РАДИОЭЛЕКТРОНИКА. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

ШЕСТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ, ПОСВЯЩЕННАЯ ДНЮ РАДИО И СВЯЗИ

Сборник трудов

(*Тамбов, 12–13 мая 2021 г.*)

Тамбов
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2021

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Тамбовский государственный технический университет»

ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ, ПРИБОРОСТРОЕНИЯ
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

ШЕСТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ МОЛОДЕЖНАЯ
НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ, ПОСВЯЩЕННАЯ ДНЮ РАДИО

Сборник трудов

(*Тамбов, 12–13 мая 2021 г.*)

Научное электронное издание

Тамбов
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2021

УДК 621.396.6
ББК з844-02
Р15

Редакционная коллегия:

Д. Ю. Муромцев – *ответственный редактор*,
Т. И. Чернышова – *зам. ответственного редактора*,
С. П. Москвитин, А. П. Пудовкин, С. В. Фролов, Н. Г. Чернышов

Р15 **Радиоэлектроника.** Проблемы и перспективы развития [Электронный ресурс] : сборник трудов Шестой всероссийской молодежной научной конференции / под ред. Д. Ю. Муромцева и др. ; ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2021. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Системные 15,5 Mb ; RAM ; Windows 95/98/XP ; мышь. – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-8265-2360-5 (VI)
ISBN 978-5-8265-2162-5 (V)
ISBN 978-5-8265-2081-9 (IV)
ISBN 978-5-8265-1921-9 (III)
ISBN 978-5-8265-1730-7 (II)
ISBN 978-5-8265-1556-3 (общ.)

Представлены тезисы докладов и статьи участников Шестой всероссийской молодежной научно-практической конференции «Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития», в которых раскрываются вопросы проектирования радиоэлектронных систем различного назначения на всех стадиях производства, генерации сигналов, приема и передачи различной информации по каналам связи, развития и применения радиоэлектроники в медицине и биомедицинской технике, а также отмечается роль радиосвязи в годы Великой Отечественной войны.

Может быть полезен студентам, молодым исследователям, а также инженерно-техническим работникам различных отраслей промышленности.

УДК 621.396.6
ББК з844-02

Материалы предоставлены в электронном варианте, организаторы конференции и редакция ответственности за содержание предоставленных авторами материалов не несут.

Все права на размножение и распространение в любой форме остаются за разработчиком. Нелегальное копирование и использование данного продукта запрещено.

ISBN 978-5-8265-2360-5 (VI)
ISBN 978-5-8265-1556-3 (общ.)

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2021

Секция 1

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РАДИОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ

ФИЛЬТР С ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕМ ПО НЕВЯЗКЕ

В. С. Аистов, М. В. Алексеев, С. Н. Данилов, В. В. Маслина

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: aistov.volk-vovan@mail.ru; alexeew41@gmail.com;
plabz@mail.ru; vika.maslina@gmail.com)

Необходимость отслеживания траектории движения транспортного средства, например, автомобиля или самолета, параметров энергетической установки и т.п. требует решать задачу создания измерителей, работающих в условиях непредсказуемого, часто скачкообразного изменения координат и их производных. Эта задача решается путем синтеза следящих измерителей, у которых в зависимости от ситуации могут изменяться как параметры, так, возможно, и структура. Решить эту задачу можно путем применения измерителей, в которых могут использовать различные сочетания моделей состояния.

Для радиоэлектронных следящих систем (РСС) потенциальная точность определяется величиной апостериорной дисперсии ошибок фильтрации, которая вычисляется в процессе решения соответствующих уравнений [1 – 3]. При этом необходимо отметить, что эта дисперсия зависит от условий применения, определяющих в моделях, входящих в РСС фильтров статистические характеристики возмущений и шумов наблюдения. Достаточно простое решение уравнений аналитическим способом возможно только для систем небольшой размерности (2–3 уравнения в системе).

Если потенциальные ошибки соответствуют требованиям, то исследуется точность оценок в условиях, приближенных к реальным (в дальнейшем реальная точность). Основным методом исследования реальной точности является имитационное моделирование.

