлака, который можно безопасно использовать как композитный материал.

Тепло от систем плазменных горелок и относительно длительное время пребывания в газификаторе обеспечивают полное разложение исходного материала и позволяют выполнять обработку исходных материалов с большим

количеством влаги, а также исходный материал, содержащий большие объемы инертных элементов, таких как стекло и металл.

Образуемый в газификаторе синтетический газ, содержащий пыль (твердые частицы) и другие нежелательные элементы, такие как ртуть, проходит процесс очистки, что позволяет сделать его пригодным для преобразования в другие формы энергии, включая электроэнергию, теплоэнергию и жидкие топлива. Процесс очистки синтетического газа адаптируется в соответствии с требованиями каждого отдельного проекта. Но в большинстве случаев, особенно когда в качестве исходного материала используются твердые бытовые отходы, очистка синтетического газа включает в себя удаление твердых частиц, серы и ртути/тяжелых металлов. Плазменная газификация отличается от неплазменной газификации одним ключевым условием – температурой. Неплазменные газификаторы, как правило, работают при температуре 800 и 900 °С. Температура внутри плазменного газификатора достигает более 3000 °С. Синтетический газ выходит из газификатора при температуре 950 °С. Шлак вытекает из газификатора при температуре 1650 °С. Более высокая температура внутри плазменного газификатора приводит к полному разложению смол, что недостижимо при использовании неплазменных технологий. Удалить смолы из конечного продукта газификатора практически невозможно, поэтому использование синтетического газа, производимого неплазменными газификаторами, очень ограничено. Его можно немедленно сжечь, однако он не пригоден для использования в газовых турбинах, поршневых двигателях и не подходит для преобразования в жидкие топлива. Преимущества технологии плазменной газификации по сравнению с методом сжигания мусора для переработки ТБО В приведены в таблице 1.

Реализации полученного синтез-газа. Для начала определимся с типом подходящей нам электростанции, выбирать будем конечно из тепловых электростанций, проведем их классификацию. В нашем случае наиболее подходящим вариантом станет парогазовая электростанция, она же газотурбинная комбинированного цикла, поскольку таким образом будет обеспечен наивысший КПД [8,17,18] из возможных, приблизительно равный 60%, при условии использования сингаза [6,7].

Алгоритм работы рассматриваемой системы переработки ТБО с конечным получением электроэнергии будет иметь следующий вид (рисунок 2) [8].

Особое внимание следует обратить на пятый пункт алгоритма, в следствии того, что для выработки сингаза используется нестабильное сырье в виде ТБО, то и получаемый газ будет иметь нестабильный химический состав [13,16]. Для того чтобы горение газа в турбине было стабильным, необходимо полученный «сырой» сингаз сначала очистить от лишних примесей, а затем добавить в его состав определенное количество природного газа в процентном соотношении, тем самым будет получена горючая смесь, которая даст стабильное горение.

Таблица 1.

Сравнение плазменной газификации с методом сжигания мусора.

Параметр	Плазменная газификация	Сжигание мусора
Универсальность в отношении исходного материала	ТБО Промышленные отходы; Отходы оптовой розничной торговли и промышленные отходы; Опасные отходы; Отработанные покрышки; Топливо из биомассы	ТБО и другие обычные потоки отходов
Образуемое топливо	Синтетический газ (оксид углерода и водород)	не применимо
Возможности использования конечных продуктов	Альтернатива природному газу и горючим маслам Электроэнергия через паровой цикл Электроэнергия через комбинированный цикл или поршневые двигатели Электроэнергия через топливные элементы Технический пар Жидкие топлива (этанол, биотопливо) Водород Соединения удобрений	Электроэнергия через паровой цикл Технический пар
Общая эффективность завода	Процесс с комбинированным циклом: 1 тонна твердых бытовых отходов позволяет выработать 1000 кВт электроэнергии при использовании конфигурации с комбинированным циклом	Процесс с паровым циклом: 1 тонна твердых бытовых отходов позволяет выработать 500–650 кВт электроэнергии
Выбросы	Процесс с комбинированным циклом: Оксид азота (NOx): <36 частей на миллион по объему в день Диоксид серы (SO ₂): <1,05 частей на миллион по объему в день Ртуть (Hg): <1,4 мкг/сухой стандартный см ²	Оксид азота (NOx): 110–205 частей на миллион по объему в день Диоксид серы (SO ₂): 26–29 частей на миллион по объему в день. Ртуть (Hg): 28–80 мкг/сухой стандартный см ²
Побочный продукт	Инертный, неопасный и не содержащий выщелоченных веществ стекловидный шлак пригоден для использования в качестве композитного строительного материала или минеральной ваты. Большая часть твердых частиц, удаленных в ходе очистки синтетического газа, пригодна для переработки.	Опасная летучая зола и остатки мокрого улавливания золы плюс золошлаковые отходы после сжигания мусора

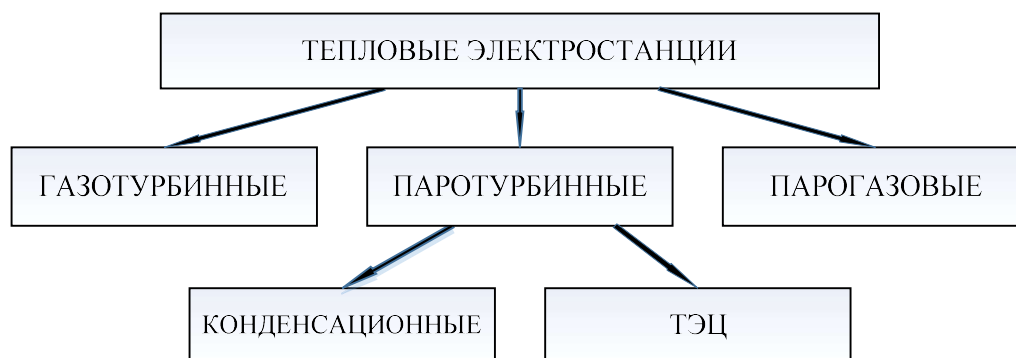


Рис. 1 – Классификация тепловых электростанций

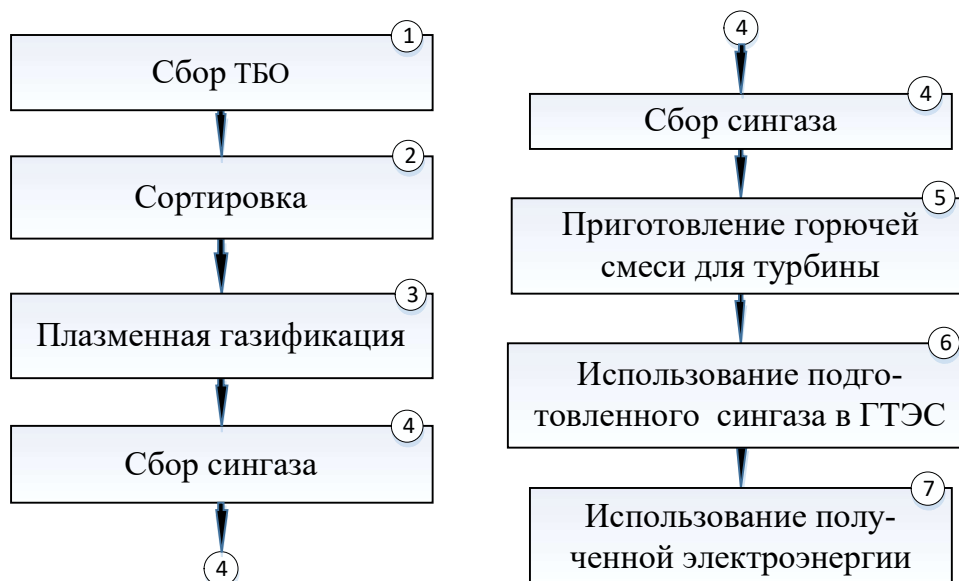


Рис. 2 – Алгоритм работы рассматриваемой системы

Заключение. 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, полученных в результате плазменной газификации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Алексашина В.В.* Экология города мусоросжигательные заводы. 2014.
2. *Tiago Pinto* Рынки электроэнергии с растущими уровнями возобновляемой генерации: структура, функционирование, агентное моделирование и новые проекты. Springer 2018г. 640стр.
3. *Пьер Пинсон, Хенрик Медсен.* Интеграция возобновляемых источников энергии на рынках электроэнергии. Springer 2015г. 429 стр.
4. *Erich Hau, Wind Turbines.* 2013 Fundamentals, Technologies, Application, Economics // Third, translated edition, Springer, 2013, 879 p. ISBN: 978-3-642-27151-9
5. *Столбов Н.В.* Способ и установка Плазмотермической переработки углеродсодержащих промышленных и сельскохозяйственных отходов для получения плазмогаза. 2011.

6. *Кудинов А.А.* Парогазовая установка электростанции. 2009.

7. *Федоров А.А.* Справочник по электрооборудованию и электроснабжению организаций предприятий и учреждений. Т1, Т2, Москва, «Энергоатомиздат», 1986 г.

8. *Полуянович Н.К.* Энергетическая электроника. Пособие по решению задач и методические указания / Таганрогский радиотехнический университет, Кафедра теоретических основ электротехники. Таганрог, 2001.

9. *Полуянович Н.К.* Разработка алгоритма релейной защиты распределительной сети на основе математической модели. Известия ЮФУ. Технические науки. 2009. № 1 (90). С. 240-245.

10. *Полуянович Н.К., Дубяго М.Н.* Электрический привод. Для студентов направления 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» по профилю «Электрооборудование предприятий, организаций и учреждений, электрического транспорта, автомобилей и тракторов» / Южный Федеральный Университет, Инженерно-технологическая академия, Институт радиотехнических систем и управления, Кафедра электротехники и мехатроники. Таганрог, 2015.

11. *Дубяго М.Н., Полуянович Н.К., Бурьков Д.В.* Разработка метода прогнозирования процесса старения изоляцииина основе термофлуктуационной теории частичных разрядов. Инженерный вестник Дона. 2017. № 3 (46). С. 26

12. *Полуянович Н.К., Дубяго М.Н.* Термофлуктуационный метод диагностики состояния изоляционных материалов силовой кабельной линии и прогнозирование их остаточного ресурса. Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2018. Т. 61. № 5. С. 66-71

13. *Дубяго М.Н., Полуянович Н.К.* Методы исследования сенсоров газа в задачах экологического мониторинга. В сборнике: Геосистемы: факторы развития, рациональное природопользование, методы управления. Сборник научных статей по материалам II международной научно-практической конференции, посвященной 15-летию со дня основания филиала РГГМУ в г. Туапсе. Краснодар, 2011. С. 265-267.

14. *Полуянович Н.К.* Электрический привод. Учебное пособие / Таганрогский технологический институт ЮФУ, Кафедра электротехники и мехатроники, Полуянович Николай Константинович. Таганрог, 2011

15. *Дубяго М.Н., Полуянович Н.К.* Метод неразрушающего контроля деструкции и прогнозирования старения изоляционных материалов. В сборнике: Технологии разработки информационных систем Материалы VIII Международной научно-технической конференции. 2017. С. 133-140

16. *Колотушкин Д.О., Полуянович Н.К., Береснев А.Л.* Микроконтроллерное устройство для получения водорода. Патент на полезную модель RUS 112905 22.06.2011

17. *Доценко В.С., Дубяго М.Н., Полуянович Н.К.* Моделирование работы цифрового регистратора контроля тепловых параметров. В сборнике: Технологии разработки информационных систем ТРИС-2016 материалы конференции: в 2-х томах. 2016. С. 175-179

18. Лозбень А.С., Дубяго М.Н., Полуянович Н.К. Повышение КПД системы электропитания индукционной плавильной печью. В сборнике: Моделирование. Фундаментальные исследования, теория, методы и средства Материалы 18-ой Национальной молодежной научно-практической конференции. 2018. С. 102-107.

19. Немцов Д.А., Полуянович Н.К. Самовосстановление конструкционных свойств термопластов в поле высокой частоты. В сборнике: Перспективные направления развития отделочно-упрочняющей технологии и виброволновых технологий сборник трудов международной научно-технической конференции, посвященной 90-летию заслуженного деятеля науки и техники РФ, д.т.н., почётного профессора ДГТУ А.П. Бабичева. 2018. С. 214-217.

20. Дубяго М.Н., Полуянович Н.К. Однофакторный экстрополяционный метод прогнозирования термофлуктуационных процессов изоляции СКЛ. Известия ЮФУ. Технические науки. 2018. № 7 (201). С. 86-98.

ЭЛЕКТРОМОБИЛИ И ИХ ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ

Бережная А.В., Расторгуев Н.С., Киндюк С., Дмитриева И.А.
 Политехнический институт (филиал ДГТУ) г. Таганрог

Статья посвящена разработке такой перспективной технологии, как электромобиль. Это включает краткий обзор его истории, развития и современного состояния. Статья содержит информацию о структуре электродвигателя, принципе работы, его преимущества в сравнении с бензиновыми двигателями и некоторые технологические проблемы. Также были предложены свои способы решения некоторых из них.

Ключевые слова: Электромобиль, электродвигатель, батарея, питание.

История ранних электромобилей не блещет какими-то особыми событиями. Первое техническое средство, движущееся на основе электричества появилось в 1841 году. На первом электромобиле без подзарядки можно было проехать 64 километра, а суммарная мощность составляла 4 лошадиные силы. Электромобиль двигался в 9 режимах и на пике достигал скорости 37,4 км/час.

Спустя полвека был разработан La Jamais Contente, который в 1899 году установил рекорд скорости на суше — первым в мире преодолел рубеж в 100 км/час и достиг скорости 105,882 км/час. Это был ошеломительный результат не только для электромобиля, но и для автомобильной промышленности в целом. Разработка компании «Борланд Электрик» преодолела 167 км на одной зарядке, проехав от Чикаго до Милуоки. Средняя скорость путешествия составила 55 км/ч.

В этот же год появился и первый русский электромобиль, кабина которого была рассчитана на 2 человека. Изобретателем был Ипполит Романов, которому удалось снизить вес транспортного средства до 720 кг за счёт аккумуляторов, которые были легче аналогов. Скорость на пике составляла 35 км/час при запасе хода немногим больше, чем 1 км.

Столь быстрый скачок технологий вызвал бурю эмоций, и уже в XX веке люди с нетерпением ожидали на дорогах массового появления электромобилей. Уже в 1910-х в такси осуществляли перевозки при помощи около 70 000 электромобилей.

На фоне больших ожиданий начали появляться заметки в СМИ и печатных изданиях. Одним из первых было описание электрического транспорта в энциклопедии Брокгауза Ф. А. и Ефрона И. А.:

«Самым многообещающим типом автомобиля в будущем можно считать электрический, но пока он ещё недостаточно усовершенствован. Электрические двигатели не дают ни шума, ни копоти, они, бесспорно, удобнее и совершеннее всех других, но автомобиль должен вести свой источник энергии: аккумуляторную батарею, которая пока ещё слишком тяжела и непрочна».

Там же отмечали ключевые недостатки имевшихся электромобилей — невозможность иметь запас энергии на продолжительное путешествие, сложности с заправкой. Спустя 100 лет мы видим, что эти проблемы не решены в полной мере до сих пор... [1]

Устройство электромобиля и принцип его работы

Электродвигатель – устройство, которое занимается преобразованием электроэнергии в механическую. Он работает, используя принцип электромагнитной индукции. В последнее время он все сильнее популяризируется на автомобильном рынке в качестве перспективного направления развития автопромышленности. Поэтому есть смысл подробнее ознакомиться с устройством электромобиля, его двигателя, за которым может быть будущее отрасли.

Принцип работы электромобиля заключается в следующем. В нем задействован механизм электромагнитной индукции, который состоит в том, что при наличии переменного электрического тока в проводнике возникает магнитное поле, которое по закону Ампера выполняет отклоняющее действие. В моторе существуют два основных компонента: ротор и статор. Статор остается постоянно неподвижным и по нему пропускается электрический ток определенной частоты. Генерируемое в статоре магнитное поле действует на ротор и тот начинает вращаться. Получаемая механическая энергия используется для движения транспортного средства. Скорость движка прямо пропорциональна частоте тока и количеству установленных магнитных полюсов. [2]

В целом, устройство электромобиля достаточно простое, но требует очень аккуратного и точного исполнения. Ток для питания статора генерируется установленными на борту батареями. В зависимости от модели машины, батареи могут иметь разную емкость, конструкцию, особенности используемых механизмов работы.

Главные составляющие электромобиля:

- непосредственно электродвигатель;
- питающая аккумуляторная батарея разной емкости, которая связана с мощностью мотора;
- упрощенная трансмиссия;

- инвертор;
- зарядное устройство на борту;
- электронная система управления элементами конструкции;
- преобразователь

Преимущества

Электромобиль обладает огромным количеством плюсов, преимуществ по сравнению с автомобилем обыкновенным.

Электромобиль реже ломается, а значит, что риск внезапно "встрять" со сломанной машиной ниже. А поломок там меньше потому, что попросту меньше деталей, которые могут выйти из строя.

Реже требуется техническое обслуживание и объем его меньше. Не нужно менять масло и фильтр в двигателе каждые десять тысяч километров, как все привыкли, отсутствует и нужда в воздушном фильтре двигателя.

Электромобиль безопаснее. Из-за отсутствия тяжелых и объемных ДВС и КПП спереди риск травмироваться при лобовом столкновении значительно ниже.

Не сжигая топливо и не выпуская в атмосферу выхлопные газы и сажу мы намного меньше вредим окружающей среде.

В машине намного тише, т.к. мотор работает почти бесшумно. Однако, мы всё также слышим щуршание шин об асфальт, внешнюю обстановку и, иногда, небольшой вой электромотора в некоторых моделях.

Если у обычных машин истекает ресурс ДВС, то у электромобилей деградирует батарея. Однако на батарею рестайлингового Nissan Leaf 2016 года производитель дает гарантию 8 лет или 160 000км до начала деградации! На пробеге около 250 000км при правильной эксплуатации емкость батареи снизится примерно на 20%.

Недостатки

Увы, владельцам электромобилей в России приходится сталкиваться с проблемами, не беспокоящими водителей авто с ДВС.

Ограничения по запасу хода. В обычном авто быстро залил бензин на АЗС и едешь дальше, а в случае с электрокаром даже если прибываешь на "электрозаправку", должно пройти существенное время для пополнения запаса хода. Этого недостатка лишены гибриды.

Долгое время "зарядки". Хотя новые электрокары и можно зарядить в большинстве своем до 80% за 40 минут, это всё-таки не 5 минут, требующиеся для залива топлива на АЗС. Кроме того в России очень мало количество зарядных станций, позволяющих относительно быстро зарядить машину. В большинстве случаев владельцы заряжают их от бытовых розеток, а это может занимать от 8 часов и более.

Неразвитая инфраструктура зарядных станций в России. На данный момент зарядные станции на междугородних трассах только начинают появляться, но происходит это медленно, поэтому у нас электромобиль можно использовать только как городской авто. В развитых странах зарядки для электромобилей есть почти на каждой АЗС и редко встречаются реже раза в 50км.

Высокая стоимость по сравнению с бензиновыми и дизельными двигателями. В новый электромобиль стоит на несколько десятков процентов дороже аналога с ДВС.

Снижение запаса хода зимой. Из-за включения обогрева салона, руля и сидений запас хода при отрицательных температурах снижается в среднем на 25-30%.

Решения некоторых проблем

Заряд и запас хода можно увеличить если подключить к электродвигателю генератор. С его помощью аккумуляторные батареи могли бы заряжаться прямо на ходу, но тогда у электродвигателя уменьшается КПД (потеря примерно 30%).

Литий-ионные аккумуляторы служат относительно недолго, а их замена слишком дорого обойдётся владельцу транспорта. Тут можно использовать более дешёвые батареи, например: металло-воздушные аккумуляторы (небольшой вес, большой пробег, сравнительно доступная цена, более простая утилизация).

Вывод: технология электромобилей хоть и давно существует, но даже сейчас она всё ещё находится на зачаточном состоянии. Такие транспортные средства имеют много плюсов по сравнению с ДВС но также и немного существенных минусов которые даже сейчас требуют решений. Да, до будущего ещё далеко но сам факт существования такой технологии уже вдохновляет.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Щетина В.А., Морговский Ю.Я., Центер Б.И., Богомазов В.А. Электромобиль: техника и экономика. — Л.: Машиностроение, 1987. — 253 с.
2. Жук А.З., Клейменов Б.В., Фортон В.Е., Шейндлин А.Е. Электромобиль на алюминиевом топливе. — М.: Наука, 2012. — 171 с.