Оптимальный алгоритм из-за большого количества перекрестных связей довольно сложен даже при двух моделях [4, 5]. Известно, что величина невязки измерения обусловлена действием шумов измерения и степенью неточности прогноза измерения на следующий шаг. Так как на вход в рассматриваемом случае поступает общий сигнал первичного измерителя, можно заключить, что

изменение невязок измерения за счет шумов будет сходно для подсистем обеих моделей. Различаться невязки будут в основном за счет прогноза, определяемого на основе разных моделей. Это дает возможность построить упрощенный алгоритм на основе двух моделей.

При действии радиопомех обе невязки увеличиваются примерно одинаково (рис. 1).

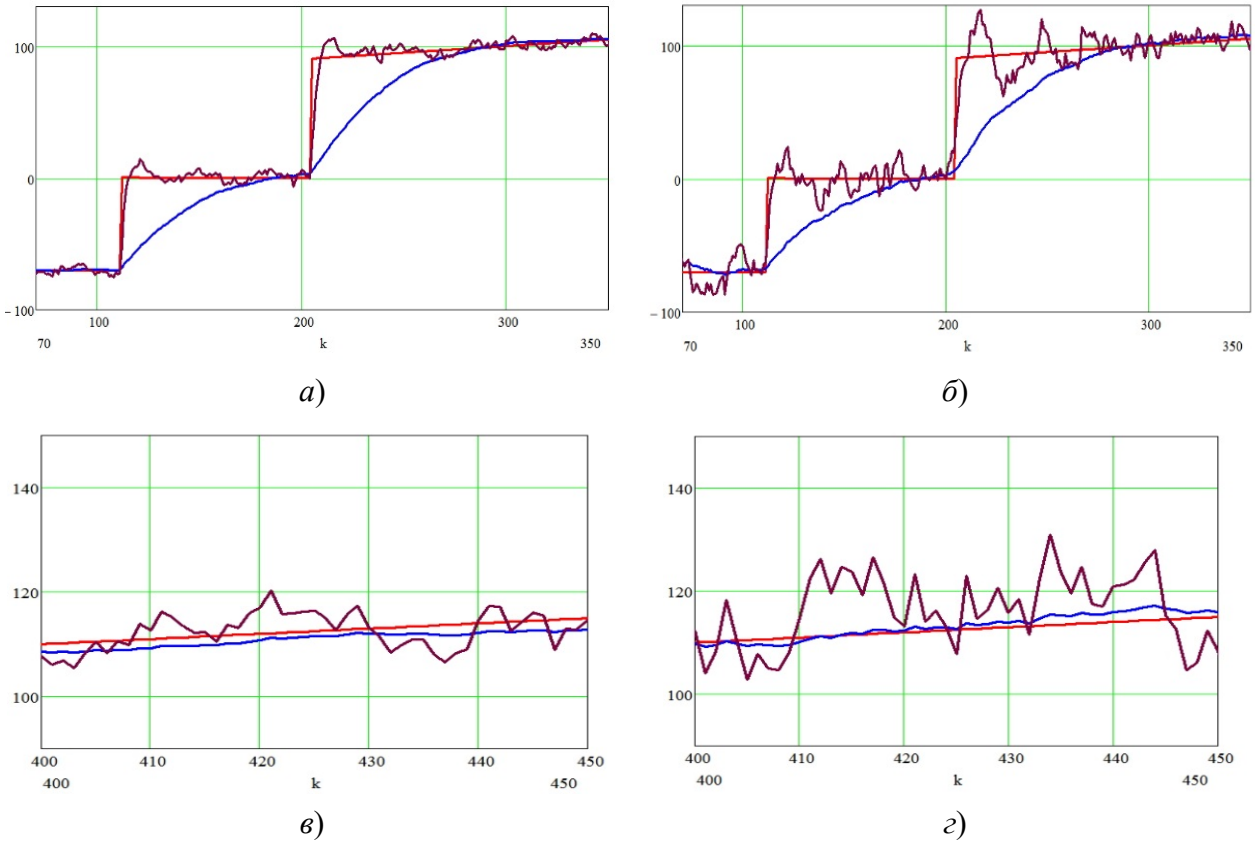


Рис. 1. Невязки оценивания: истинный входной сигнал (красная кривая), невязка фильтра с малой динамической ошибкой (коричневая кривая), невязка фильтра с малой флюктуационной ошибкой (синяя кривая):
а, *в* – шумы измерения малой мощности; *б*, *г* – шумы измерения большой мощности