УДК 621.315.3: 621.316.99

РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ОБУСЛОВЛЕННЫХ ТОКОМ УТЕЧКИ ВЫЗВАННЫХ ЧАСТИЧНЫМИ РАЗРЯДАМИ

Полуянович Н.К., Дубяго М.Н.

Южный федеральный университет, г. Таганрог, Российская федерация

Введение и постановка задачи. В процессе эксплуатации изоляция СКЛ подвергаются тепловым, электрическим, химическим, механическим, атмосферным и другим видам воздействий, в результате чего происходит изменение её электрических свойств и, как следствие, некоторые изменения претерпевают и технические характеристики изоляционных материалов [1, 2]. В исследование характера отказов, разработку и внедрение методов контроля и диагностики изоляции по тепловым процессам СКЛ, большой вклад внесён такими учёными, как Золотарев В.В., Меркулов В. И., Набока Б. Г., Зализный

Д.И., и др. Однако процесс старения изоляции с учетом комбинации факторов в полном объеме до сих пор не изучен. Важной характеристикой силовых кабельных линий (СКЛ) систем электроснабжения является нагрузочная способность, определяемая тепловым режимом, по которой рассчитывается площадь поперечного сечения и их пропускная способность [3, 4].

Прогнозирования термофлуктуационных процессов. Ресурс изоляционных материалов зависит от таких параметров как температура, ток, влажность [6-12.], поэтому необходимо исследования температурного поля в сечении СКЛ, рис.1.

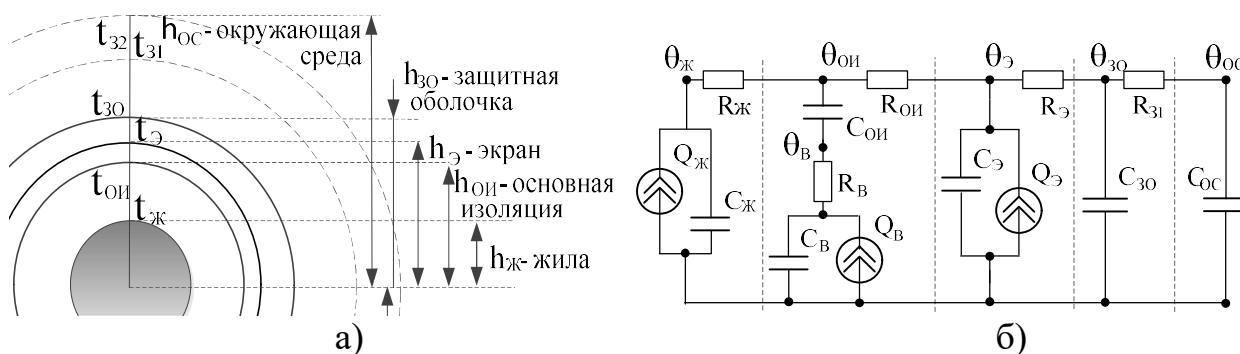


Рис. 1– Сечение кабеля – а) и его эквивалентная тепловая схема замещения –б)

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. Помимо оценки пропускной способности к задачам мониторинга теплового режима относят оценку температуры жилы в режиме реального времени и своевременное предотвращение токовых перегрузок СКЛ, 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.

Нейронные сети не программируются в привычном смысле этого слова, они обучаются [16-19]. Возможность обучения – одно из главных преимуществ нейронных сетей перед традиционными алгоритмами. Для определения температуры токоведущей жилы на основе температур внешней изоляции и окружающей среды было решено выбрать рекуррентную сеть, которая по принципу действия схожа с сетью Эльмана. Причина выбора обусловлена необходимостью прогнозирования нелинейных изменений температуры.

Расчет мощности ЧР обусловленной током утечки. Кабель для расчета его тепловых процессов можно рассматривать как система однородных тел. Однако такая модель не учитывает фактор влияния диэлектрических потерь в изоляции,

а именно ЧР на нагрев кабеля. Тепловые процессы в СКЛ вызваны активными потерями, рисунок 2, которые преобразуются в тепловой поток, проходящий от жил через диэлектрик к внешней среде.

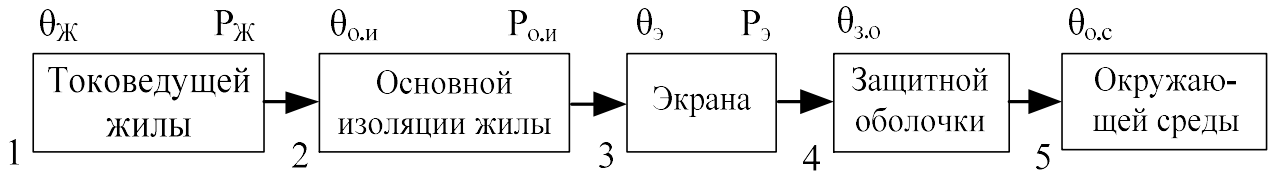


Рисунок 2 – Структурная схема тепловых процессов кабеля

Мощность электрических потерь в жилах кабеля определяется по известной формуле:

$$P_{\text{эл}} = I^2 R \quad (1)$$

Активная мощность преобразуется в тепловой поток [60]:

$$Q = \lambda \frac{\Delta T}{\Delta L} S t. \quad (2)$$

Изменение теплового потока, проходящего через слои изоляции кабеля в единицу времени, также представляет собой активную мощность и измеряется в Вт:

$$P_Q = \frac{dQ}{dt}, \quad (3)$$

где Q – количество теплоты, переданное через слой вещества толщиной ΔL площадью S при поддержании на его плоскостях разности температур ΔT за время t , λ – удельная теплопроводность материала.

Наличие в технических диэлектриках небольшого числа свободных зарядов, связанных с наличием примесей либо продуктов окисления, возникающих в результате нагрева в изоляции, приводит к возникновению токов утечки, определяемых в общем случае равенством:

$$I_y = U \omega C, \quad (4)$$

где U – напряжение между слоями диэлектрика; ω – угловая частота тока; C – емкость основного слоя изоляции.

Расчет изменения теплового потока, проходящего через слои изоляции кабеля, проводится в зависимости от радиальных расстояний методом кусочно-заданных функций, в котором учитывается место расположения дефекта ОИ (m_1). Оно зависит от степени нагрева жилы и тепловых свойств ОИ. Радиальные расстояния считаются от центра жилы, что позволяет получить картину распределения градиента температур.

Мощность, выделяемую активной составляющей тока утечки, можно рассчитать по формуле:

$$P_B = P_{Bt} + \frac{I_{\text{ж}}^2 + I_{\text{в}}^2}{2\pi\lambda_B} \ln \left(\frac{m_1}{h_{\text{ж}}} \right) + \frac{I_{\text{в}}^2}{S_B \gamma_B \lambda_B} (h_{\text{ж}}^2 - h^2), \quad (5)$$

$$P_{Bt} = P_{\text{ГР.}} + \frac{I_{\text{ж}}^2}{2\pi\lambda_{\text{О.И.}} S_{\text{ж}} \gamma_{\text{ж}}} \ln \left(\frac{h_{\text{О.И.}}}{m_1} \right), \quad (6)$$

где h – радиальное расстояние (переменная); $h_{ж}$ – радиус внешнего края ОИ; m_1 – место расположения дефекта; $S_{ж}$ – площадь сечения жилы; δ_B – плотность тока включения; h_B – размер включения; λ_B – теплопроводность включения; γ_B – проводимость включения; $\gamma_{ж}$ – проводимость жилы; $h_{о.и.}$ – внешний радиус основной изоляции; $\lambda_{о.и.}$ – теплопроводность основной изоляции; $R_{гр.}$ – тепловой поток на границе включения и ОИ; m_1 – место расположения дефекта.

Плотность тока:

$$\delta_B = \frac{I_y}{S_B} = \frac{U\omega C_B}{S_B}.$$

Емкость включения:

$$C_B = 2\pi\epsilon_0\epsilon_B \frac{h_B}{2},$$

где h_B – радиус включения.

Тепловое сопротивление включения:

$$R_B = \frac{1}{\gamma_B} = \frac{1}{qN_{UD}(\mu_+ + \mu_-)},$$

где γ_B – тепловая проводимость; N_{UD} – удельное число частиц ($N_{UD} = 2.6786e+25$); μ_+ , μ_- – подвижности положительно и отрицательно заряженных частиц.

Объем включения:

$$V_B = \frac{4}{3}\pi \left(\frac{h_B}{2}\right)^3.$$

Напряжение на включении:

$$U_B = \epsilon_B\epsilon_0 \left(\frac{h_B}{2}\right),$$

где $h = h_{о.и.} - h_{ж}$ – радиальное расстояние ОИ.

Площадь поверхности включения:

$$S_B = 4\pi \frac{h_B^2}{4}.$$

Заряд включения:

$$q = \frac{U\epsilon_0\epsilon_B S_B}{h_{о.и.} - h_{ж} - h_B}.$$

Для определения места расположения ЧР в систему расчета температур (3.50) введено выражение

$$m_1 = h_{ж} + \frac{I_n}{I_t} h, \quad (7)$$

где I_n – ток жилы номинальный; I_t – ток жилы в настоящий момент времени.

Таким образом, полученная математическая модель позволяет рассчитать мощность ЧР, а также определить расположение включений m_1 (7) в основной изоляции, обусловленных мощностью активной составляющей тока утечки (6), при его возникновении в основной изоляции кабеля.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Полуянович Н.К.* Разработка алгоритма релейной защиты распределительной сети на основе математической модели. Известия ЮФУ. Технические науки. 2009. № 1 (90). С. 240-245.
2. *Dubyago M.N.* Mathematical description of interaction of the elements in the power network system. 2013 International Conference on Renewable Energy and Environmental Technology (ICREET 2013) Applied Mechanics and Materials Vols. 448-453 Trans Tech Publications, Switzerland. (2014) pp 2455-2460
3. *Дубяго М.Н.* Разработка модели старения и определение остаточного ресурса изоляции силовых кабелей // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – № 4 (153). С. 107-114.
4. *Дубяго М.Н., Полуянович Н.К. Пшихонов В.Х.* Оценка и прогнозирование изоляционных материалов силовых кабельных линий // Известия ЮФУ. Технические науки. №7 (168) июль. 2015 г. С–230-237
5. *Дубяго М.Н., Полуянович Н.К.* Метод селекции сигнала ЧР с помощью Вейвлет-преобразования. Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. № 2 (139). С. 99-104.
6. *Poluyanovich N.K. Dubyago M.N.* Study of characteristics of partial discharge for assessment of condition of electrical insulating materials of power supply system. 2013 4th International Conference on Applied Mechanics and Mechanical Engineering (ICAMME 2013), October 11-12, 2013, Singapore, Applied Mechanics and Materials Vols. 459 Trans Tech Publications, Switzerland (2014) pp 70-75.
7. *Dubyago M. N., Poluyanovich N. K.* Analysis of Insulation Materials of Cable Systems by Method of Partial Discharges. Advances in Materials Science and Applications, Mar. 2015, Vol. 4 Iss. 1, PP. 23-32.
8. *Dubyago M.N. and Poluyanovich N.K.* Prediction of residual life of isolating materials in the process of thermal power equipment deterioration. International Conference on Advances in Energy, Environment and Chemical Engineering (AEECE 2015), September 26-27, 2015 in Changsha, China. Published by Atlantis Press, ISSN:2352-5401pp.49-54
9. *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)
10. *Dubyago M.N., 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/
11. *Dubyago M. N., Poluyanovich N. K.* Thermal processes of the isolating materials in problems of nondestructive diagnostics of the main and distributive power stations. EAI Endorsed Transactions on Energy Web and Information Technologies 18(16): e3. ж. SJR SCImago Journal & Coutry Rank

12. *Dubyago M. N., Poluyanovich N. K. Estimation of Insulating Materials Depreciation and Forecasting the Residual Cable Resource Considering the Current Core Temperature, International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing vol. 7, no. 1, pp. 415-420, 2019.*

УДК 621.43.062

ВЛИЯНИЕ ДЕТОНАЦИИ ТОПЛИВА НА ИЗНОС ПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ

Сенченко О.В., Береснев А.Л.

ЮФУ Таганрог 2019г.

Принудительный подогрев с целью повышения чувствительности лямбда-зондов влияет, например, на существенное снижение мощности двигателя, чрезвычайно медленные реакции на изменение положения педали газа и в частности рывки и хлопки. Плавающие холостые обороты. В таком случае на приборной панели загорается значек.

Ряд признаков неисправности:

- Сбои на малых оборотах.
- Несоответствующий техпаспорту набор скорости.
- Неустойчивая работа на холостом ходу.
- Чрезмерный расход топлива.
- Ухудшение разгонной динамики.
- Потрескивание катализатора.
- Повышение температуры в районе каталитического нейтрализатора или его нагрев до раскаленного состояния.
- Подсветка лампы "CHECK ENGINE" при установившемся режиме движения.

Бортовой компьютер покажет ошибку «Датчик кислорода — слишком бедная смесь»! Причиной является появление лишнего воздуха в выпускном коллекторе. Тогда блок управления дает запрос на обогащение смеси после чего увеличивается длительность впрыска. В результате ДВС будет работать на переобогащенной смеси, причем постоянно. В результате свечи при выкручивании будут черными от нагара, что свидетельствует о богатой смеси. В данном случае не нужно менять кислородный датчик. Необходимо выявить причину — лишний воздух в выпускном тракте.

БУ показывает ошибку «Датчик кислорода — слишком богатая смесь»! Это не всегда именно так. Видимо датчик «отравлен». Датчик «травится» при испарении несгоревшего топлива. При длительном режиме плохой работы мотора и неполном сгорании топлива, кислородник может запросто отравиться, то же случается если использовать не качественный бензин. На самом деле в данном случае ДВС работает на бедной смеси, что негативно сказывается на динамике. Тогда машина неустойчиво работает на холостом ходу.

Снижается уровень сигнала, блок управления решает, что смесь бедная, и обогащает ее. Получается, что расход топлива растёт, а катализатор со временем засоряется.

Эту проблему можно решить следующим способом. Первым делом - измерить уровень СО во всех режимах двигателя. Если укладывается в технические нормы для автомобиля, то двигатель в перерасходе не виноват - ищите другую причину. Может, вы просто ездите на спущенных колесах или гоняете от светофора к светофору. Если двигатель работает неустойчиво на холостом ходу, норовя заглохнуть, а свечи черные, но прогретый ведет себя примерно, то виноват, скорее всего, датчик кислорода - прогретый, он начинает работать нормально.

Данная проверка выполняется по крутизне фронтов перехода с богатой смеси на бедную и обратно. На новом датчике который быстро работает переход почти вертикальный, тогда как на осциллограмме изношенного датчика фронты переходов пологие. Такой датчик требует замены.

Есть два способа увидеть ошибку:

- сканировщиком
- мотортестером

В данном случае второй вариант нас интересует больше. Мотортестер дает возможность оценить не только текущие и пиковые значения, но и форму сигнала, и скорость его изменения. Скорость изменения как раз и есть характеристика исправности датчика.

Низкая частота переключения выходного сигнала лямбда зонда указывает на то, что смесь значительно отклонилась от стехиометрического значения.

Такая неисправность может быть вызвана из-за старения или отравления датчика. Время перехода выходного напряжения зонда от одного уровня к другому не должно превышать 120ms. Причиной значительного увеличения времени перехода выходного напряжения зонда от одного уровня к другому может стать отравление либо старение датчика. Отравление датчика может быть вызвано применением содержащих свинец и некоторые другие элементы присадок к топливу или маслу, либо применением при ремонте двигателя некоторых видов герметиков.

Легко можно выявить по осциллограмме напряжения его выходного сигнала на режиме холостого хода и малых нагрузок. Практически стареющий лямбда зонд все еще работает на движущемся автомобиле, но как только нагрузка на двигатель снижается (холостой ход), размах сигнала быстро начинает уменьшаться вплоть до пропадания колебаний.

Выходной сигнал в таком случае не прерывается, его значение становится близким опорному напряжению 350_650mV.

Если значительно повысить температуру чувствительного элемента, путём увеличения нагрузки либо оборотов двигателя, то осциллограмма выходного сигнала приобретает привычный вид. Это указывает на то, что лямбда зонд всё ещё способен обеспечить близкий к заданному состав рабочей смеси во время движения автомобиля. При этом владелец автомобиля зачастую не отмечает

возросшего расхода топлива и снижения мощности и приёмистости двигателя, но работа двигателя на холостом ходу может быть неустойчивой, может появляться "качание" оборотов холостого хода.

Разгерметизация лямбда зонда

В случае появления такой неисправности, расход топлива очень сильно возрастает, приемистость двигателя значительно снижается, при резких перегазовках наблюдаются выбросы сажи из выхлопной трубы, рабочая поверхность изоляторов свечей зажигания покрывается сажей. Неисправность возникает вследствие внутренней, а иногда и внешней разгерметизации лямбда зонда. В случае разгерметизации лямбда зонда на ЭБУ поступает сигнал зонда низкого уровня, что означает - бедная смесь. Вследствие этого, ЭБУ обогащает топливовоздушную смесь. Таким образом, разгерметизация лямбда зонда приводит к значительному обогащению топливовоздушной смеси. В данном случае все способы самодиагностики выявить данную неисправность зонда не способны.

Причины преждевременного выхода из строя датчика кислорода:

- Применение этилированного бензина или несоответствующей марки топлива.
- Использование при установке датчика герметиков, вулканизирующихся при комнатной температуре или содержащих в своем составе силикон.
- Перегрев датчика из-за неправильно установленного угла опережения зажигания, чрезмерного обогащения топливовоздушной смеси, перебоев в зажигании и другое.
- Многократные попытки запуска двигателя через небольшие промежутки времени, что приводит к накоплению несгоревшего топлива в выпускном трубопроводе, которое может воспламениться с образованием ударной волны, «хлопки» в выпуске разрушающие хрупкую керамику хлопком в глушителе
- Проверка работы цилиндров двигателя с отключением свечей зажигания.
- Попадание на керамический наконечник датчика любых эксплуатационных жидкостей, растворителей и моющих средств.
- Обрыв, плохой контакт или замыкание на "массу" выходной цепи датчика
- Негерметичность в выпускной системе.

Для измерения содержания кислорода датчику кислорода требуется приток воздуха извне, с которым происходит сравнение. Поскольку приток воздуха извне осуществляется через проводку, для точности измерений необходимо, чтобы кабель не был засорен или поврежден. Совершенно недопустимо смазывать разъемы датчика кислорода, так как смазка может смешиваться с опорным воздухом.

Ресурс лямбда зонда 20 000 – 80 000 км. То есть датчик живет весьма недолго. Иногда при его работе неисправности могут и не проявляться так явно, постепенно и незаметно растет расход топлива, раскачиваются обороты холостого хода, из трубы начинает валить черный дым. Ремонту датчик не подлежит и при выявлении его неработоспособности он должен быть заменен новым [1].

Как правило, выход лямбда-зонда из строя приводит не только к увеличению потребления горючего, но и одновременно уменьшает мощность самого автомобиля. Можно ли быть уверенным, что при неисправном лямбда зонде блок управления выдаст четкую ошибку? К сожалению, так происходит не всегда. Однако, если это все-таки будет зафиксировано, то компьютер назначит усредненные параметры впрыска топлива.

Желательно оценивать его работоспособность через каждые 30 000 пройденных километров, а полную замену проводить после пробега в 100 000 км.

Одним словом, любая серьезная неисправность этого датчика приводит к следующим последствиям:

- Повышение расхода топлива;
- Снижение мощностных характеристик мотора;
- Появление нагара из-за неполного прогорания топливной смеси;
- Ускоренный износ цилиндров;
- Перебои в работе на холостых оборотах;
- Повышение выброса в атмосферу вредных веществ.

Отключение лямбда зонда.

Некоторых автолюбителей интересует, можно ли отключить ДК. Теоретически сделать это возможно, но нежелательно. Лямбда-зонд отключать не рекомендуется, потому что электронный блок управления (ЭБУ) двигателя включает автономный режим подачи топливовоздушной смеси. Это влияет на расход топлива в худшую сторону, приводит к увеличению токсических веществ в выхлопных газах. Если же ездить с отключенным или неисправным КД долгое время, то могут возникнуть следующие проблемы:

- быстро возникнет черный сажевый налет на свечах зажигания, что приведет к плохому запуску двигателя, особенно на холодную, плохой воспламеняемости топливовоздушной смеси, уменьшению зазора свечи;
- нагар на клапанах, что приводит к уменьшению продуваемости всасывающих и выхлопных каналов в ГБЦ, всасывающем коллекторе и выхлопном коллекторе, из-за чего снижается мощность автомобиля;
- нагар в катализаторе, что даже может привести к его расплавлению, после чего двигатель будет глохнуть сразу после запуска;
- нагар на поршнях, что может в итоге стать причиной капитального ремонта, как и вышеперечисленные неисправности.