Разное изменение невязок обусловлено изменением поведения сопровождаемого объекта (например, маневрированием). Поскольку предпочтительнее выходной сигнал фильтра с минимальной невязкой, используем его, так как предполагается, что он имеет минимальную погрешность в измерениях. Далее полученные значения невязки с помощью компаратора перенаправляются на вход схемы сравнения, которая подключает фильтр к выходу (рис. 2). С помощью этого устройства можно определить координаты и обнаружить маневр подвижного объекта [6].

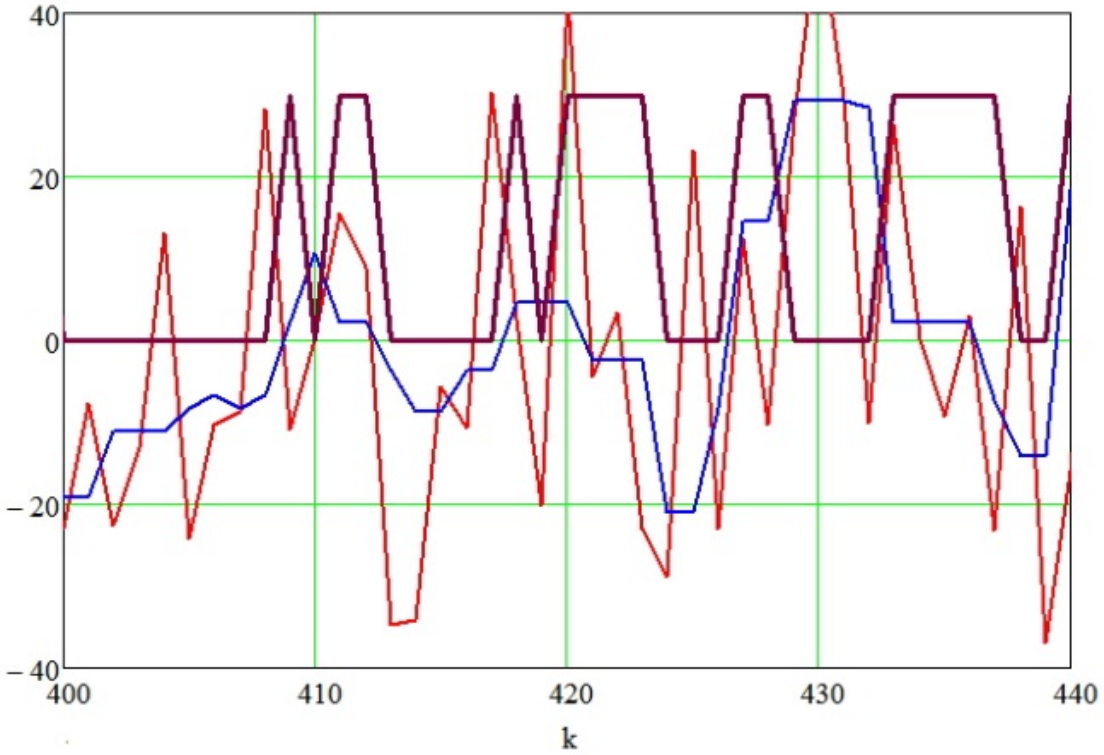


Рис. 2. Невязки оценивания и управляющий сигнал переключателя:
синей линией показана невязка узкополосного фильтра; бордовой – широкополосного фильтра; коричневой – управляющий сигнал переключателя

Таким образом, алгоритм, построенный на основе двух моделей, дает общую оценку со значительно меньшей погрешностью. Это обусловлено построением фильтров с различными характеристиками, учитывающих различные типы изменения оцениваемого параметра и почти точным следованием поведения сигнала либо первой модели, либо второй модели. В целом результаты статистического моделирования демонстрируют эффективность предлагаемого алгоритма (табл. 1).

В таблице приведены оценки погрешностей измерения, полученные при имитационном моделировании. Моделирование проводилось при двух значениях интенсивности шума измерения (среднеквадратическая величина шума во втором случае увеличивалась в 3 раза). Для сглаживания невязки (выделения динамической составляющей) использовался медианный фильтр с окном $q = 5$.

Таким образом, рассмотренный алгоритм дает оценки с ошибкой не намного хуже, чем оптимальный алгоритм, синтезированный на основе теории систем со случайным скачкообразным изменением структуры [6]. При этом структура упрощенного алгоритма значительно проще, даже если бы использовались три или четыре модели. В целом результаты имитационного моделирования показали эффективность предлагаемого подхода.

1. Погрешности фильтров

Выходной сигнал		СКО шума σ = 1	СКО шума σ = 3
Узкополосный фильтр	Маневр	22,3	24,4
	Без маневра	1,4	5,4
Широкополосный фильтр	Маневр	4,5	9,6
	Без маневра	3,0	8,96
Общая оценка	Маневр	5,2	12,3
	Без маневра	2,57	6,28
Общая оценка при сглаживании невязки	Маневр	4,5	9,4
	Без маневра	2,36	5,5

Библиографический список

1. Pudovkin, A. P., Panasyuk, Yu. N., Danilov, S. N., Moskvitin, S. P. Synthesis of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters // Journal of Physics: Conference Series, Volume 1015, Issue 3, article id. 032111 (2018).

2. Pudovkin, A. P., Panasyuk, Yu. N., Danilov, S. N., Moskvitin, S. P. Synthesis of channel tracking for random process parameters under discontinuous variation. – Journal of Physics: Conference Series, Volume 1015, Issue 3, article id. 032112 (2018).

3. Данилов, С. Н. Алгоритм функционирования системы угловой коррекции наземной подвижной антенны, синтезированный на основе систем со случайным изменением структуры / С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 55 – 59.

4. Алгоритм дальномерного канала с учетом информации бортовых датчиков воздушных судов / Ю. Н. Панасюк, С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, И. В. Князев // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 60 – 63.

5. Kurnosov R. Yu. Improving Metrological Reliability of Information-Measuring Systems Using Mathematical Modeling of Their Metrological Characteristics / R. Yu. Kurnosov, T. I. Chernyshova, V. N. Chernyshov // Journal of Physics: Conference Series – International Conference on Information Technologiess in Business and Industry 2018, ITBI 2018; Volume 1015, Issue 3, 22 May 2018.

6. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ФИЛЬТРА БАТТЕРВОРТА В СИСТЕМЕ ФИЛЬТРОВ С ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕМ ПО НЕВЯЗКЕ

М. В. Алексеев, В. С. Аистов, В. В. Маслина, С. Н. Данилов

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: Alexeew41@gmail.com, Aistov.volk-vovan@mail.ru,
vika.maslina@gmail.com, plabz@mail.ru)

В условиях стремительного роста популярности и относительной дешевизны технологии беспилотного управления летательными аппаратами появилась острая необходимость правильного и, самое главное, максимально точного определения местоположения беспилотного летательного аппарата (БПЛА). Это обусловлено опасностью, создаваемой БПЛА. Опасность могут создавать не только военные, но и гражданские БПЛА. Последствия недостаточно точного отслеживания местоположения БПЛА могут быть катастрофичными. Но для точного определения координат БПЛА не достаточно только систем отслеживания, так как сигналы от них приходят с некоторой величиной погрешности, обусловленной внешними шумами и неисправностями или неправильной настройкой самих систем. Причем очень часто даже частичное избавление от шумов является очень трудной, а иногда вообще невыполнимой задачей. Наиболее целесообразным решением этой проблемы на данный момент является фильтрация сигналов, полученных с системы отслеживания.