В связи с вышеперечисленным вопрос, можно ли ездить с отключенным КД, имеет отрицательный ответ, ведь ни одному автомобилисту не хочется, чтобы с его транспортом возникали серьезные проблемы.

Отключение кислородного датчика возможно во время ремонта выхлопной системы. Но предварительно необходимо отсоединить клеммы аккумулятора, так как любое разъединение фишек детали записывается в ОЗУ блока управления, а на некоторых моделях автомобилей информация сразу отправляется в ПЗУ.

На что влияет неисправный лямбда зонд. Влияет ли лямбда-зонда на обороты, влияет ли лямбда зонд на запуск двигателя.

Неисправность лямбда-зонда проявляется в дестабилизации оборотов холостого хода, которые начинают «плавать» в достаточно широком диапазоне, протяжённость которого составляет 300–600 об/мин. При достижении очень высоких оборотов, не принадлежащих к критическому уровню, может произойти резкое изменение качества топливной смеси.

При этом автомобиль может сильно дёргаться, из-под капота в отдельных случаях доносятся отрывистые хлопки, а на приборной панели вспыхивает контрольная лампа, сигнализирующая об аномальной работе двигателя. При снижении оборотов все признаки поломки лямбда-зонда исчезают, однако игнорировать их нельзя.

Если же ездить с отключенным или неисправным КД долгое время, то могут возникнуть следующие проблемы: быстро возникнет черный сажевый налет на свечах зажигания, что приведет к плохому запуску двигателя, особенно на холодную, плохой воспламеняемости топливовоздушной смеси, уменьшению зазора свечи.

Самой банальной причиной проблем пуска холодного двигателя, может стать обычная разгерметизация впускного тракта. Чаще всего речь идет о соскочившей (иногда лопнувшей) трубке, которая соединяет регулятор давления топлива в системе с впускным коллектором. Внимательно осмотрите соединения всех трубок (шлангов и т.д.), которые идут от впускного тракта к другим системам или элементам (тормозная система, адсорбер, вентиляция картера двигателя и др.) и при наличии исправных элементов системы впрыска, проблем с холодным запуском на вашем автомобиле не будет.

Некоторые автовладельцы в проблемах холодного пуска винят лямбда-зонд (датчик содержания кислорода в выхлопных газах). Но на самом деле O₂ в пуске холодного двигателя не учитывается, он вступает в работу только после прогрева двигателя до рабочей температуры[2].

На втором этапе прибор перестаёт работать при запуске двигателя на не прогретом моторе — пока температура не достигнет предельной возможной, автомобиль будет подавать все признаки неисправности впускной системы или газораспределительного механизма.

В частности, вы заметите существенное ухудшение мощности, чрезвычайно медленные реакции на изменение положения педали газа, а также рывки и хлопки.

Автомобиль при неисправности лямбда-зонда может дёргаться, резко замедляться в результате полной остановки подачи топлива, а двигатель может начать перегреваться. Примерно после 5–10 минут езды в таком неприятном режиме происходит видимая стабилизация состояния транспортного средства — однако она является исключительно временной.

Это самый сложный и ответственный пункт. Здесь нам нужен или мотор тестер, или стрелочный вольтметр, или осциллограф. Осциллографы уже давно существуют в виде программ для ПК и приставки со щупами, цена вопроса от 1500 рублей и выше.

Порядок действий:

1. Запустите двигатель и прогрейте его до рабочей температуры. Датчик кислорода не начнет работать пока не прогреется.
2. Подсоедините щупы между сигнальным проводом и проводом массы.
3. Поднимите обороты двигателя примерно до 3000 в минуту.
4. Наблюдайте за изменением показаний лямбда зонда.

Сигнал с ДК должен изменяться от 0,1 вольта до 0,9 в. Если у вас точный прибор и вы видите, что изменения происходят в меньшем диапазоне (например, от 0,2 до 0,7), датчик подлежит замене. Засеките время, в течение которого показания меняются от большего к меньшему. Принято считать, что за 10 секунд должно быть 9-10 изменений показаний. Если они меняются реже, то велика возможность появления ошибки: медленный отклик датчика кислорода[3].

Сигнал датчика можно проверить с помощью конвертера расходомеров Pilot VAF/MAF. Во время движения автомобиля конвертер записывает работу датчика кислорода и показывает какая смесь - бедная или богатая. Сигнальная "масса" лямбда зонда ЭБУ производит измерение напряжения выходного сигнала лямбда зонда относительно сигнальной "массы" датчика.

Сигнальная "масса" лямбда зонда, выведенная через отдельный провод на разъем датчика в большинстве случаев соединена с "массой" автомобиля.

Но встречаются блоки управления двигателем, где провод сигнальной "массы" лямбда зонда подключен не к массе автомобиля, а к источнику опорного напряжения.

В таких системах, измерение напряжения выходного сигнала лямбда зонда ЭБУ производит относительно источника опорного напряжения.

Схема датчика детонации на основе диоксида циркония, который расположен в выхлопной трубе. 1 – твердый электролит ZrO_2 ; 2, 3 – наружный и внутренний электроды; 4 – контакт заземления; 5 – сигнальный контакт; 6 – выхлопная труба, это видно на Рисунке 1.

Особенностью циркониевого лямбда-зонда является то, что при малых отклонениях состава смеси от идеального напряжение на его выходе изменяется скачком в интервале 0,1 - 0,9 В.

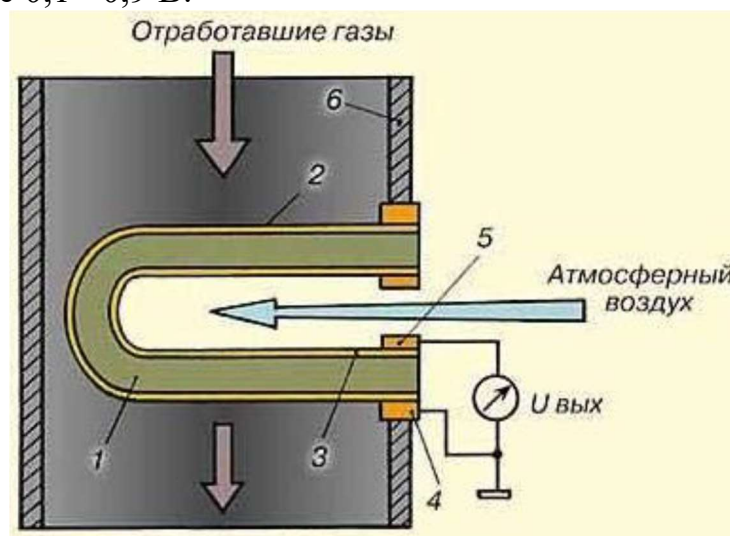


Рисунок 1 – лямбда принципы работы

Зависимость напряжения лямбда-зонда от коэффициента избытка воздуха при температуре на датчике 550-780°C изображена на Рисунке 2.



Рисунок 2 – график зависимости напряжения лямбда-зонда

При достижении значения 1,0 напряжение зонда очень резко, меняется в пределах примерно 0,1–0,8 В, э на Рисунке 3.

Это значит, что при исправном датчике и нормальной смеси сигнал датчика будет изменяться в пределах от 100 до 900 мВ. График вольтажа с датчика при этом обычно имеет вид синусоиды[4]. Эффективное измерение остаточного кислорода в отработавших газах лямбда-зонд обеспечивает после разогрева до коэффициента избытка воздуха в рабочей смеси.

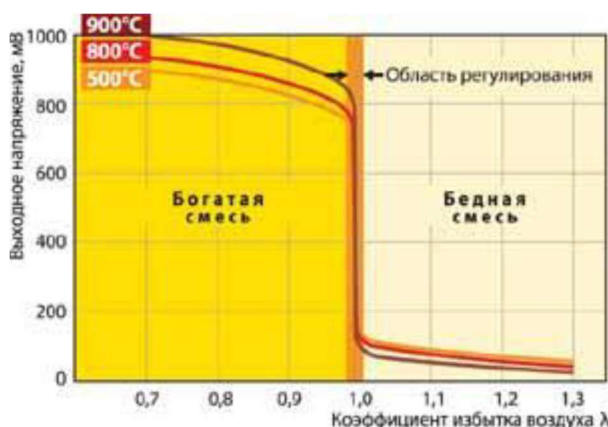


Рисунок 3 – «Триггерный» характер температуры 300 – 400°C

Обычно рабочая зависимости напряжения зонда от температура составляет от 350 до 850°C. Исключительно в этих условиях циркониевый электролит получает проводимость, а разница в количестве атмосферного воздуха и кислорода в выхлопной трубе приводит к появлению на контактах датчика выходного напряжения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.

1. *Крива В.В., Береснев А.Л.* Оптимизация процесса горения топливовоздушной смеси по цвету пламени. <https://elibrary.ru/item.asp?id=26424364>
2. *Береснев А.Л., Береснев М.А.* Увеличение эффективности двс в составе подвижных объектов. Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. № 11 (160). С. 110-118. <https://elibrary.ru/maintenance.asp>
3. *Береснев А.Л., Береснев М.А., Быстрицкий А.В.* Исследование возможности управления двс во время детонационного горения части топливно-воздушной смеси. Известия юфу. технические науки. 2018. № 6 (200). с. 164-174 <https://elibrary.ru/maintenance.asp>
4. Лямбда-зонд неисправности Влияние на запуск и обороты двигателя. М Кулибина 7 февраля 2017 г. <http://365cars.ru/remont/lyambda-zond-priznaki-neispravnosti.html>

УДК 621 316 722

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОННОЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ОБОРУДОВАНИЯ

Костюков В.А., Веревкин А.Л., Очнев П.Г., Сидоренко С.Ю., Веревкина Л.С.

Южный федеральный университет, ИРСУ, Таганрог

Электронная релейная защита оборудования от токов короткого замыкания и перегрузки вытесняет электромеханические реле. Надежность работы электронных реле РСТ-40, РСТ-40В, РСТ-41В, РСТ-42, РСТ-42В зависит от многих факторов, в том числе и от схемы включения и числа циклов срабатывания. В статье разработана матричная модель интенсивности отказов реле с учетом всех вариантов схем включения.

Конструкция этих реле унифицирована в корпусе "Сура" [1]. Элементы установлены на основании защищенном съемным прозрачным кожухом. У основания есть две металлические скобы, к одной из которых крепится трансформатор тока ТА1 (для двухфазного реле – два трансформатора), к другой скобе крепится две платы, а для реле с выдержкой времени – три платы с элементами. Переменный резистор предназначенный для регулировки уставок срабатывания по току закреплён на лицевой панели. Ручка переменного резистора выведена наружу. Переключатель уставок по времени, выходит регулируемой частью наружу, а светодиод индикации запуска выдержки времени (для реле с выдержкой времени), тоже наружу.

Шкала реле уставок по току – двукратная и имеет шесть цифровых делений, с равными интервалами уставок. Шкала уставок по току соответствует последовательному соединению секций первичных обмоток трансформаторов. При параллельном соединении секций первичных обмоток трансформаторов

значения токов срабатывания, шкалы уставок удваиваются. На лицевой панели реле изображены переключения на два диапазона уставок и переводные множители от шкалы к действительному значению уставок.

Принцип действия поясняется схемами электрическими функциональными реле РСТ-40, РСТ-40В, РСТ-41В, РСТ-42, РСТ-42В приведенными на рис. 1 [1], на котором обозначены: ТА – трансформатор тока; П – электронный преобразователь; VS1, VS2 – выпрямительные мосты; К – компаратор; R1 – балластный резистор; В – элемент выдержки времени; БП – блок питания; KL1, KL2 – выходные реле.

Реле состоит промежуточных трансформаторов тока ТА1, ТА2, выпрямительных мостов VS1, VS2, низкоомного резистора R1, сравнивающей части – электронного преобразователя П и компаратора К, органа выдержки времени В и выходного реле KL1.

Изменять уставку по току срабатывания в пределах одного диапазона можно плавно, ручкой переменного резистора на лицевой панели реле. Переключать диапазоны осуществляется можно последовательным или параллельным включением секций первичных обмоток трансформаторов ТА1, ТА2.

Изменение уставок по времени дискретное – ступенями равными минимальной уставке. Полный диапазон регулирования уставок по току срабатывания реле – от I_{min} (минимальная уставка при последовательном соединении секций первичной обмотки) до $4I_{min}$ (максимальная уставка при параллельном соединении секций первичной обмотки).

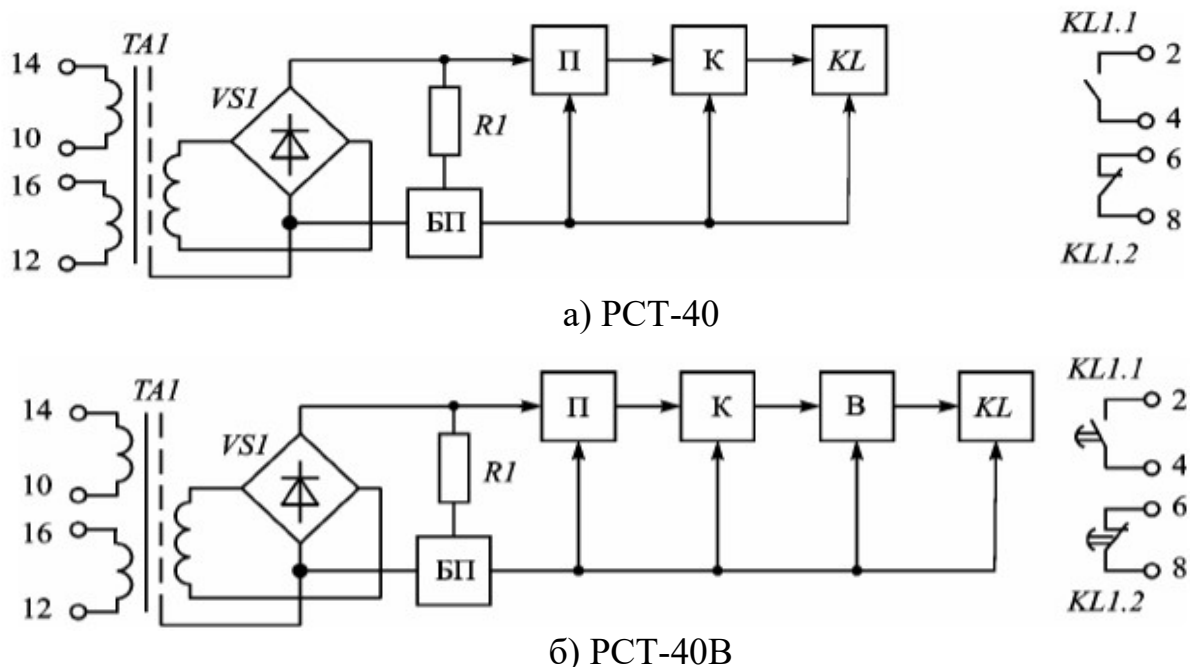
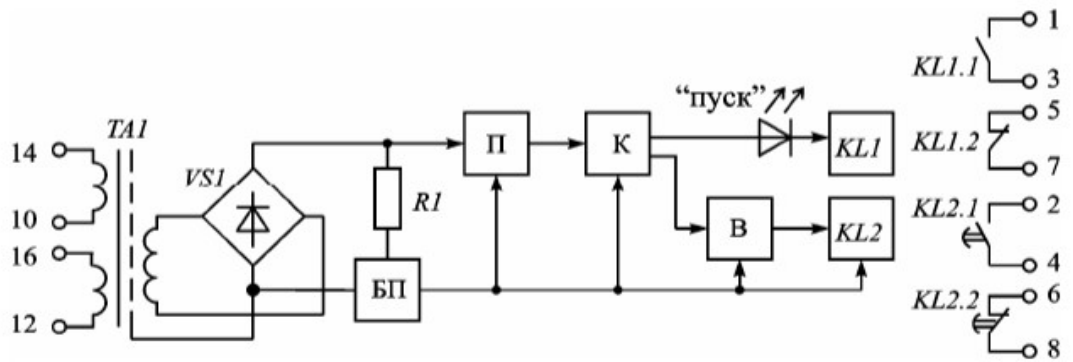
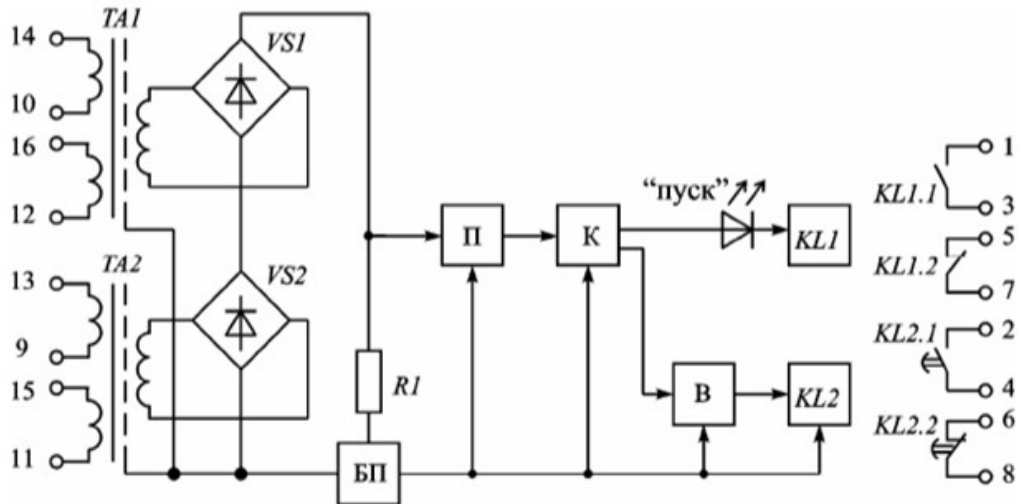


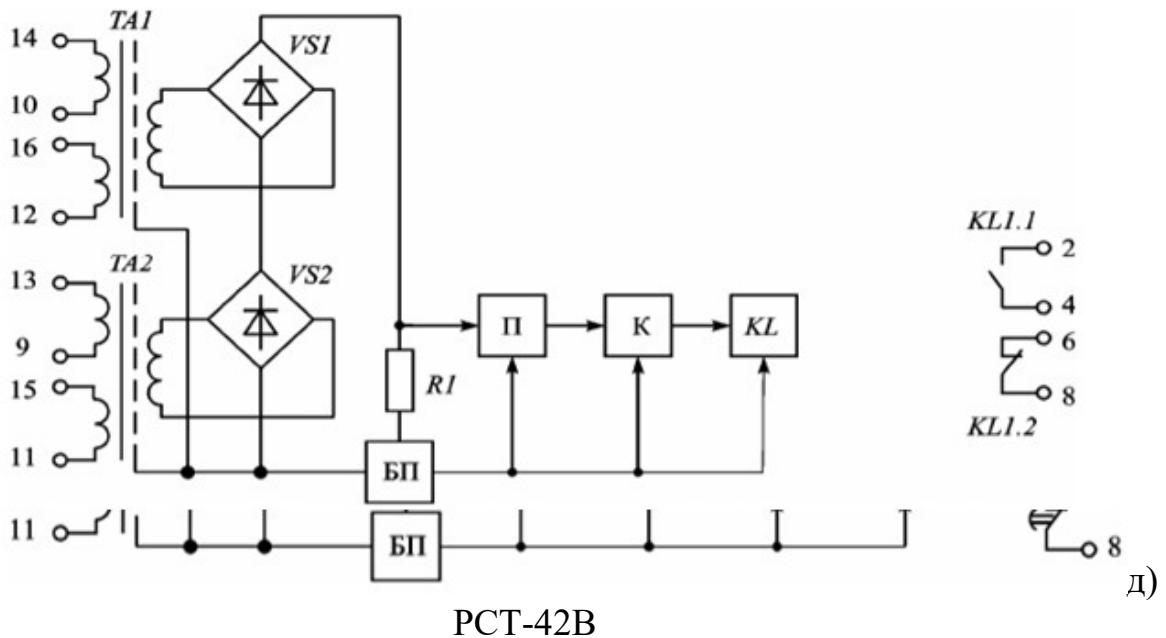
Рис. 1 – Схемы электрические функциональные реле максимального тока серий РСТ-40, РСТ-40В, РСТ-41В, РСТ-42, РСТ-42В



в) PCT-41B



г) PCT-42



PCT-42B

Рис. 1 (продолжение) – Схемы электрические функциональные реле максимального тока серий PCT-40, PCT-40B, PCT-41B, PCT-42, PCT-42B -

При отсутствии входного тока напряжение питания отсутствует, и схема обесточена пассивна). При появлении входного тока (около 30% от минимальной уставки) блок питания БП переходит в режим стабилизации, схема готова к действию. Компаратор К находится в несработанном состоянии. Если входной ток больше уставки срабатывания реле, то выходное напряжение П достигает порога срабатывания компаратора К, на выходе которого появляется напряжение низкого уровня отрицательного насыщения и на вход элемента В поступает сигнал, который на запускает установленную выдержку времени, по истечении которой срабатывает выходное реле КЛ.