При использовании одного универсального фильтра точность может быть недостаточна, так как полоса его не может соответствовать всем ситуациям, в связи с чем распространено использование системы фильтров, в основе которой лежит переключение между несколькими фильтрами на основе статистического анализа разности между измеренным значением параметров сигнала и предсказанным [1 – 3]. Это обусловлено, в первую очередь, тем, что точность фильтра находится в сильной зависимости от характера изменения сигнала, приходящего с системы отслеживания, что продемонстрировано на рис. 1.

На рисунке красной линией обозначен сигнал, полученный с системы отслеживания, а синяя и коричневая линии – сигналы, полученные с выходов широкополосного и узкополосного парциальных фильтров соответственно.

Из рисунка видно, что использование широкополосного фильтра целесообразно только в тех областях, где изменение параметров входного сигнала быстрое, а использование узкополосного фильтра наиболее эффективно в областях медленного изменения.

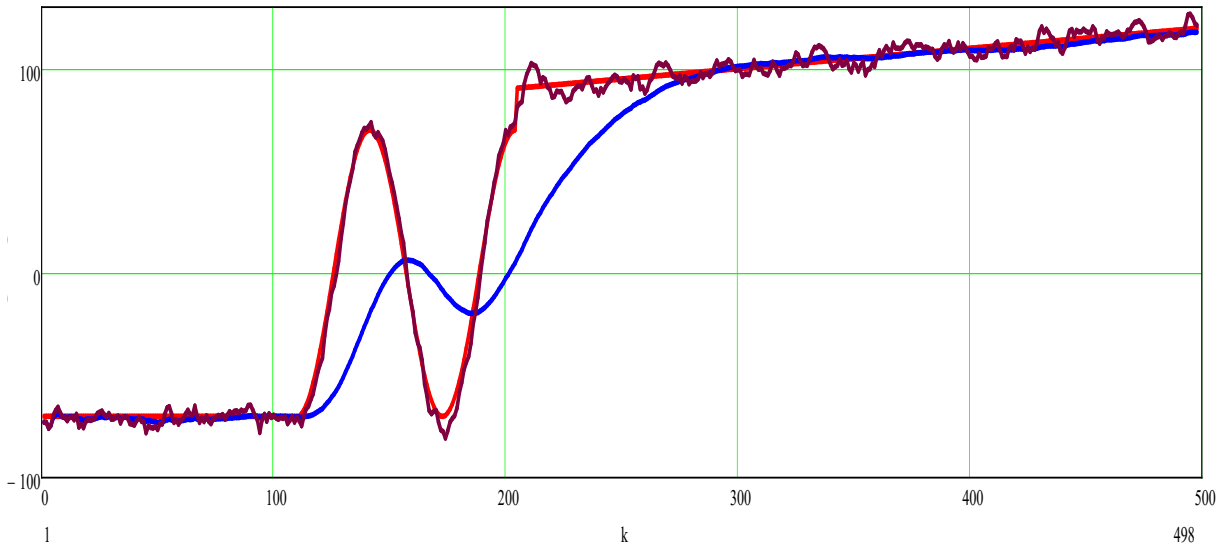


Рис. 1. Оценки параметров сигнала

Численно значения ошибки выражаются модулем средней ошибки парциальных фильтров. Так, для промежутка дискретного времени $k = 100…300$ модуль средней ошибки узкополосного фильтра равен 34,263, тогда как для широкополосного фильтра на том же промежутке он равен 3,906. То есть на данном промежутке точность узкополосного фильтра будет выше более чем в 8 раз. На промежутке $k = 300…498$ большую точность демонстрирует узкополосный фильтр с модулем средней ошибки 1,461, тогда как в широкополосном фильтре он равен 2,988. Использование системы переключаемых фильтров помогает достичь относительно невысоких значений модуля средней ошибки: для $k = 100…300$ это 3,903, а для $k = 300…498$ это 2,604.