Светодиод индикации запуска выдержки времени, у реле с выдержкой времени, светится после срабатывания компаратора К и выключается после окончания отсчета выдержки времени и срабатывания выходного реле КЛ.

Питание схемы реле осуществляется от блока питания БП, питающегося от входного тока через выпрямительный мост VS1. Функционально блок питания БП состоит из сглаживающего фильтра, параметрического стабилизатора и схемы защиты при больших кратностях входного тока.

Требования по надежности электронных реле РСТ-40, РСТ-40В, РСТ-41В, РСТ-42, РСТ-42В приведены в руководстве по эксплуатации следующие:

- средняя наработка на отказ реле должна быть не менее 12500 циклов;
- средний ресурс должен быть не менее 100 000 циклов ВО;
- средний срок службы реле должен быть не менее 12 лет.

Интенсивность опасных отказов реле должна быть не более $1,4 \cdot 10^{-11}$ 1/ч [2].

Критерий опасного отказа реле - самопроизвольное замыкание или неразмыкание замыкающего контакта реле при отсутствии тока в обмотке реле или снижении его до меньшего тока отпуская якоря реле. Требуется знать интенсивность отказов этих реле для планирования ремонтов и своевременной замены их. А рассчитывать число срабатываний не представляется практически возможным.

В общем виде модель интенсивность отказов рассчитывают о формуле [3]:

$$\lambda_i = \prod_i K_i \cdot \lambda_{0i},$$

где $\prod_i K_i$ - произведение всех учитываемых коэффициент жёсткости условий эксплуатации. Численные значения коэффициентов нагрузки K_i для элементов выбираются из справочника [4] с учетом условий и ограничений; λ_{0i} – интенсивность отказов базового (прототипа и аналога) элемента при нормальных условиях.

Для одновременного моделирования всех схем электронных реле рис.1 составим табл. 1 числа элементов для каждого типа реле.

Для моделирования надежности электронных реле всех пяти схем построим матрицу числа элементов для схем $j=5$ реле согласно табл. 1 затем необходимо транспонировать эту матрицу и умножим трансформированную матрица $[J]^T$ на матрицу $[\Lambda_{0i}]$ интенсивности отказов каждого элемента в схеме реле

$$\Lambda_j = [J]^T * [\Lambda_{0i}] = \begin{bmatrix} k_{11}n_{11} & k_{11}n_{11} & \dots & k_{1i}n_{1i} \\ k_{21}n_{21} & k_{22}n_{22} & \dots & k_{2i}n_{2i} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{j1}n_{j1} & k_{j2}n_{j2} & \dots & k_{ji}n_{ji} \end{bmatrix}^T * \begin{bmatrix} \lambda_{01} \\ \lambda_{02} \\ \dots \\ \lambda_{0i} \end{bmatrix},$$

$$\text{при } k_{ji} = 1 \quad \Lambda_j = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 2 & 2 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 2 & 2 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 2 \\ 1 & 1 & 2 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 4 & 4 & 8 & 4 & 8 \end{bmatrix}^T * \begin{bmatrix} \lambda_{01} \\ \lambda_{02} \\ \dots \\ \lambda_{0i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 4 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 4 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 2 & 1 & 8 \\ 2 & 1 & 2 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 4 \\ 2 & 1 & 2 & 1 & 1 & 1 & 2 & 2 & 1 & 8 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \lambda_{01} \\ \lambda_{02} \\ \dots \\ \lambda_{0i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Lambda_1 \\ \Lambda_2 \\ \Lambda_3 \\ \Lambda_4 \\ \Lambda_5 \end{bmatrix}.$$

Таблица 1
Исходные данные для модели

Обозначение	Наименование элемента	Количество n _i , шт.				
		PCT-40	PCT-40B	PCT-41	PCT-42	PCT-42B
ТА	Трансформатор тока	1	1	1	2	2
П	Электронный преобразователь	1	1	1	1	1
VS1, VS2	Выпрямительные мосты	1	1	1	2	2
К	Компаратор	1	1	1	1	1
R1	Балластный резистор	1	1	1	1	1
В	Элемент выдержки времени	0	1	1	0	1
БП	Блок питания	1	1	1	1	2
KL1, KL2	Выходные реле	1	1	2	1	2
«Пуск»	Светодиод	0	0	1	0	1
1...8	Контакты	4	4	8	4	9

Чтобы рассчитать наработку на отказ каждой схемы реле необходимо матрицу интенсивности отказов каждой схемы реле возвести в минус 1 степень.

$$[\Lambda_j] = \begin{bmatrix} \Lambda_1 \\ \Lambda_2 \\ \Lambda_3 \\ \Lambda_4 \\ \Lambda_5 \end{bmatrix}, \text{ а наработка на отказ } T = [\Lambda_j]^{-1} = \begin{bmatrix} 1/\Lambda_1 \\ 1/\Lambda_2 \\ 1/\Lambda_3 \\ 1/\Lambda_4 \\ 1/\Lambda_5 \end{bmatrix}$$

В матрице интенсивности отказов устройства $[\Lambda_j]$ для разных j схем реле учтены функциональное назначение, режим работы и условия эксплуатации элементов, уровень качества и надежности.

При необходимости учитывать число срабатывания контактов, которое для реле ограничено предлагается использовать модели интенсивности отказов магнитоуправляемых контактов

$$\Lambda_{\text{реле}} = (\lambda_{0L} * K_{PL} * K_F * K_{\Pi} + \lambda_{0 \text{ конт}} * F * K_r * K_k * K_{\Pi}) K_{\Sigma},$$

где $K_{\Pi} = 5$ коэффициент жесткости для приемки ОТК;

K_{Σ} – коэффициент условий эксплуатации, группы механического исполнения ГОСТ 17516.1-90;

K_F – коэффициент зависит от числа коммутаций в час F ($K_F = 0,1$ при $F \leq 1$, $K_F = F/10$ при $F > 1$);

K_k – коэффициент учитывающий влияние на надежность реле количества задействованных контактов N рассчитывается по формуле $K_k = 0,42 + 0,24 N$;

$\lambda_{0L} = 0,01 * 10^{-6} 1/\text{ч}$ – интенсивность отказов катушки электромагнита, как у дросселя;

$\lambda_{0 \text{ конт}}$ – интенсивность отказов контактов, определяют для средней наработки на отказ реле в циклах срабатывания (учитывают число и тип контактов) и справочным значениям интенсивности отказов для одного срабатывания:

– для контакта замыкающего $0,0007 * 10^{-6} 1/\text{ч}$ на одно срабатывание;

– для контакта переключающего $0,018 * 10^{-6} 1/\text{ч}$ на одно срабатывание;

При приближенном расчете интенсивность отказов реле можно принимать равным $0,034 * 10^{-6} 1/\text{ч}$ на одно коммутацию.

K_r – коэффициент учитывающий влияние температуры определяют по формуле

$$K_r = A * \exp\left[\left(\frac{t_{\text{окр}} + 373}{N_T}\right)^G\right] \exp\left[\left(\frac{K_H}{N_S}\right)^H\right]$$

где $t_{\text{окр}}$ – температура окружающей среды, $^{\circ}\text{C}$;

K_H – коэффициент нагрузки реле по коммутируемому току $I_{\text{раб}}/I_{\text{ном}}$.

A, N_T, G, N_S и H коэффициенты даны в [5].

$$K_{rL} = 0,46 + 0,12 (t_{\text{окр}} - 50)^{1,3} + 0,54 K_i^{3,5} \exp 0,2 (t_{\text{окр}} - 50)^{0,8},$$

где K_i – коэффициент нагрузки по току $I_{\text{раб}}/I_{\text{ном}}$;

$t_{\text{окр}}$ – температура окружающей среды, $^{\circ}\text{C}$;

Вывод. Рассмотренные модели нескольких схем электронных реле позволяют учитывать их функциональные особенности, которые существенно влияют на интенсивность отказов и наработку на отказ электронной защиты. В моделях предлагается учитывать число элементов и тип и число контактов, нагрузку и влияние температуры. Приведенная модель надежности с учетом условий эксплуатации позволяет правильно и более точно определять профилактические и ремонтные работы релейной защиты.

Статья выполнена в рамках гранта РФФИ №18-08-00473 а, от 25/12/2018 на тему: «Разработка и исследование методов оптимизации и управления процессами преобразования энергии в силовых установках комплексного типа, в том числе преобразующими поток сплошной среды».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Реле максимального тока серий РСТ-40, РСТ-40В, РСТ-41В, РСТ-42, РСТ-42В. Руководство по эксплуатации РГАП.648231.004РЭ.

2 ГОСТ 32668-2014 Реле безопасные, релейные блоки и штативы. Общие технические условия.

3 *Пишихов В.Х., Веревкина Л.С., Веревкин А.Л...* Проектирование электротехнических устройств: Учебное пособие. Часть 1. Стадии проектирования. Техническое задание. – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2013.-50с.

4 *Веревкина Л.С., Полуянович Н.К., Веревкин А.Л. и др.* Учебное пособие для практических занятий «Оценка надежности и ремонтпригодности электрооборудования многофункциональных, многоканальных и групповых систем» – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2019.- 77с.

5 *Боровиков С. М., Цырельчук И. Н., Троян Ф. Д.* Расчёт показателей надёжности радиоэлектронных средств: учеб.-метод. пособие / Под ред. С. М. Боровикова. – Минск : БГУИР, 2010 – 68 с.

УДК 656.131

СХЕМА И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ГИБРИДНОГО АВТОМОБИЛЯ

Дубовский В.С., Склифус Р.В.

Политехнический институт (филиал) ДГТУ в г. Таганроге, г. Таганрог

Перспективным направлением решения задачи повышения экологической чистоты и экономичности транспортных средств на сегодняшний день можно считать применение гибридных силовых установок, как показано на рис.1. Такая силовая установка включает в себя, помимо основного двигателя внутреннего сгорания (ДВС), вспомогательный двигатель и контур рекуперации энергии.

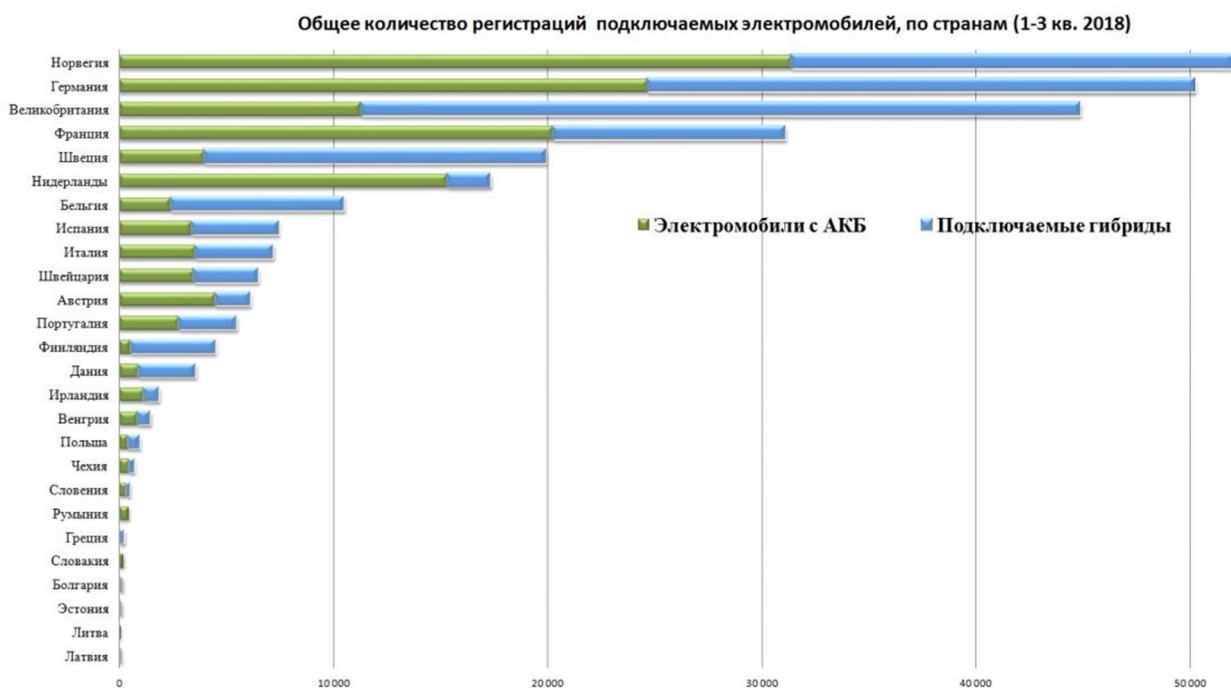


Рисунок 1 – Современное состояние повышения экологической чистоты и экономичности транспортных средств

Основным источником ГСУ может выступать дизельный, бензиновый, газовый или мульти-топливный двигатель (см. рис.2). Контур рекуперации энергии включает в себя генератор, преобразователь энергии, инвертор и аккумуляторные батареи, для рассматриваемого нами случая ГСУ в составе ДВС и ЭД.

Важнейшим ключом к управлению ГСУ является распределитель мощности между ходовой частью, основным двигателем и контуром рекуперации энергии. Только качественная и точно отлаженная оптимизация этого процесса окажет существенное влияние на эффективную работу ГСУ в автомобиле.

Схемы построения ГСУ обычно делятся на 3 вида: последовательная, параллельная, смешанная. Использование смешанной схемы привода ведущих колес, в зависимости от условий движения, может производиться от вспомогательной системы (ЭД) или от основного источника энергии (ДВС). Именно в такой архитектуре возможно достичь максимальных показателей оптимизации.

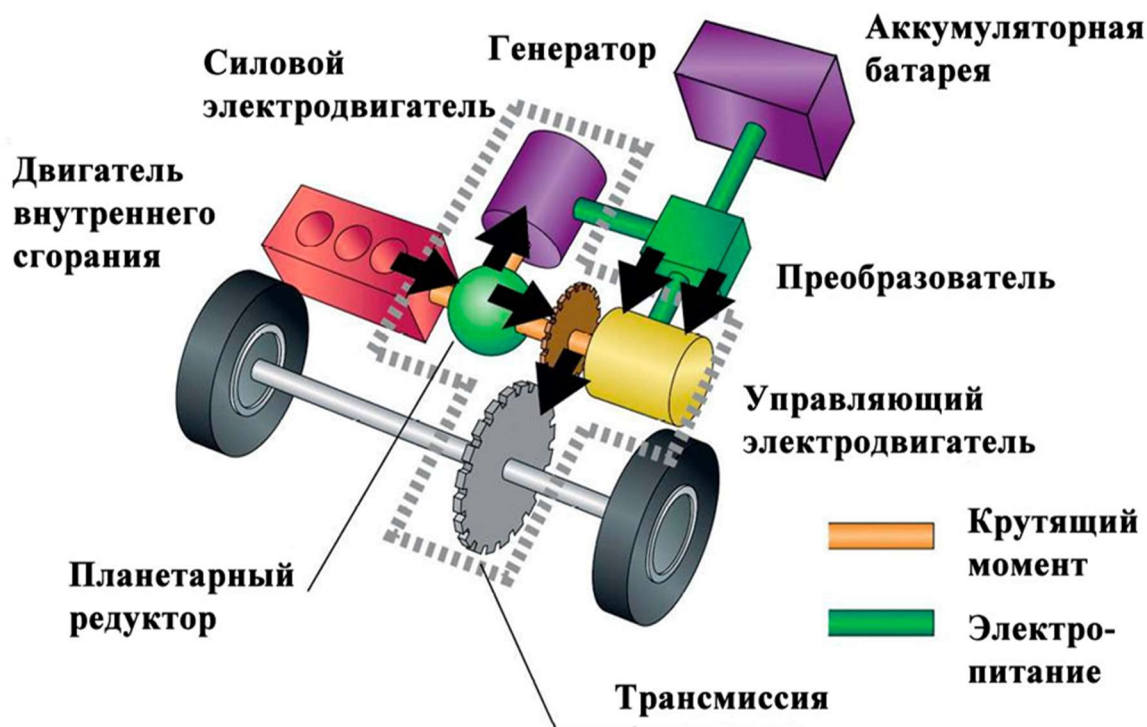


Рисунок 2 – Гибридная схема автомобиля

Формулируя задачи об оптимизации работы автомобиля с ГСУ можно выделить следующую иерархию:

1. Стабильный переход в различных режимах работы автомобиля. Учитывая факт того, что водитель и/или пассажиры автомобиля не должны “чувствовать” переход между различными режимами работы ДВС и ЭД

2. Автоматический выбор распределения режима потока энергии между основными узлами автомобиля, в зависимости от режима работы, текущего состояния силовой установки, управляющих и внешних воздействий (пример. Изменение режима работы ГСУ при изменении угла наклона дороги). При этом требуется получить экономичный режим работы ДВС, и достаточно большой запас энергии в накопителях, для противодействия пиковым нагрузкам в машине. А зарядка накопителей должна происходить при наличии избыточной мощности ДВС или режимом рекуперации энергии во время торможения.

3. Обеспечение возможности ремонта, обслуживания или замены выходящих/изношенных узлов и модулей ГСУ в процессе эксплуатации автомобиля, без дополнительных средств и методов отличных от ТС с классическим ДВС.

4. Обеспечение водителя автомобиля удобным, простым и понятным интерфейсом, имитирующим управление транспортным средством с традиционной силовой установкой. А так же возможность получения обратной связи электронного блока управления и водителя о состоянии и режиме работы ГСУ.

Центральным элементом ГСУ является комбинированный микропроцессор, представляющий собой новую ступень эволюции традиционного ЭБУ. Основной задачей комбинированного микропроцессора является контроль работы главного источника энергии (ДВС) в диапазоне оборотов с минимальным удельным расходом топлива при любых скоростных и мощностных нагрузках автомобиля.

В мировом опыте создание гибридных автомобилей можно условно выделить самый популярный автомобиль. Toyota prius с 1997 года было выпущено более 360000 единиц в трех поколениях. В каждом поколении этой модели применялась именно компановка “сплит”.

В наиболее удачной версии этой модели был установлен 1.5 литровый бензиновый атмосферный мотор, мощность которого составляет 43кВ. Данный двигатель работает по циклу Аткинсона, который характеризуется переменной степенью сжатия. Он оснащён двумя распредвалами и системой изменения фаз газораспределения., электронным управлением и распределенным впрыском. Обратимый генератор-мотор (используется для плавной системы старт-стоп в ДВС) планетарного делителя мощности, который служит для распределения усилия между источниками и потребителями. В качестве накопителя энергии служат никель-металлогидридная батарея из 40 банок по 240 Ампер-часов. Расход топлива в городском цикле на замерах составил 3.6 литра/100км, что меньше на 40%, чем у одноклассника Toyota Corolla со схожим ДВС. Оба двигателя через согласующий редуктор передают крутящий момент на ведущие колеса. Установленный за ДВС планетарный механизм разделяет поток крутящего момента на два направления. Один идёт на главную передачу, а второй, соответственно, на генератор переменного тока, который через преобразователь питает энергоноситель (батареи), из которого при необходимости берется дополнительная энергия для обеспечения работы 30кВ синхронным мотором, генератором переменного тока.

В рассмотренном нами автомобиле существует 5 режимов работы:

1. Начало движения, трогание с места, движение на скорости до 16км/ч. Используется при возможности только электромотор.

2. При нормальном движении планетарный механизм наводит один поток мощности на ведущие колеса, а второй на работы генератора, аккумуляторы бездействуют.