Стоит отметить тот факт, что значения невязок, следовательно, и модулей средней ошибки парциальных фильтров, всегда будут разные. Но принцип их работы остается тем же.

На рисунке 2 синей штриховой линией показана невязка узкополосного фильтра, сплошной бордовой – невязка широкополосного фильтра, а красной – переключение между фильтрами. Видно, что при резком изменении параметров сигнала у узкополосного фильтра появляется значительная динамическая ошибка, но при этом он практически не реагирует на шум наблюдения. В то же время широкополосный фильтр динамической ошибки практически не имеет, но сильно реагирует на шумовую составляющую.

Анализ результатов моделирования показал, что в некоторые моменты времени мультиплексор выдает на выход оценку не с наименьшей, а с наибольшей ошибкой. Это происходит потому, что величина невязки и величина ошибки хотя и зависимы, но не совпадают полностью.

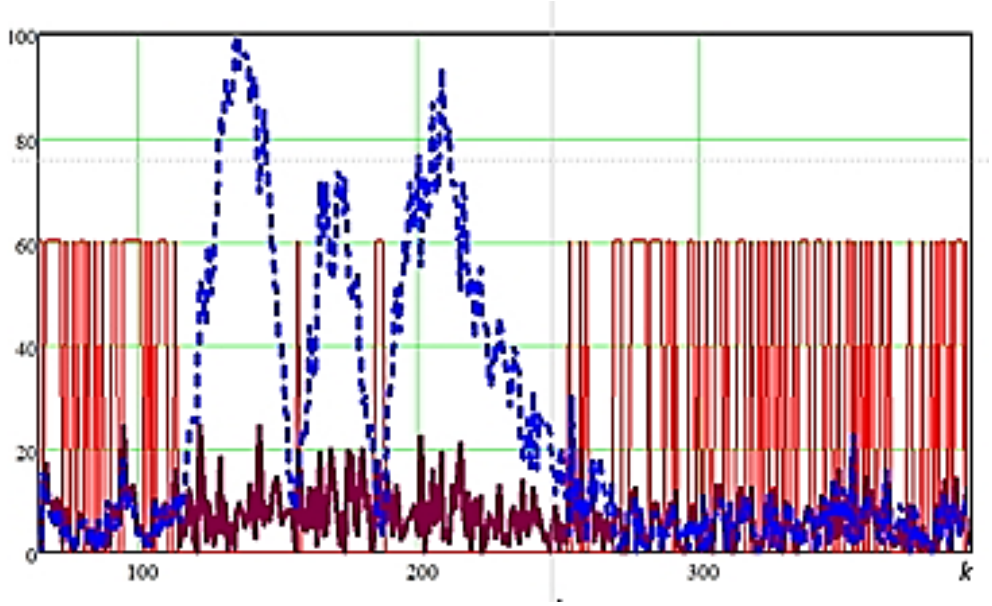


Рис. 2. Невязки фильтров и сигнал переключения

Из графика видно, что компаратор перегружен переключениями из-за шумовой составляющей невязки. Было исследовано влияние на работу компаратора фильтрации невязки с помощью ФНЧ, который помог бы снизить число переключений между фильтрами и уменьшить время работы фильтра с большей ошибкой. Таким алгоритмом может выступать цифровой фильтр Баттерворта.

Было проведено моделирование сглаживания невязки посредством цифрового ФНЧ Баттерворта третьего порядка (см. фрагмент листинга программы ниже)

$$nb1_j := \sum_{m=0}^{3} \left[b_m \cdot \left(nv1_{j-m} \right)_0 \right] - \sum_{m=1}^{3} \left(a_m \cdot nb1_{j-m} \right)$$

$$nb2_j := \sum_{m=0}^{3} \left[b_m \cdot \left(nv2_{j-m} \right)_0 \right] - \sum_{m=1}^{3} \left(a_m \cdot nb2_{j-m} \right)$$

где b_m, a_m – коэффициенты фильтра; $nv1_i$ и $nv2_i$ – отсчеты невязок фильтров.