3. Разгон с максимальной мощности. Работа механизма, как и во втором случае. За исключением того, что энергия для ЭД берется из запасенной в аккумуляторных батареях. Стоит подчеркнуть, что доля крутящего момента ЭД в суммарной мощности сильно возрастает, работу электромотора непрерывно регулирует комбинированный микропроцессор.

4. Торможение. Накопленная кинетическая энергия движения автомобиля преобразуется в обратимой электромашине, которая работает, как генератор, в электрическую, которая проходя через преобразователь рекуперирована в накопитель.

5. Зарядка. При работе только ДВС.

При остановке ТС, и полностью заряженных батареях ДВС заглушается автоматически.

В гибридной трансмиссии не последнюю роль играет планетарный редуктор, регулирующий направление потоков мощности. Обойма шестерен-сателлитов (водило) напрямую соединена с коленчатым валом ДВС, а центральная шестерня (солнечная) с отдельным генератором. В зависимости от требований управляющего микропроцессора ленточный тормоз остановит любое из звеньев редуктора.

Результаты испытаний показали, что гибридный автомобиль показывает наиболее рациональный расход топлива и энергоговооруженность, в сравнении с классическим ДВС. При этом запас хода гибридного автомобиля ограничивается лишь запасом топлива в топливном баке.

Результаты мирового опыта использования ГСУ показывают, что выбранное направление развития автотранспорта верно. И в будущем возможно увеличение КПД в ГСУ, при дальнейшей оптимизации системы и подборе высокотехнологичных материалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бенда Д. Электроника. // Поиск неисправностей в электрических схемах. – 2018. – 9 (31). – С.57
2. Бахмутов С.В., Карунин А.Л., Круташов А.В., Ломакин В.В., Селефонов В.В., Карпунин К.Е., Баулина Е.Е., Урюков Ю.В. Конструктивные схемы автомобилей с гибридными силовыми установками// Учебное пособие. – М.: МГТУ «МАМИ», 2007 — С.71
3. Филькин Н.М., Усцов В.О., Копотев Д.А. Разработка системы управления гибридного легкового автомобиля//Научный журнал «Успехи современного естествознания» №4,2008 г.
4. Петленко Б.И., Иньков Ю.М., Крашенинников А.В. Электротехника и электроника.// Учебник для студенческих учреждений. Издательский центр «Академия» 2017.–С.17

УДК 62-632.5

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭТАНОЛА В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА НА КЛАССИЧЕСКИХ ДВС

Дмитриева И.А., Ганноченко А.В., Наконечный Д.А.
 Политехнический институт (филиал) ДГТУ г. Таганроге

Статья посвящена исследованиям и оптимизации работы ДВС на этиловом спирте. Произведены расчеты необходимых изменений для оптимизации работы ДВС на этаноле. Проведены сравнения рабочих характеристик работы ДВС на классическом топливе(бензине и дизельном

топливе), и на этаноле, а так же этилированных бензинов (смеси бензина и этанола).

Введение и постановка задачи. Задачей исследования является разработать оптимальную программу работы ДВС на этаноле, так как постоянно повышаются требования экологических норм. Двигатели становятся более сложными, дорогими, менее надёжными. Задачей этой работы является оптимизация процессов ДВС на этаноле, для улучшения характеристик двигателя, улучшения надёжности двигателя, и снижения его стоимости, так как изменения конструкции ДВС, останутся несущественными, и потребуют небольших средств.

Дизельный ДВС и его использование на метаноле и этаноле.

К спиртовым топливам можно отнести метанол и этанол. Они получили наибольшее распространение в качестве моторного топлива. Метанол (метилловый спирт) или древесный спирт представляет собой бесцветную воспламеняющуюся жидкость со слабым спиртовым и чуть острым запахом. Хорошо смешивается с водой [1].

Этанол (этиловый спирт, метилкарбинол, винный спирт, спирт) C_2H_5OH , или CH_3-CH_2-OH второй представитель гомологического ряда одноатомных спиртов.

Важная особенность этанола – способность выдерживать ударные нагрузки без взрыва, т.е. он обладает антидетонационными свойствами, из-за этого этанол гораздо предпочтительнее добавок из тетраэтилсвинца [2].

Превосходные свойства этанола, как горючего обеспечивают двигателям 20%-е увеличение мощности по сравнению с чистым бензином. Массовая плотность и теплотворная способность этанола ниже, чем бензина, соответственно, теплота сгорания (24 МДж/м³) на 40% ниже, чем бензина (39 МДж/м³). Однако, лучшее горение этанола компенсирует это уменьшение теплотворной способности. При этом двигатели потребляют примерно одинаковое количество газохолода и бензина [1,2].

Топливный биоэтанол почти не содержит воды (его концентрация 99,8%). Поэтому в технологии используется дополнительное обезвоживание при помощи молекулярных сит.

Топливо из смеси бензина с этанолом уменьшает образование нагара и снижает количество вредных веществ в двигателе автомобиля, сохраняя двигатель чистым и обеспечивая оптимальную его работу.

В двигателях внутреннего сгорания может применяться 95%-й и обезвоженный 100%-й этанол. При сжигании 95%-го этанола требуется некоторая модернизация карбюратора. Смесь бензина с 20–22% обезвоженного этанола, называемую газохолом, используют в обычных карбюраторных двигателях [3]. Добавки спирта освобождают от необходимости введения в бензин такого антидетонатора, как свинец.

Этанол прекрасно горит, выдерживает ударные нагрузки без взрыва. Его октановое число равно 108 (по исследовательскому методу) [2].

Этанол способствует снижению образования парниковых газов, выбросов котельных и автомобильных выхлопов, токсических веществ и аэрозолей в атмосферу. Это эквивалентно исчезновению 1 миллиона автомобилей с дорог каждый год.

Использование 10%-й смеси этанола снижает выброс парниковых газов на 12–19% по сравнению с обычным бензином. Этанол снижает выброс оксида углерода на 30% (даже в новых автомобилях), твердых частиц – на 50%, уменьшает образование вторичной пыли, количество ароматических углеводородов в бензине. Токсичность отработавших газов снижается на 21% [3].

Недостатком применения спиртов, как топлива для дизелей являются их низкие цетановые числа (для метанола – 5, для этанола – 8) и теплота парообразования, более чем в 4 раза превышающая теплоту парообразования дизельного топлива, что приводит к большой продолжительности задержки воспламенения, а также к затруднению пуска дизеля. Помимо указанных выше недостатков использование спиртов в дизелях затрудняется из-за их плохих смазывающих свойств, что ведет к повышенному износу топливной аппаратуры. В связи с высокой коррозионной активностью элементы топливной системы двигателя, изготовленные из легких сплавов и неметаллических материалов, должны быть заменены. Так как низшая теплота сгорания спиртов ниже нефтяного топлива, то и расход его увеличится в 1,5 раза. В связи с облегчением топлива повышается шумность дизеля [1,2].

Просто заменить дизельное топливо на спирт в штатной топливной системе дизеля невозможно. Необходимо компенсировать изменение свойств этих топлив. В настоящее время найдены разнообразные способы применения спиртов в качестве топлив для дизелей: растворы и эмульсии спиртов в дизельном топливе; карбюрирование или впрыскивание спирта во впускную систему, а дизельного топлива – в цилиндр; впрыскивание спирта и запального топлива в цилиндр; конвертация дизеля в двигатель с внешним смесеобразованием и принудительным зажиганием; впрыскивание спирта с присадкой, повышающей цетановое число [2]. При использовании эмульсии метилового спирта в дизельном топливе наблюдается снижение содержания сажи и твердых частиц в отработавших газах дизеля, что является следствием повышенного содержания кислорода в спирте. При использовании спирта температура отработавших газов снижается, соответственно, уменьшаются выбросы NO_x . Содержание CO остается на уровне работы на дизельном топливе. Наблюдается незначительное повышение CO_2 и C_nH_m . Также спиртам при сгорании свойственны повышенные выбросы альдегидов (формальдегиды для метанола и альдегиды для этанола). Но тем не менее спирты возможно получать из возобновляемых источников, и они расширяют спектр топлив для дизелей [2].

Бензиновый ДВС и его использование на метаноле и этаноле

А вот для работы бензинового ДВС на чистом спирте требуется увеличение объема топливного бака и степени сжатия до 13–16 ед., чтобы полностью использовать детонационную стойкость топлива и регулировка карбюратора или перепрограммирование ЭБУ двигателя. Горючую смесь

необходимо немного обогатить: для сгорания 1 кг спирта требуется 9 кг воздуха, а для сгорания 1 кг бензина – 14,73 кг [3].

Низкое давление насыщенных паров и высокая теплота испарения спирта делают практически невозможным запуск бензиновых двигателей уже при температуре окружающей среды ниже +10°C. Для улучшения пусковых качеств в спирт добавляют 4 – 6% изопентана (C₅H₁₂) или 6 – 8% диметилового эфира (CH₃-O-CH₃ или C₂H₆O), что обеспечивает нормальный пуск двигателя при температуре от –25°C и выше.[3] Для этой же цели спиртовые моторы оборудуют специальными пусковыми подогревателями. В случае неустойчивой работы двигателя при повышенных нагрузках (из-за плохого испарения спирта) применяется дополнительный подогрев топливной смеси с помощью, например, отработавших газов [2].

Выводы: Разработаны и оптимизированы, и проанализированы процессы работы ДВС на этиловом спирте, и на классическом топливе ДВС. Произведены корректировки для правильной работы ДВС на этаноле и смеси бензина и этилового спирта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Брозе Д.Д.* Сгорание в поршневых двигателях. 1969. Машиностроение. С. 135-138.
2. *Алексеев В.П., Воронин В.Ф., Греков Л.В.* Двигатели внутреннего сгорания. 1990. Машиностроение. С. 173-180.
3. *Асмус Т.У., Боргнакке К., Кларк С.К.* Топливная экономичность автомобилей с бензиновыми двигателями. 1988. Машиностроение. С. 227-235.

УДК 621.315.3: 621.316.99

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСА КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Полуянович Н.К., Азаров Н.В., Огреничев А.В., Севастьянов Н.Д., Кезикова Е.Ю.

Институт радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, г. Таганрог

Статья посвящена исследованиям термофлуктуационных процессов в соответствии с теорией теплопроводности для решения задач диагностики и прогнозирования остаточного ресурса изоляционных материалов на основе неразрушающего температурного метода. Разработана нейросеть для определения температурного режима токоведущей жилы силового кабеля. Проведен сравнительный анализ экспериментальных и расчетных характеристик распределений температуры, при этом исследовались различные нагрузочные режимы работы и функции изменения тока кабеля. Анализ результатов показал, что чем больше время состаривания, тем больше разность температур между исходным и состаренным образцом. Мы полагаем, что это объясняется потерей электроизоляционных

свойств материала за счет накопления фрагментов разрушенной структуры, содержащей, все в большем количестве, включения чистого углерода и других токопроводящих включений.

Искусственный интеллект, нейронные сети, термофлуктуационные процессы, изоляционные материалы, прогнозирование, надежность систем энергоснабжения.

Введение и постановка задачи. Задачами исследования являются: – разработка интеллектуальной системы прогнозирования температуры жилы СКЛ для планирования режимов работы электросети с целью повышения надежности и энергоэффективности их взаимодействия с объединенной энергосистемой; – В связи с неустойчивостью энергосети при изменении режимных параметров работы, процесс прогнозирования пропускной способности сетей электроснабжения и обеспечение режимных параметров становится труднореализуемой задачей. Системы прогнозирования строятся на базе искусственного интеллекта с применением методов машинного обучения. Наиболее перспективным представляется метод искусственных нейронных сетей (ИНС), а для их обучения могут быть использованы в том числе открытые базы данных мониторинга энергетических систем и погодных явлений.

Прогнозирования термофлуктуационных процессов. Ресурс изоляционных материалов зависит от таких параметров как температура, ток, влажность [6-12.], 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. Помимо оценки пропускной способности к задачам мониторинга теплового режима относят оценку температуры жилы в режиме реального времени и своевременное предотвращение токовых перегрузок СКЛ, требуется прогнозирование температур жил кабелей в режиме реального времени. Последнее означает, что необходимо постоянно прогнозировать нагрев кабелей на некоторое время вперед, причем такое, чтобы была возможность принять меры по снижению нагрузки КЛ.

Для прогнозирования температуры жилы СКЛ а значит нагрузки в электроэнергетической системе можно воспользоваться методами описанными в [13]. Качество прогноза во многом зависит от выбранной математической модели [14]. Основной недостаток существующих методов прогноза нагрузки состоит в необходимости построения модели нагрузки, т. е. зависимости нагрузки от влияющих факторов, и постоянного ее уточнения. Другой недостаток состоит в неточном установлении соотношения между входными и выходными переменными, так как зависимости между ними нелинейные.

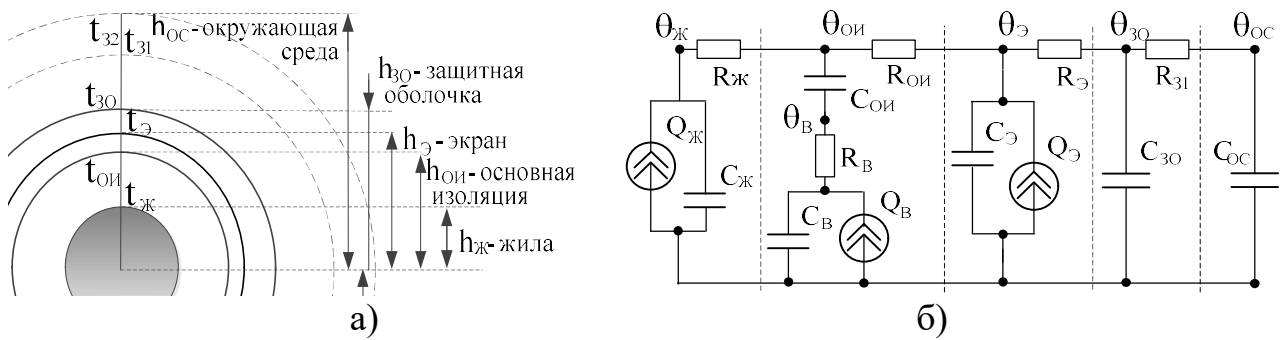


Рис. 1 – Сечение кабеля и его эквивалентная тепловая схема замещения

Входные переменные представляют собой название ввода СКЛ, ретроспективные данные о токе нагрузки, информацию о температуре окружающего воздуха, влажности и др. Выходные переменные – это температура жилы СКЛ определяемая нагрузкой на каждый час суток. Искусственная нейронная сеть [15] способна установить сколь угодно сложные соотношения между различными оперативно вводимыми, непрерывно изменяющимися исходными данными, что позволяет ей достаточно точно предсказать будущую температуру (пропускную способность СКЛ). ИНС – это совокупность нейронов, связанных между собой определенным образом.

Нейронные сети не программируются в привычном смысле этого слова, они обучаются [16-19]. Возможность обучения – одно из главных преимуществ нейронных сетей перед традиционными алгоритмами. Для определения температуры токоведущей жилы на основе температур внешней изоляции 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. В ходе исследований были получены экспериментальные данные, которые и были использованы для обучения программируемой сети. В качестве исходных параметров были определены: – ток жилы кабеля; – температура на поверхности кабеля; – температура окружающей среды.

Исходная выборка экспериментальных данных была изначально разбита на две группы:

- 1) обучающую выборку, для формирования прогнозной модели (изоляция СКЛ – без повреждений);
- 2) контрольную выборку, для оценки качества прогнозной модели (изоляция СКЛ – с повреждениями).

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.

Выбор типа сети. Существует несколько десятков различных нейросетевых архитектур, причем эффективность многих из них доказана математически. Для решения задач прогнозирования применяют следующие

типы ИНС: линейную сеть, многослойный перцептрон, сеть на радиальных базисных функциях, обобщенно-регрессионную сеть [8, 9]. 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 (задача) были использованы результаты измерения динамики температуры на защитной поверхности оболочки силового кабеля $\theta_{з.о.}$, и окружающей среды $\theta_{о.с}$ в широком диапазоне значений токов жилы силового кабеля от 450, А до 650, А. Размерность ИНС (число скрытых слоев и число нейронов в этих слоях) в каждом конкретном случае определялась экспериментальным путем. Во входном слое сети находятся 3 нейрона (число входных переменных), в скрытом слое – 10 (определены экспериментальным путем при настройке сети), в выходном – 1 (соответствует количеству необходимых выходных данных). Количество нейронов в скрытом слое определяется из условия достижения наибольшей точности прогноза при минимальных затратах вычислительных мощностей. Если число нейронов большое в скрытом слое, то нейронная сеть будет переобучаться, при этом способность к обобщению информации будет ухудшаться. Если число нейронов слишком мало, то затраты вычислительных мощностей будут минимальными, однако и точность прогноза будет не велика. Входными переменными являются значения, полученные с датчиков системы диагностирования. В качестве входных параметров выбраны ток, проходящий по жиле (X_1), температура внешней изоляции кабеля (X_2), номер кабеля (X_3). Выходным параметром является температура токоведущей жилы (Y_1). Разработанная конфигурация ИНС для прогнозирования температуры жилы СКЛ представляет собой многослойный перцептрон с прямым распространением сигнала.

Алгоритм определения и подстройки весовых коэффициентов. Для решения задачи прогнозирования ресурса кабельных линий выбран алгоритм обратного распространения ошибки, рис 2. На первой стадии происходит инициализация весов малыми случайными значениями (шаг 1). Обучение предполагается управляемым, поскольку с каждым входным образцом из обучающей выборки связывается целевой выходной образец обучающей выборки (шаг 2). Обучение происходит до тех пор, пока изменение усредненной квадратичной ошибки не окажется меньше некоторого допустимого значения при переходе от одной эпохи к следующей (шаги 3, 4). Если в процессе обучения наступает момент, когда ошибка попадает в рамки допустимых значений (шаги 5-8), говорят, что наблюдается сходимость. Другим критерием окончания обучения можно считать наступление момента, когда выход для каждого учебного образца оказывается в рамках допустимого отклонения от соответствующего целевого выходного образца [1]. Чтобы уменьшить вероятность того, что изменения весов приобретут осциллирующий характер,

вводится инерционный член (a), добавляемый в пропорции, соответствующей предыдущему изменению веса (шаг 8):

$$\Delta w_{ij}(n+1) = \eta \delta_j o_i + a \Delta w_{ij}(n).$$

Таким образом изменение веса на шаге $n+1$ оказывается зависящим от веса на шаге n [Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей. М., 2001. пар. с. 55-57].

Экспериментальные исследования. В статье моделирование нейронной сети для прогнозирования температуры жилы кабеля осуществлено с помощью Neural Network Toolbox в системе Matlab. Исследованы термофлуктуационные процессы в силовом кабеле АПв Пу г-1х240/25-10 при реальной диаграмме действующего значения тока жилы кабеля и разработанной модели прогноза с использованием искусственных нейронных сетей (ИНС) на ретроспективных данных температур исследуемого кабеля за 2015-2019 годы. Данные по температуре $\theta_{з.о.}$, $\theta_{о.с.}$ – защитной оболочки, окружающей среды (рис.1), получены в ходе работы с реальными образцами силового кабеля АПв Пу г-1х30/25-10. Для каждого значения тока жилы брались по 400 точек температуры $\theta_{з.о.}$, $\theta_{о.с.}$. В статье приведены результаты прогноза температуры жилы кабеля ($\theta_{ж}$), с помощью ИНС, для исследуемого образца №1. Средняя ошибка прогноза температуры жилы кабеля $\theta_{ж}$ при различных токах жилы (табл. 1) не превышает 13 %, что свидетельствует о возможности применения метода искусственных нейронных сетей для целей прогнозирования температуры жилы кабеля по температуре на поверхности $\theta_{з.о.}$, рис.1,б. Построены графики экспериментальной температуры исследуемых образцов и графики построенные на основе данных обучающей выборки и нейросети (рис. 5-8) на основе целевых и полученных данных для анализа погрешности нейросети при расчетах.

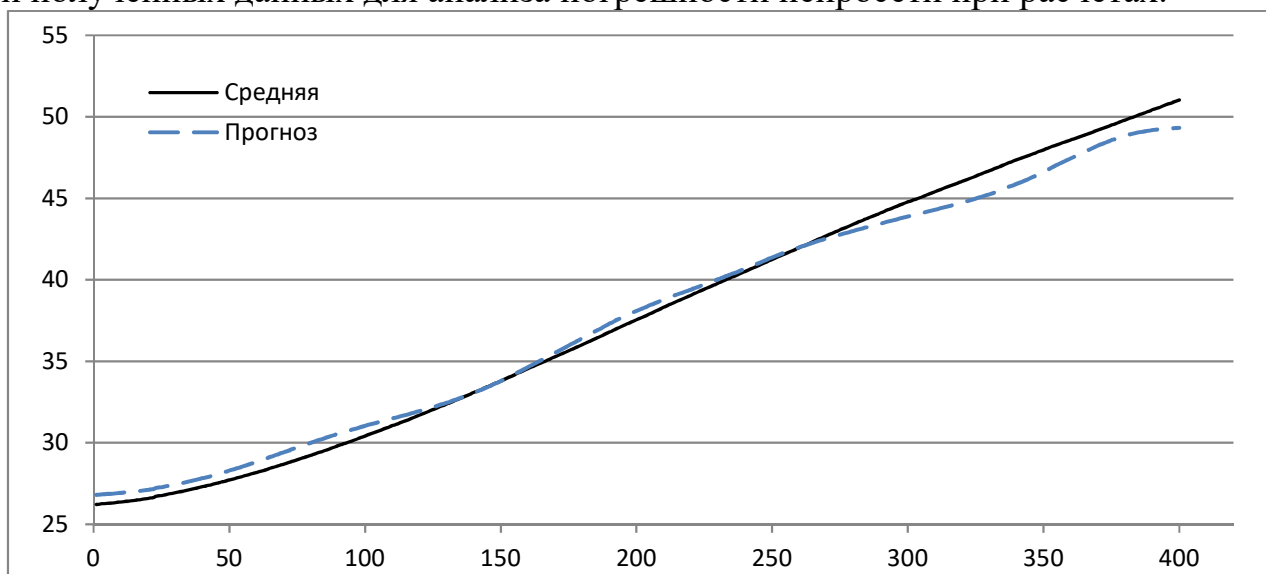


Рис. 5 – График экспериментальной температуры образца №1 и график построенный на основе данных обучающей выборки и нейросети.

Выводы: Разработана нейросеть для определения температурного режима токоведущей жилы силового кабеля. При анализе данных было определено, что максимальное отклонение данных, полученных от нейросети от данных обучающей выборки, составило менее 10% что является вполне приемлемым результатом. 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. *Полуянович Н.К.* Разработка алгоритма релейной защиты распределительной сети на основе математической модели. Известия ЮФУ. Технические науки. 2009. № 1 (90). С. 240-245.
2. *Dubyago M.N.* Mathematical description of interaction of the elements in the power network system. 2013 International Conference on Renewable Energy and Environmental Technology (ICREET 2013) Applied Mechanics and Materials Vols. 448-453 Trans Tech Publications, Switzerland. (2014) pp 2455-2460
3. *Дубяго М.Н.* Разработка модели старения и определение остаточного ресурса изоляции силовых кабелей // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – № 4 (153). С. 107-114.
4. *Дубяго М.Н., Полуянович Н.К. Пишихонов В.Х.* Оценка и прогнозирование изоляционных материалов силовых кабельных линий // Известия ЮФУ. Технические науки. №7 (168) июль. 2015 г. С–230-237
5. *Дубяго М.Н., Полуянович Н.К.* Метод селекции сигнала ЧР с помощью Вейвлет-преобразования. Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. № 2 (139). С. 99-104.
6. *Poluyanovich N.K., Dubyago M.N.* Study of characteristics of partial discharge for assessment of condition of electrical insulating materials of power supply system. 2013 4th International Conference on Applied Mechanics and Mechanical Engineering (ICAMME 2013), October 11-12, 2013, Singapore, Applied Mechanics and Materials Vols. 459 Trans Tech Publications, Switzerland (2014) pp 70-75.
7. *Poluyanovich N.K., Dubyago M.N.* Analysis of Insulation Materials of Cable Systems by Method of Partial Discharges. Advances in Materials Science and Applications, Mar. 2015, Vol. 4 Iss. 1, PP. 23-32.
8. *Poluyanovich N.K., Dubyago M.N.* Prediction of residual life of isolating materials in the process of thermal power equipment deterioration. International Conference on Advances in Energy, Environment and Chemical Engineering (AEECE 2015), September 26-27, 2015 in Changsha, China. Published by Atlantis Press, ISSN:2352-5401pp.49-54
9. *Poluyanovich N.K., Dubyago M.N.* 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)
10. *Poluyanovich N.K., Dubyago M.N.* 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/

11. *Poluyanovich N.K., Dubyago M.N.* Thermal processes of the isolating materials in problems of nondestructive diagnostics of the main and distributive power stations. EAI Endorsed Transactions on Energy Web and Information Technologies 18(16): e3. ж. SJR SCImago Journal & Coutry Rank

12. *Poluyanovich N.K., Dubyago M.N.* Estimation of Insulating Materials Depreciation and Forecasting the Residual Cable Resource Considering the Current Core Temperature. International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing vol. 7, no. 1, pp. 415-420, 2019.

УДК 621.396.67

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОПОЛОСКОВОЙ АНТЕННЫ НА ОСНОВЕ МЕТАМАТЕРИАЛА СО СТРУКТУРОЙ PBG

Ваганов И.А., Ваганова А.А., Кисель Н.Н.

Южный федеральный университет, ИРТСУ, Таганрог

Работа посвящена моделированию микрополосковой PIFA антенны на основе метаматериала. Расчет основных характеристик антенны выполнен в программе FEKO и приведены результаты сравнения полученных параметров для антенны без использования метаматериала и антенны аналогичной конструкции с добавлением метаматериала со структурой типа PBG.

Введение

Быстрое развитие систем сотовой связи приводит к необходимости миниатюризации мобильных систем, в том числе, уменьшения размера антенны мобильного устройства. В настоящее время в мобильных устройствах широко используются планарные микрополосковые антенны (PIFA – антенны), поскольку они компактны, просты в изготовлении, интегрируются в печатные схемы и имеют небольшой вес. Включение структур на основе метаматериалов в PIFA-систему позволяет сделать ее более компактной и преодолеть проблемы, возникающие при миниатюризации антенных систем в мобильной связи [1-7].

Существующие достижения в технологии печатных плат позволяют сделать процесс изготовления антенн достаточно простым и экономичным. PIFA с одним излучателем обеспечивает максимальное усиление в диапазоне 6–9 дБи, для повышения коэффициента усиления антенны можно использовать решетку из излучателей, расположенных на одной подложке, что делает антенну экономически выгодной. PIFA обладает низкими потерями по сравнению с другими антеннами, а согласование импедансов может быть выполнено путем изменения положения точки подачи питания. Недостатком планарной F-образной антенны является узкая полоса частот.

Планарные F-образные антенны применяются в различных беспроводных приложениях, где требуется антенна маленького размера, но обладающая высокой производительностью и расширенной полосой частот. Сферами применения PIFA являются сотовые устройства, биотелеметрическая связь, медицинские устройства, приложения WLAN и WIMAX для ноутбуков.

Несмотря на наличие разнообразных методов и инструментов моделирования, проектирование системы PIFA представляет собой актуальную проблему с точки зрения разработки эффективных микрополосковых антенн. В связи с этим, цель данной работы состоит в том, чтобы выполнить моделирование различных конструкций микрополосковых PIFA-антенн, в том числе, с использованием метаматериалов и сравнить полученные характеристики.

1. Моделирование антенны PIFA

В работе рассмотрено проектирование антенны PIFA, предназначенной для работы в диапазонах L и S: S-диапазон (2 ГГц – 4 ГГц) используется спутниковыми системами космического назначения, наземными и корабельными радарными, цифровым радио, мобильной связью стандарта UMTS, системами Wi-Fi и медицинскими приборами; L-диапазон (1 ГГц – 2 ГГц) используется в спутниковой навигации и мобильной связью стандарта GSM.

Конструкция антенны PIFA показана на рис. 1, а. Антенна состоит из излучателя (патча), плоскости заземления, короткозамыкающей стенки, системы подачи питания и тefлоновой подложки. Толщина подложки составляет 2 мм, а диэлектрическая проницаемость равна $\epsilon_r = 2,1$. Короткозамыкающая стенка, имеющая длину 25 мм и ширину 24 мм, размещается так, чтобы добиться согласования импедансов. Между подложкой и плоскостью заземления имеется воздушный зазор, который может влиять на резонансную частоту антенны. Высота воздушного зазора составляет 6 мм. Моделирование системы PIFA осуществляется в программе FEKO [8, 9]. Размеры PIFA приведены в таблице 1.

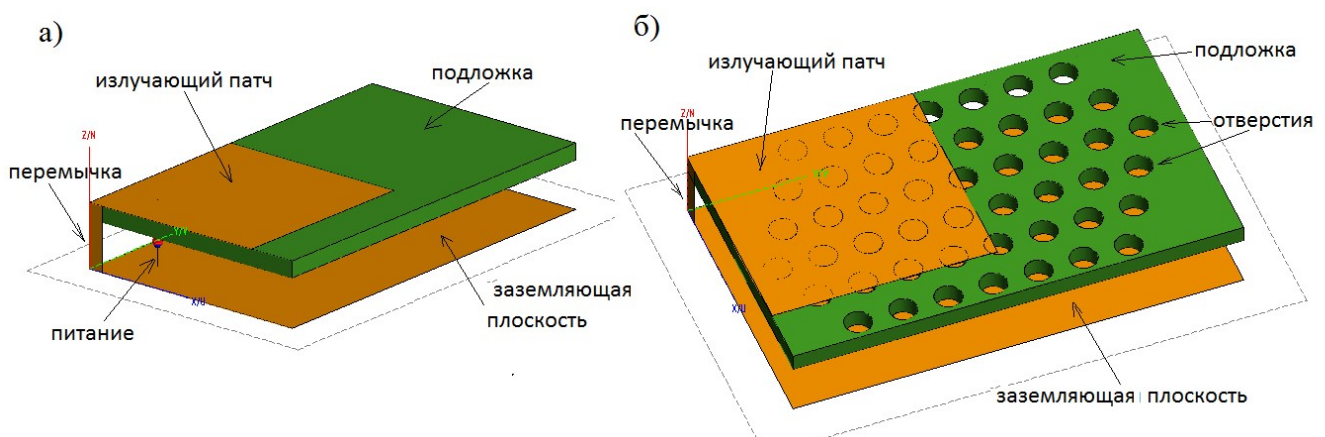


Рисунок 1 – Конструкции антенн: а) базовая PIFA б) PIFA на основе метаматериала

Таблица 1

Размеры антенны PIFA

Параметр	Значение [мм]
Ширина подложки, W	30
Длина подложки, L	50
Положение точки питания по оси Ox , f_x	5,5
Положение точки питания по оси Oy , f_y	5,6
Ширина излучающего участка, w	24
Длина излучающего участка, l	25
Высота подложки от земли, h	6
Толщина подложки, T	2

2. Моделирование антенны PIFA на основе PBG

Использование антенн PIFA со структурой PBG (photonic band gap – фотонная запрещенная зона) позволяет получить гораздо лучшие результаты по сравнению с обычной PIFA [3]. Работа PBG-структуры главным образом зависит от ее периодичности, структуры, используемого диэлектрика и повторяющихся расстояний между атомами. Такие структуры не позволяют электромагнитным волнам заданного диапазона частот распространяться в определенных направлениях в зависимости от конструкции антенны.

Конструкция антенны PIFA со структурой PBG показана на рис. 1, б. Структура PBG образована цилиндрическими воздушными отверстиями, прорезанными в тефлоновой подложке.

За основу берется конструкция антенны, показанная на рис. 1, а, параметры которой приведены в табл. 1. В месте расположения штифта питания отверстия отсутствуют, чтобы избежать влияния штифта. Каждое цилиндрическое воздушное отверстие имеет диаметр $d = 3$ мм, а периодичность, то есть расстояние между центрами соседних отверстий, составляет $a = 5$ мм.

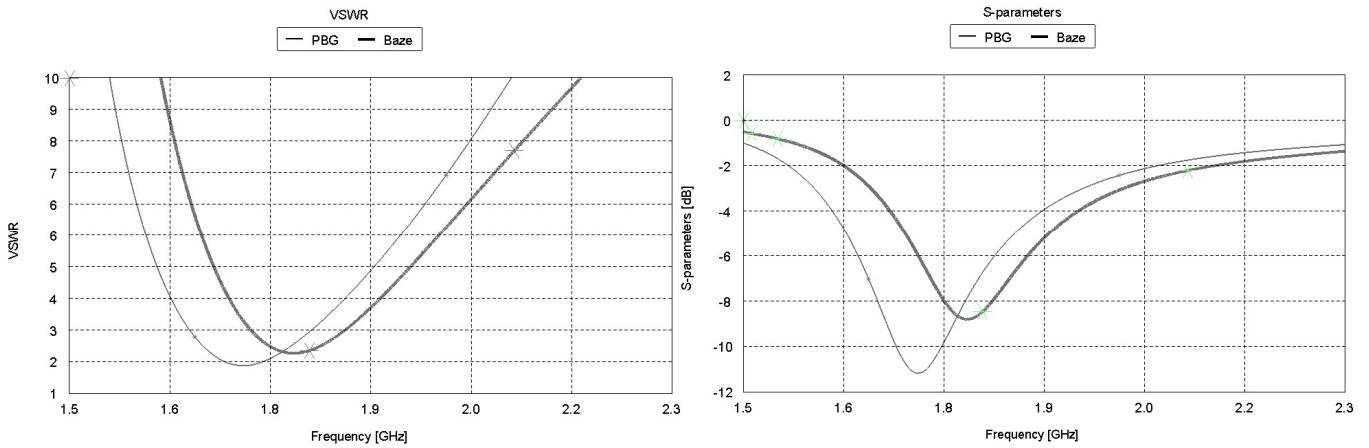
3. Сравнение характеристик обычной антенны PIFA и на основе метаматериала PBG

На рис. 1 изображены две антенны, моделирование которых было выполнено в программе FEKO. Модель «а» представляет собой стандартную PIFA антенну, модель «б» получена путем использования подложки с PBG структурой, полученной за счет фрезерования в ней сквозных отверстий, периодически расположенных на подложке.

Зависимость КСВ и обратных потерь от частоты и диаграммы коэффициента усиления для рассматриваемых антенн показаны на рис. 2 - 3. Сплошная линия соответствует обычной PIFA, пунктирная – PIFA антенна на основе PBG.

Коэффициент стоячей волны, зависимость обратных потерь от частоты и диаграммы коэффициента усиления для рассматриваемых антенн показаны на

рис. 2 - 3. Толстая линия соответствует обычной РИФА, тонкая – РИФА на основе PBG..



а) б)

Рисунок 2: а – КСВ, б – зависимость обратных потерь от частоты.

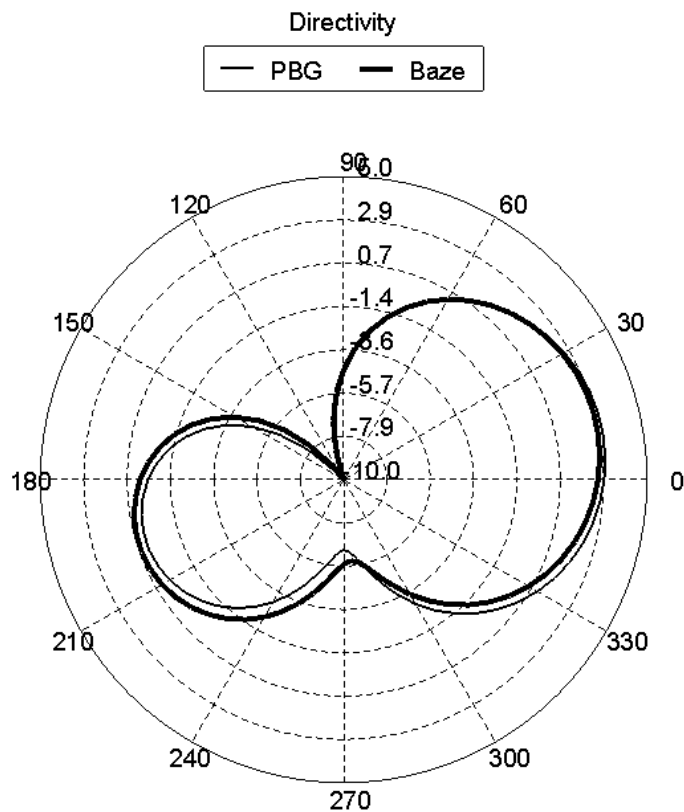


Рисунок 3 – Диаграмма направленности антенны РИФА: а) $\phi = 90$ б) $\phi = 0$

Как видно из приведенных выше результатов, использование подложки на основе PBG-структуры привело к уменьшению обратных потерь, а следовательно, к лучшему согласованию антенны. Следует отметить, что коэффициент усиления при этом изменились незначительно.

Заключение

В данной работе выполнено моделирование компактной планарной микрополосковой антенны для L- и S-диапазонов частот. Приведены полученные в ходе моделирования зависимости обратных потерь от частоты и диаграммы направленности коэффициента усиления на резонансной частоте.

Выполнена модификация микрополосковой антенны за счет добавления в конструкцию метаматериала на основе PBG-структуры. Произведено сравнение полученных параметров для аналогичных конструкций антенн без использования метаматериала и с его использованием. При этом наблюдается незначительное уменьшение резонансной частоты антенны с 1,800 ГГц до 1,730 ГГц и обратных потерь на 2,3 дБ при этом коэффициент усиления практически не изменился.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Xin-Yuan L., Huil F.J., Z. Kuang Z., Jun H., Qunl W.*, “A compact wideband planar inverted-F antenna (PIFA) loaded with metamaterial,” Proceedings of IEEE Cross Strait Quad-Regional Radio Science and Wireless Technology Conference, pp. 549–551, Jul. 2011.

2. *Attia H., Suwailam M.M.B, Ramahi O.M.*, “Enhanced gain planar inverted-F antenna with metamaterial superstrate for UMTS applications,” Proceedings of Progress in Electromagnetics Research Symposium, pp. 494–497, Jul. 2010.

3. *Choudhury B.* (Ed.) Metamaterial inspired electromagnetic applications role of intelligent systems. Springer, 2017, XXVII, 173 p., 201 illus.

4. *Кисель Н.Н., Грищенко С.Г., Челобитчиков М.О.* Исследование характеристик микрополосковой антенны на подложке с неоднородным заполнением// В сборнике: Проблемы техники и технологий телекоммуникаций ПТиТТ-2014; Оптические технологии в телекоммуникациях ОТТ-2014 Материалы Международных научно-технических конференций. 2014. С. 54-55.

5. *Челобитчиков М.О., Кисель Н.Н.* Эффективность микрополосковой антенны на основе подложки с неоднородным заполнением// В сборнике: Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы. Материалы Пятнадцатой Международной научно-технической конференции: в 3-х книгах. Сер. «Известия ЮФУ-ДонНТУ» Южный федеральный университет, Донецкий национальный технический университет. 2014. С. 170-172.

6. *Кисель Н.Н., Черемисов В.А., Дерачиц Д.С.* Исследование характеристик микрополосковой антенны с неоднородной подложкой на основе метаматериала// В сборнике: 26-я Международная Крымская конференция "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии" (КрыМиКо'2016). 13 т. 2016. С. 983-989.

7. *Kisel N.N., Cheremisov V.A., Derachitc D.S.* The modeling of characteristics of the patch antenna with non-uniform substrate metamaterial // В сборнике: Proceedings of 2016 IEEE East-West Design and Test Symposium, EWDTs 2016. 2016.

8. *Кисель Н.Н.* Основы компьютерного проектирования рэс САПР СВЧ // Учебное пособие / Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Южный федеральный университет", Инженерно-технологическая академия. Таганрог, 2016.

9. *Кисель Н.Н.* Моделирование прикладных задач электродинамики и антенн на супервычислительной системе в пакете ФЕКО // Издательство: Технологический институт Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Южный федеральный университет" в г. Таганроге. Таганрог, 2013.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОРСКОГО ВОЛНЕНИЯ

Лобач В.Т., Потипак М.В.

При радиолокационных (РЛ) измерениях состояния взволнованной морской поверхности (МП) важнейшей задачей является определение двухмерного энергетического спектра (ЭС) морских волн (МВ). Такой интерес обусловлен тем, что двухмерный ЭС полностью характеризует МВ как гауссовский процесс. Задача определения энергетического спектра морских волн рассматривается в ряде работ [1-9]. Сравнению эффективности методов и средств контроля ЭС МВ, используемых в перечисленных работах, уделено недостаточно внимания.

Использование радиолокационных станций (РЛС) с высокой пространственной разрешающей способностью

В некогерентных РЛС бокового обзора (БО) высокая разрешающая способность по углу достигается применением вдольфюзеляжных антенн, а по дальности – использованием коротких зондирующих импульсов. Если отражающие свойства МП вдоль направления луча изменяются, то при достаточном разрешении РЛС амплитуда отраженного сигнала (ОС) будет следовать изменению коэффициента отражения вдоль этого направления.

Рассмотрим возможности определения спектральных характеристик на основе двухмасштабной модели МП. В работе [1] показано, что при больших углах визирования ($\beta_0 > 30^\circ$) основной вклад в ОС вносит мелкая структура МП (рябь), расположенная на крупных гравитационных волнах. При этом амплитудная модуляция ОС наклонами крупных волн приводит к увеличению изменчивости удельной эффективной площади рассеяния (УЭПР) и ее анизотропности по азимутальному углу. В том случае, когда МП облучается под большими углами визирования короткими импульсами, т.е. когда разрешающая способность по дальности δ_R намного меньше длины МВ, имеет место “мгновенная” модуляция амплитуды ОС наклонами крупных МВ.

Из результатов, полученных в [1] для одномерной поверхности, следует,

что при разрешающей способности РЛС значительно меньшей минимальной длины МВ:

$$\rho_{ог}(\Delta x) \approx \rho_h''(\Delta x), \quad (1)$$

где $\rho_{ог}(\Delta x)$ – корреляционная функция огибающей ОС; $\rho_h''(\Delta x)$ – вторая производная пространственной корреляционной функции сечения поверхности.

При высокой разрешающей способности РЛС по дальности δ_R и азимутальному углу δ_α , обобщая (1) на двухмерный случай и используя преобразование Фурье, для нормированных ЭС двухмерного сигнала и фиксированной реализации рельефа МП получаем [2]:

$$S_{ог.н}(p_x, p_y) = p_x^2 S_{hn}(p_x, p_y) \left[S_p(p_x, p_y) \right]^2, \quad (2)$$

где $S_p(p_x, p_y)$ – двумерная АЧХ пространственного фильтра РЛС; p_x, p_y – волновые числа МП в направлениях x и y соответственно.

Согласно (2) по ЭС РЛ изображения МП и при известных параметрах пространственного фильтра РЛС может быть найден двухмерный ЭС МВ.

Для исследования ЭС МП требуется высокая разрешающая способность по углу азимута и дальности. Одним из возможных путей достижения высокого разрешения является применение РЛС (БО).

В работе [2] подробно рассматривались возможности определения двухмерного ЭС МВ по РЛ изображениям, полученным с помощью некогерентной РЛС БО. Исследования показали, что спектральный анализ дает более подробную картину состояния МП, чем её исходное РЛ изображение. Согласно [2] по РЛ изображениям и ЭС, полученным с помощью РЛС “Торос” для крупного волнения с минимальной длиной МВ $\bar{\Lambda}_{\min} > 100$ м, можно определить количество систем МВ и их ЭС, главное направление распространения каждой системы (с точностью $\pm 180^\circ$). Поскольку АЧХ пространственного фильтра РЛС можно считать равномерной во всей полосе частот ЭС МВ только при выполнении условия $\delta_R / \bar{\Lambda}_{\min} < 0,2$, существует ограничение для минимальной длины МВ $\bar{\Lambda}_{\min}$, для которой возможно получение РЛ изображения. [2]

Анализ показывает, что для обеспечения погрешности по координате дальности не более 5% при $\bar{\Lambda}_{\min} = 10$ м длительность зондирующего импульса не должна превышать 10 нс.

Для обеспечения погрешности по азимутальному углу $\Delta_\alpha \leq 5\%$ должно выполняться условие:

$$\delta_\alpha \approx 1,75 \cdot 10^{-2} \theta_\alpha R_0 \leq 0,2 \bar{\Lambda}_{\min}, \quad (3)$$

где R_0 – высота полета носителя.

Согласно (3) при заданной величине $\bar{\Lambda}_{\min}$ максимально допустимая высота

полета ЛА при измерениях тем больше, чем меньше ширина ДНА θ_a в азимутальной плоскости. При $\bar{L}_{\min}=10$ м, $\theta_a=0,2^\circ$ высота полета при измерениях не должна превышать 250 м. С увеличением измеряемых длин МВ увеличивается допустимая максимальная высота полета.

Достаточно высокую разрешающую способность по азимутальному углу в СВЧ диапазоне радиоволн можно реализовать только с помощью вдольфюзеляжной антенны. Например, на $\lambda=3,2$ см и $\theta_a=0,2^\circ$ размер раскрыва антенны составит примерно 10 м. Так, серийная РЛС бокового обзора “Торос”, работающая в трехсантиметровом радиодиапазоне, имеет ширину ДНА $\theta_a=0,2^\circ$ и длительность импульса $\tau_u=0,1$ мкс, что позволяет производить измерения только низкочастотной части нормированного ЭС МП ($\bar{L}_{\min}>70\dots 100$ м).

Движение МП вызывает геометрические искажения РЛ изображения, что влечет за собой увеличение погрешности в определении её ЭС. Спектр РЛ изображения зависит от расстояния до наблюдаемых участков МП. Определение двумерного ЭС МП также затрудняется изменением величины УЭПР от угла визирования и зависимостью результатов измерения от высоты полета летательного аппарата (ЛА). С помощью РЛС БО затруднительно определить дисперсию ординат МВ σ_h^2 , что является существенным недостатком.

Рассмотренные выше особенности, недостатки и сложность технической реализации делают мало перспективным применение некогерентной РЛС БО для контроля ЭС МВ.

Ограничения, связанные с недостаточным азимутальным разрешением некогерентной РЛС, могут быть преодолены при использовании РЛС с синтезированием апертуры антенны (РСА). Для РСА с фокусированной антенной азимутальное разрешаемое расстояние (вдоль линии пути) равно [10, 11]

$$\delta_a = 0,5L_a, \quad (4)$$

где L_a - длина раскрыва антенны.

Изображение в РЛС БО с естественной апертурой антенны создается благодаря “мгновенной” модуляции ЭПР МП наклонами крупных МВ и гидродинамическим взаимодействием ряби и крупных волн. Эти же механизмы образования изображения справедливы и для РСА. Возможности использования РСА для исследования МП с ЛА рассматривались в ряде работ [11,12]. РСА являются когерентной РЛС, использующей доплеровскую информацию, поэтому необходимо учитывать влияние эффектов движения МП на формирование изображения. В РСА движение цели приводит к азимутальному (вдоль линии пути) смещению её РЛ изображения. Основным рассеивателем в СВЧ - диапазоне является рябь, скорость движения которой равна [11]

$$\vec{V}_p = \vec{V}_\phi + \vec{V}_m + \vec{V}_{orb} + \vec{V}_{ec},$$

где V_ϕ - фазовая скорость рассеивающей ряби; V_m - скорость течения; V_{orb} - орбитальная скорость крупных волн ($V_{orb} \approx \pi H/T$, высота H и период T); $V_{вс}$ - скорость ветрового сноса ($V_{вс} \approx 0,02V_в$). Скорость движения ряби, в основном определяется орбитальной скоростью крупных волн V_{orb} ($V_{orb} \approx 0,04V_в^{1,5}$, м/с). Изменение направления орбитальной скорости на крупной волне приводит к размытию изображения на величину

$$\Delta = 2R_0 \frac{V_p}{V_r} . \quad (5)$$

Это приводит к ухудшению разрешающей способности по азимутальному углу. Согласно [13] при измерениях с ЛА при $V_r=150$ м/с, $V_в=10$ м/с, $R_0=10^3$ м максимальная величина размытия РЛ изображения МП составит $\Delta \geq 17$ м и для $R_0=10^4$, - $\Delta \geq 170$ м, что превышает характерные размеры крупных МВ. Максимальная величина размытия изображения будет иметь место при движении волн в направлении, перпендикулярном направлению движения ЛА. Согласно (5) при использовании РСА на космических аппаратах, вследствие большой скорости движения последних, размытие изображения будет меньше, чем при использовании на самолетах. Испытания РСА, установленной на ИСЗ “Сисат” (США) и обеспечивающей просмотр участка поверхности шириной 100 км, показали перспективность применения таких систем для измерения спектральных характеристик МВ. Разрешающая способность РСА составляла 25 м. РЛ изображение позволяло уверенно наблюдать волны высотой более 2 м, однако измерить волны высотой около 1 м оказалось невозможным. Выполненные оценки позволяют считать, что вследствие явления размытия изображения определение спектральных характеристик волнения с помощью РСА достаточно эффективно при сравнительно малых высотах полета ЛА.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Лобач В.Т.* Статистические характеристики радиолокационных сигналов, отраженных от морской поверхности. - М.: Радио и связь, 2006. – 250с.
2. *Загородников А.А.* Радиолокационная съемка морского волнения с летательных аппаратов. -Л.: Гидрометеиздат, 1978. - 240с.
3. *Лобач В.Т.* Корреляционная функция и энергетический спектр радиосигнала, отраженного от морской поверхности в подвижной системе координат. // Радиотехника, 2006 №2, «Радиосистемы», вып. 94, с. 76-79.
4. *Лобач В.Т.* Радиолокационные измерения пространственно-временной структуры морской поверхности в декаметровом диапазоне радиоволн.//Радиосистемы (Радиотехника). Вып.54. №1, 2001.-с. 81-88.
5. *Лобач В.Т.* Радиолокационные измерения энергетического спектра морского волнения в декаметровом диапазоне радиоволн.//Дистанционное зондирование земных покровов и атмосферы аэрокосмическими средствами. Сб. докладов Всероссийской научной конференции Муром: 2001. с.375-379.
6. *Гарнакерыян А.А.* Связь спектра морского волнения со спектральными и

корреляционными характеристиками отраженного сигнала // Радиотехника и электроника. 1978. Т.23. №12. С.2511-2518.

7. *Beal R.C., Monaldo F.M., Tilley D.G. et al.* A comparison of SIR-B directional ocean wave spectra with aircraft scanning radar spectra // Science. 1986. V.232. №4757. P.1531-1535.

8. *Лобач В.Т.* Радиолокационное измерение пространственного энергетического спектра морского волнения // Радиотехника. 1994. №10. С.35-38.

9. *Lobatch V.T., Potipak M.V.* Modeling scattering of radio signals reflected from sea rough.// Proceedings of SPIE, Orlando, USA, 2001, vol. 4374, p.139-146.

3. *Кондратенков Г.С.* Радиолокационные станции обзора Земли. - М.: Радио и связь, 1983. – 271с.

4. *Калмыков А.И.* Об особенностях использования радиолокационных систем с синтезированной апертурой для исследования морской поверхности // Рассеяние электромагнитных волн. Таганрог. ТРТИ. Вып.3. 1973. С.85-88.

5. *Иванов А.В., Мосиков А.В.* О преобразовании спектра морского волнения в спектр изображения радиолокаторами с синтезированной апертурой // Исследование Земли из Космоса. 1984. №6. С. 91-100.

6. *Гарнакерьян А.А., Захаревич В.Г., Лобач В.Т., Панатов Г.С., Явкин А.В.* Радиоокеанографическое, навигационное и информационное обеспечение гидроавиации. - Таганрог.: Изд-во ТРТУ, 1997.- 258 с.

УДК 004.031.6

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОРЯДКОВО-ЛОГИЧЕСКИХ ОПРОСНЫХ КОНТРОЛИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ В БАЗИСЕ ПЛИС

Панычев С.А.

Южный федеральный университет, ИКТИБ, Таганрог

Представлены реализации проектов в базе ПЛИС и результаты тестирования порядково-логических опросных контролирующих устройств дискретных сигналов. Для разработки и симуляции работы устройства регистрации единичного элемента в двоичном векторе с управляемой приоритетностью поиска и устройства определения величины и адреса экстремального элемента в массиве данных с управляемой приоритетностью поиска использована САПР ПЛИС Xilinx ISE. Показана возможность изготовления устройства функционального контроля и диагностики как системы-на-кристалле, что позволяет обеспечить его встраиваемость в технический объект контроля и оперативную реконфигурацию его внутренней структуры в процессе функционирования.

Опросные контролирующие устройства (ОКУ) входят в состав систем функционального контроля и диагностики (СФКД) электронного оборудования, к которым предъявляются жесткие требования по быстродействию и аппаратурной совместимости с объектом контроля. Способностью обрабатывать диагностическую информацию, поступающую с функциональных контрольных

точек (ФКТ) в масштабе реального времени обладают релейные ОКУ, работа которых основана на выполнении операций порядковой логики [1-3]. К настоящему времени разработаны структуры нескольких типов порядково-логических контролирующих опросных устройств [4,5]. В [6-10] рассмотрен структурный синтез бортовых СФКД и некоторые аспекты интерпретации диагностической информации с использованием порядково-логических ОКУ, однако примеров аппаратной реализации таких устройств с использованием современной элементной базы нет.

В настоящем докладе в базе ПЛИС FPGA фирмы Xilinx выполнено моделирование и тестирование двух порядково-логических ОКУ.

Реализация порядково-логического устройства определения величины и адреса приоритетного элемента в массиве данных с управляемой приоритетностью поиска, предложенного в [4]. Символ верхнего уровня и комбинационная схема данного релейного ОКУ, построенная по логическому уравнению из [4], представлены на рис. 1.

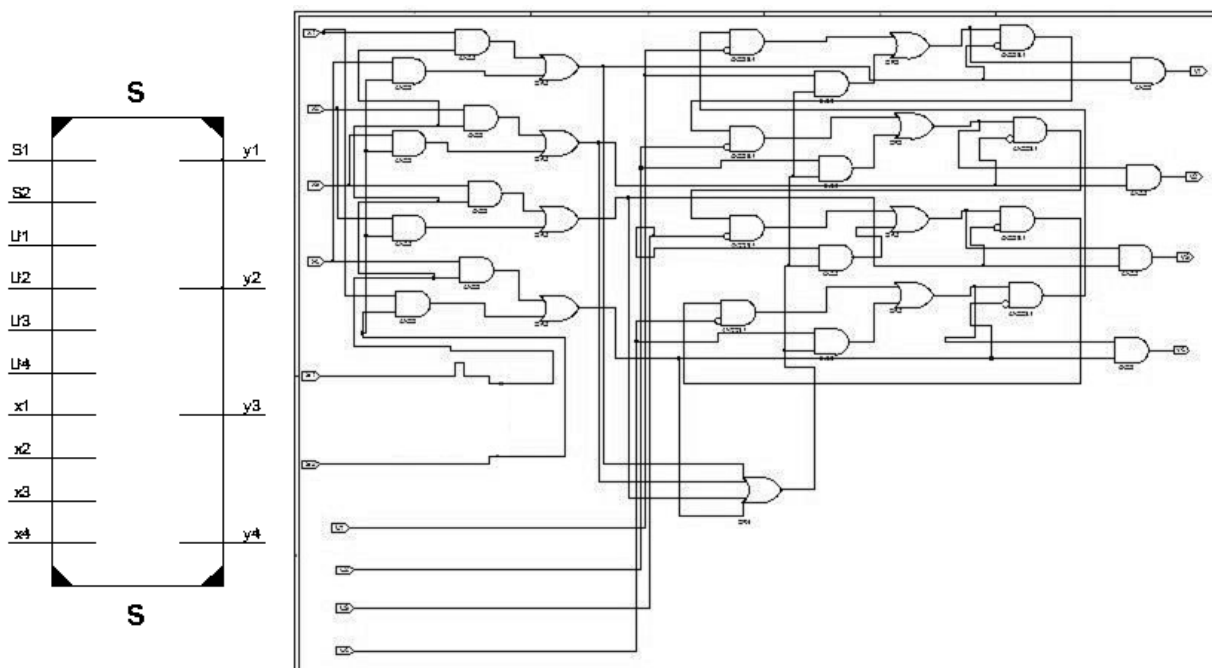


Рис. 1 – Символ верхнего уровня и комбинационная схема порядково-логического устройства определения величины и адреса приоритетного элемента в массиве данных с управляемой приоритетностью поиска

Устройство реализует выбор ФКТ с отказным состоянием с возможностью задавать номер наиболее важной ФКТ и изменять направление опроса в кортеже ФКТ. На входы x_1, x_2, x_3, x_4 подаются значения сигналов ФКТ, отказ индицируется единичным состоянием. Приоритетность поиска задается вектором на входах u_1, u_2, u_3, u_4 , содержащим код адреса ФКТ, с которой надо начинать поиск. Комбинация сигналов на входах s_1, s_2 задает направления поиска ФКТ (прямое или обратное). Выходы y_1, y_2, y_3, y_4 определяют побитный адрес выбранной приоритетной ФКТ с отказом.

На рис. 2 приведены временные диаграммы, иллюстрирующие пример симуляции работы данного ОКУ.

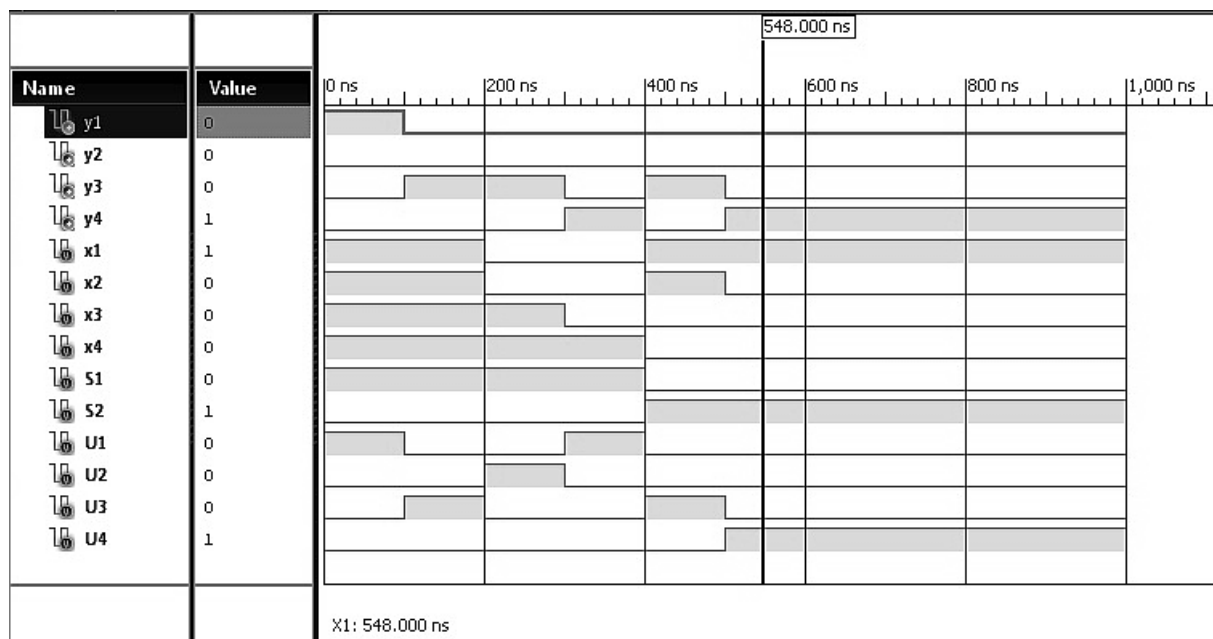


Рис. 2 – Пример симуляции работы порядково-логического устройства определения величины и адреса приоритетного элемента в массиве данных с управляемой приоритетностью поиска

В табл. 1 указаны состояния входов и выходов данного устройства на различных интервалах времени.

Таблица 1.
Результаты симуляции работы реляторного устройства определения величины и адреса приоритетного элемента в массиве данных с управляемой приоритетностью поиска

Интервал, нс	Входы										Выходы			
	x1	x2	x3	x4	u1	u2	u3	u4	s1	s2	y1	y2	y3	y4
0...100	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0
100...200	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
200...300	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
300...400	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1
400...500	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
500...600	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1

Представленные в табл. 1 данные подтверждают правильность функционирования устройства:

- на интервале 0...100 нс на всех четырех ФКТ задан отказ ($x_1=1$, $x_2=1$, $x_3=1$, $x_4=1$); приоритетной выбрана первая ФКТ ($u_1=1$); порядок проверки задан прямой ($S_1=1$); в итоге 1 сформирована на выходе y_1 ;

- на интервале 100...200 нс на всех четырех ФКТ задан отказ ($x_1=1$, $x_2=1$, $x_3=1$, $x_4=1$); приоритетной выбрана третья ФКТ ($u_3=1$); порядок проверки задан прямой ($S_1=1$); в итоге 1 сформирована на выходе u_3 ;
- на интервале 200...300 нс отказ задан на третьей и четвертой ФКТ ($x_3=1$, $x_4=1$); приоритетной выбрана вторая ФКТ ($u_2=1$), на которой отказа нет ($x_2=0$); порядок проверки задан прямой ($S_1=1$); следовательно, следующая ФКТ с отказом – третья; в итоге 1 сформирована на выходе u_3 , что соответствует ближайшей в заданном направлении ФКТ с отказом;
- на интервале 300...400 нс отказ задан на четвертой ФКТ ($x_4=1$), приоритетной выбрана первая ФКТ ($u_1=1$), на которой отказа нет ($x_1=0$), порядок проверки задан прямой ($S_1=1$), следовательно, следующая ФКТ с отказом – четвертая; в итоге 1 сформирована на выходе u_4 ;
- на интервале 400...500 нс отказ задан на первой и второй ФКТ ($x_1=1$, $x_2=1$); приоритетной выбрана третья ФКТ ($u_3=1$), на которой отказа нет ($x_3=0$); порядок поиска задан обратный ($S_2=1$); следовательно, следующая ФКТ в обратном направлении – вторая; в итоге 1 выдана на выходе u_3 , поскольку при обратном порядке поиска результат на выходах формируется также в обратном порядке, т.е. u_4 будет старшим разрядом, следовательно, результат 0100 (вторая ФКТ отказала ($x_2=1$), первая также в отказе ($x_1=1$), но с низшим приоритетом);
- на интервале 500...600 нс отказ задан на первой ФКТ ($x_1=1$); приоритетной выбрана четвертая ФКТ ($u_4=1$), на которой отказа нет ($x_4=0$); порядок проверки задан обратный ($S_2=1$); следовательно, следующая ФКТ в обратном направлении – первая; в итоге 1 выдана на выходе u_4 , поскольку при обратном порядке поиска результат на выходах формируется также в обратном порядке, т.е. u_4 будет старшим разрядом, следовательно, результат 1000 (первая ФКТ отказала ($x_1=1$)).

Таким образом, в базисе ПЛИС реализовано ОКУ, способное выбирать из определенного числа ФКТ самую приоритетную, причем с заданным порядком поиска (прямым либо обратным), что позволяет гибко и оптимально действовать в динамических ситуациях. Приоритеты и порядок поиска выбираются по командам управляющей вычислительной системы, регулирующей работу общей СТКД.

Реализация реляторного устройства регистрации максимального значения и его позиции в двоичном числовом массиве с управляемой приоритетностью поиска, предложенного в [5]. Символ верхнего уровня и комбинационная схема данного порядково-логического устройства, построенная по логическому уравнению из [5], представлены на рисунке 3.

Для примера реализовано ОКУ, отслеживающее в динамике состояние трех ФКТ (первый индекс в обозначении входа) с сигналами x_1 , x_2 , x_3 . Слово состояния каждой ФКТ состоит из трех бит (второй индекс в обозначении входа), на ОКУ каждый бит поступает отдельно на соответствующий вход: x_{11} , x_{12} , x_{13} , x_{21} , x_{22} , x_{23} , x_{31} , x_{32} , x_{33} . На выходах a_1 , a_2 , a_3 формируется адрес максимального значения; на выходах m_1 , m_2 , m_3 формируется значение обнаруженного двоичного максимального числа. Максимальное число

представляется побитно, где $m1$ – старший разряд. Релейторное ОКУ позволяет отслеживать состояние ОКД в динамике и не нуждается в синхронизации с общей СТКД.

Выполнены тесты, моделирующие работу этого релейторного устройства:

- входные данные теста 1: двоичные сигналы первой и второй ФКТ равны 001, сигнал третьей ФКТ равен 011.

- входные данные теста 2: двоичный сигнал первой ФКТ равен 101, сигнал второй ФКТ равен 011, сигнал третьей ФКТ равен 001.

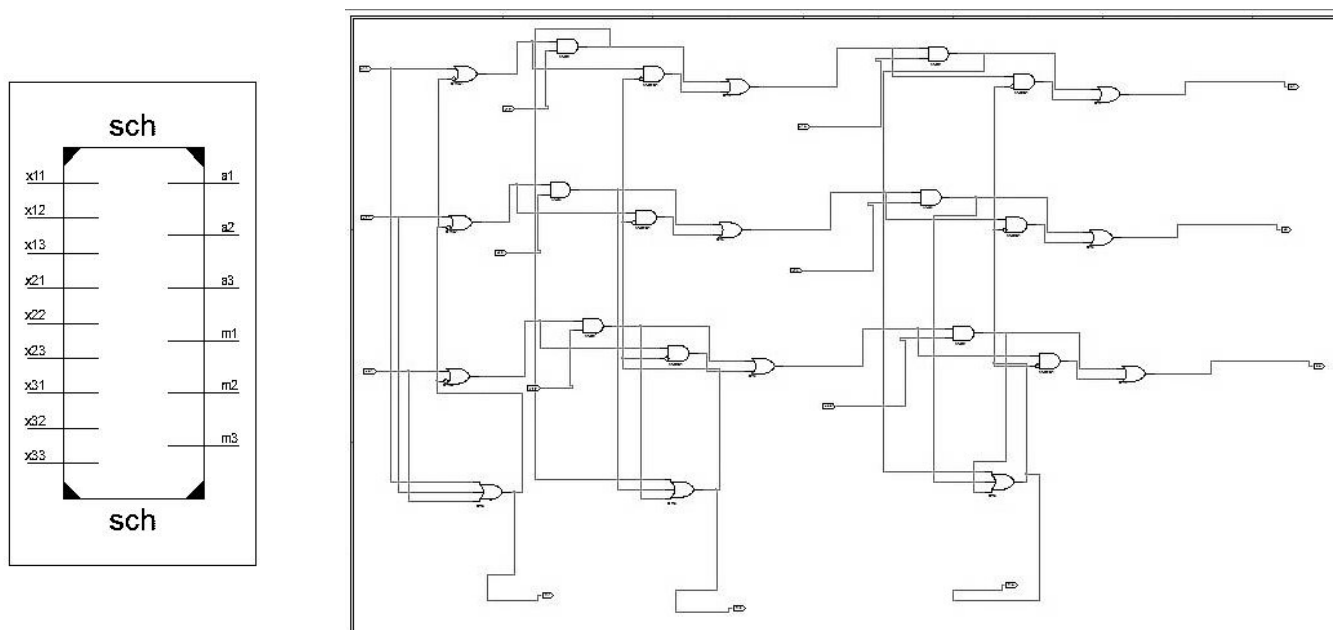


Рис. 3 – Символ верхнего уровня и комбинационная схема порядково-логического устройства регистрации максимального значения и его позиции в двоичном числовом массиве

В табл. 2 приведены результаты тестирования алгоритма работы устройства в соответствии с условиями первого и второго тестов.

На рис. 4 представлены временные диаграммы, иллюстрирующие примеры симуляции работы данного ОКУ с конкретными значениями сигналов на входах, соответствующими двум тестам.

Таблица 2.

Результаты тестирования работы релейторного устройства регистрации максимального значения и его позиции в двоичном числовом массиве

Тест	Входы									Выходы					
	x11	x12	x13	x21	x22	x23	x31	x32	x33	a1	a2	a3	m1	m2	m3
1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1
2	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1

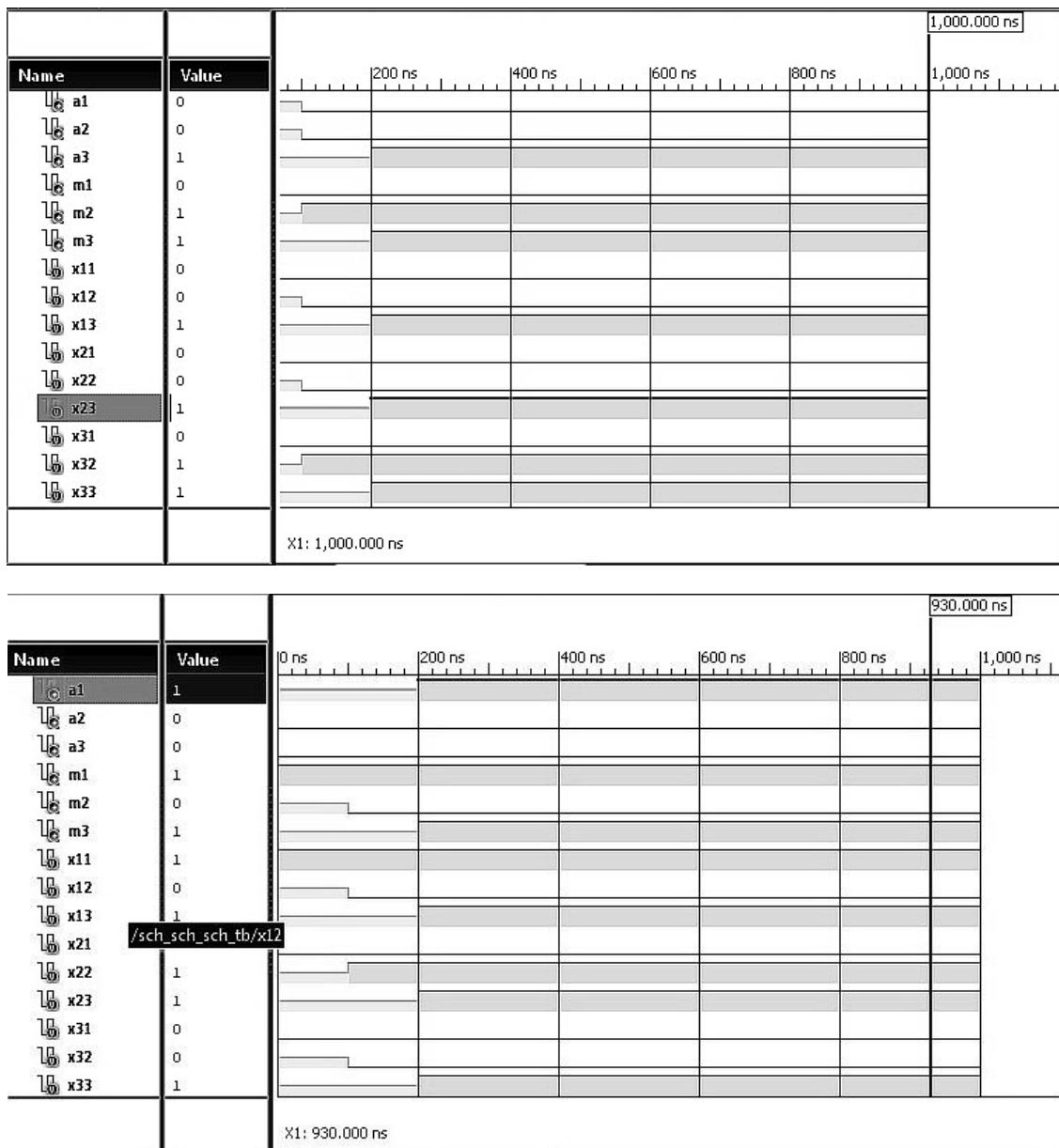


Рис. 4 – Временные диаграммы работы порядково-логического устройства регистрации максимального значения и его позиции в двоичном числовом массиве для двух тестов

Как следует из табл. 2 и рис. 4, реализованное в базе ПЛИС реляторное устройство регистрации максимального значения и его позиции в двоичном числовом массиве работает корректно. Так, в условиях первого теста максимальным является операнд третьей ФКТ; в результате работы устройства сформирована 1 на выходе а3 и числовое значение максимального входного операнда 011 на выходах m1, m2, m3. В условиях второго теста максимальным является операнд первой ФКТ; в результате работы устройства сформирована 1 на выходе а1 и числовое значение максимального входного операнда 101 на выходах m1, m2, m3.

Таким образом, в базе ПЛИС реализовано реляторное ОКУ, способное выдавать в динамике адрес ФКТ с максимальным значением параметра и

величину этого параметра. Количество ФКТ и разрядность слова состояния ФКТ могут быть произвольными в пределах реализуемости средствами конкретной ПЛИС.

Таким образом, моделирование и тестирование реляторного устройства регистрации единичного элемента в двоичном векторе с управляемой приоритетностью поиска, а также реализация реляторного устройства определения величины и адреса экстремального элемента в массиве данных с управляемой приоритетностью поиска в базисе ПЛИС демонстрируют перспективность изготовления СФКД как системы-на-кристалле.

Реализация порядково-логических ОКУ в базисе ПЛИС обеспечивает минимизацию массогабаритных показателей СФКД реального времени, унификацию и возможность реконфигурирования их иерархических уровней.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Волгин Л.И.* Реляторные процессоры на основе графа Паскаля для адресно-ранговой идентификации, селекции и ранжирования аналоговых сигналов. – Тольятти: Поволжский технологический институт сервиса, 2000.
2. *Волгин Л.И., Зарукин А.И.* Развитие элементного базиса реляторной схемотехники // Датчики и системы. 2002. №3.
3. Патент РФ №2143730. Конъюнктивно-дизъюнктивный релятор / *Л.И. Волгин*. Бюл. № 36, 1999.
4. А.С. СССР SU №1383353. А1. Устройство переменного приоритета / *А.П. Самойленко, И.А. Самойленко, Ф.Г. Яцко*. Бюл. № 11, 1988.
5. Патент № 2198418 RU. Способ централизованного контроля N объектов / *А.П. Самойленко, О.А. Усенко*. Бюл. № 4, 2003.
6. *Самойленко А.П., Паньчев А.И., Паньчев С.А.* Синтез системы автоматического контроля работоспособности бортового радиоэлектронного комплекса // Известия ЮФУ. Технические науки. 2015. № 11(172). С. 166-177.
7. *Самойленко А.П., Паньчев А.И., Паньчев С.А.* Синтез контроллера внешних прерываний с динамически изменяемым приоритетом // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем. 2016. Т. III. С. 212-219.
8. *Samoilenko A.P., Panychev A.I., Panychev S.A.* Statistical Diagnostics of Irreversible Avionics As a Controlled Random Process // 2016 IEEE International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). DOI: 10.1109/SIBCON.2016.7391722.
9. *Panychev S., Guzik V., Samoylenko A., Panychev A.* The prerequisites of forming a risk management system in the design of facilities space application // MATEC Web of Conferences 102, 01030 (2017) V International Forum for Young Scientists "Space Engineering". DOI: 10.1051/mateconf/201710201030.
10. *Паньчев С.А.* Безэталонный способ контроля работоспособности бортовой вычислительной системы в конструктиве концепции ИМА // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2018. № 6(1). URL: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2018/01/Panichev%20_1_1_18.pdf. (дата обращения 01.10.2019).

ОГЛАВЛЕНИЕ

Гетман Д.С., Горбенко А.П. ВЫБОР КОРРЕКТИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КАНАЛЬНЫХ КОДЕРОВ	3
Андрианов А.В., Губарев Д.Е., Зикий А.Н., Шакунов С.А. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЕМНИКА ПЕЛЕНГОВАНИЯ	5
Беляев А.А., Суанов Т.А., Троц Д.О., Фролов И.О. ОБНАРУЖЕНИЕ ОБЪЕКТОВ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ С ПОМОЩЬЮ АВТОМОБИЛЬНОГО РАДАРА СТАНДАРТА 77 ГГц	9
Ильченко А.В, Клименко П.П. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА ДРОБНОГО ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ КИХ ФИЛЬТРОВ	19
Корниенко В.Т., Морозов М.Е., Медведев Ю.В. АНАЛИЗ ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ СПЕКТРА РЕЧЕВОГО СИГНАЛА ДЛЯ АУТЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ВИРТУАЛЬНОГО ПРИБОРА LABVIEW	22
Аль-Шамки Амир Абдулкадим Оуда, Финаев В. И. ПРИМЕНЕНИЕ ГИБРИДНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПЛАЗМЕННОЙ СВАРКИ.....	26
Аль-Шамки Амир Абдулкадим Оуда, Расол Муртадха Наджах, Финаев В. И. ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ НАБЛЮДАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ	31
Юров А.А., Мальцев В.А., Пивнев В.В. МОДЕЛИРОВАНИЕ DC/DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ PSIM	36
Николаев А.А., Пивнев В.В. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭКРАНОПЛАНОМ. 40	
Хуссейн Ф.А., Теплинский И.Д., Медведев М.Ю. УПРАВЛЕНИЕ КВАДРОКОПТЕРОМ В ПРОСТРАНСТВЕ СОСТОЯНИЙ.....	43
Чернявский Н.С., Торшин С.С., Мальков С.Б. СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ОБНАРУЖЕНИЯ СПУТНИКА АНТЕННОЙ СИСТЕМОЙ.....	50
Полев Р.И. Мальков С.Б. РАСЧЁТ СИЛОМОМЕНТНОГО ОЧУВСТВЛЕНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ АВТОНОМНОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ.....	54
Торшин С.С., Чернявский Н.С., Мальков С.Б. СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ СПУТНИКА АНТЕННОЙ СИСТЕМОЙ.....	59
Сидоренко С.Ю., Немцов Д.А. РОБОТ-ГАЗОНОКОСИЛКА ДЛЯ УМНОГО ДОМА	65
Немцов Д.А., Сидоренко С.Ю., Волощенко Ю.П. РОБОТ ПЫЛЕСОС ДЛЯ ОСОБО ВРЕДНОГО ПРОИЗВОДСТВА	69
Лобов П.Н., Волощенко Ю.П. ЭЛЕКТРОННЫЙ БЛОК ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ЗАПОРНОЙ АРМАТУРОЙ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ	74

Быстрицкий А.В., Береснев А.Л., Быстрицкая Е.М. ВОЗМОЖНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВА СГОРАНИЯ СМЕСИ В ЦИЛИНДРЕ ДВС ПОСРЕДСТВОМ ОПТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ.....	80
Врублевских А.А., Горемыкин Е.В. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАЩИЩЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ SMART GRID ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ХАКЕРСКИХ АТАК И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИМПУЛЬСОВ	84
Кашин В.Е, Полуянович Н. К., Мальков С.Б. ОПТИМИЗАЦИЯ НАСТРОЙКИ ПАРАМЕТРОВ ЧПУ/СНС ДЛЯ МОДУЛЯ КАМЕРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ГИБКОГО КОМПЛЕКСА	88
Немцов Д.А., Ротэрмель Н.И. Полуянович Н.К. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ С ПОЛУЧЕНИЕМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИНТЕЗИРОВАННОГО ТОПЛИВА	97
Бережная А.В., Расторгуев Н.С., Киндюк С., Дмитриева И.А. ЭЛЕКТРОМОБИЛИ И ИХ ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ	103
Полуянович Н.К., Дубяго М.Н. РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ОБУСЛОВЛЕННЫХ ТОКОМ УТЕЧКИ ВЫЗВАННЫХ ЧАСТИЧНЫМИ РАЗРЯДАМИ.....	106
Сенченко О.В., Береснев А.Л. ВЛИЯНИЕ ДЕТОНАЦИИ ТОПЛИВА НА ИЗНОС ПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ	111
Костюков В.А., Веревкин А.Л., Очнев П.Г., Сидоренко С.Ю., Веревкина Л.С. МОДЕЛИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОННОЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ОБОРУДОВАНИЯ	118
Дубовский В.С., Склифус Р.В. СХЕМА И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ГИБРИДНОГО АВТОМОБИЛЯ.....	124
Дмитриева И.А., Ганноченко А.В., Наконечный Д.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭТАНОЛА В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА НА КЛАССИЧЕСКИХ ДВС.....	128
Полуянович Н.К., Азаров Н.В., Огреничев А.В., Севастьянов Н.Д., Кезикова Е.Ю. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСА КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ	131
Ваганов И.А., Ваганова А.А., Кисель Н.Н. МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОПОЛОСКОВОЙ АНТЕННЫ НА ОСНОВЕ МЕТАМАТЕРИАЛА СО СТРУКТУРОЙ РВГ	137
Лобач В.Т., Потипак М.В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОРСКОГО ВОЛНЕНИЯ	142
Панычев С.А. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОРЯДКОВО-ЛОГИЧЕСКИХ ОПРОСНЫХ КОНТРОЛИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ В БАЗИСЕ ПЛИС.....	146