Моделирование при типовых условиях функционирования системы позволило оценить ошибки фильтров (табл. 1).

При этом переключения происходят реже, так как они в основном связаны с изменением динамической составляющей ошибки.

Анализ работы алгоритма показал, что результирующая оценка координаты имеет тенденцию переходить к оценке на выходе фильтра той модели, который дает более точную оценку в данный момент времени. Причем фильтр на основе каждой из моделей в зависимости от поведения БПЛА имеет разную величину невязок. Большая невязка в основном соответствует худшей оценке.

1. Оценка погрешности фильтров

№	Выходной сигнал фильтра	Величина погрешности
	Фильтр с широкой полосой	
	Фильтр с узкой полосой	
	Фильтр объединенный	
	Первичный измеритель	

Результаты исследований предложенного способа управления фильтрами подтверждают возможность значительного улучшения точности оценивания координат и параметров движения БПЛА.

Таким образом, предложенный способ отслеживания летательных аппаратов обеспечивает решение задачи определения положения БПЛА практически с минимальной ошибкой оценивания координат для любого момента времени.

Библиографический список

1. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.

2. Панасюк, Ю. Н. Метод повышения точности третичной обработки информации с применением динамических весовых коэффициентов / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин, А. И. Рогачев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – № 4. – С. 595–596.

3. Synthesis of channel tracking for random process parameters under discontinuous variation / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк, С. Н. Данилов, С. П. Москвитин // Journal of Physics: Conference Series. Volume 1015, Issue 3, article id. 032112, pp. 1.

4. Алгоритм дальномерного канала с учетом информации бортовых датчиков воздушных судов / И. В. Князев, С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 60 – 63.

5. Прогнозирование квазигармонического сигнала в пространстве состояний / С. Н. Данилов, Н. А. Кольтюков, Т. И. Чернышова, С. В. Петров // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2016. – № 3. – – 380.

6. Данилов, С. Н. Алгоритм функционирования системы угловой коррекции наземной подвижной антенны, синтезированный на основе систем со случайным изменением структуры / С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 55 – 59.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ДАЛЬНОМЕРНОГО КАНАЛА ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Д. Р. Антоничев, Д. А. Сыщикова, С. П. Москвитин

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(nitherhow@gmail.com, dasha.21052010@gmail.com)

Для разработки дальномерного канала информационно-измерительной системы (ИИС) необходимо выбрать исходные модели состояния и наблюдения с учетом задач, решаемых управлением воздушным движением (УВД) при автосопровождении воздушных судов (ВС), и возможностей современных ЭВМ по быстродействию и объему памяти. На основе модели состояния и наблюдения и с учетом алгоритма калмановской фильтрации могут быть получены алгоритмы измерителей параметров (дальность, скорость, угловые координаты и т.д.) ВС [1, 2].

В современных ИИС УВД используются алгоритмы линейной фильтрации, которые реализованы в виде $(\alpha-\beta)$- и $(\alpha-\beta-\gamma)$-фильтров. При наличии у цели ускорений $\left(a > 30\ \text{м/с}^2\right)$ $(\alpha-\beta)$-фильтр склонен к расходимости [3]. $(\alpha-\beta-\gamma)$-фильтр более устойчив к наличию постоянных ускорений цели, однако при интенсивном изменении ускорения цели ускорение оценивается с большими ошибками за счет постоянства коэффициентов усиления фильтров [4].

Для повышения точности дальномерного канала ИИС УВД выберем зингеровскую модель состояния и наблюдения:

$$Д(k) = Д(k-1) + V(k-1)\tau + 0{,}5a(k-1)\tau^2; \quad (1)$$

$$V(k) = V(k-1) + a(k-1)\tau; \quad (2)$$

$$a(k) = (1-\alpha_ф\tau)a(k-1) + \xi_a(k-1); \quad (3)$$

$$Д_и(k) = Д(k-1) + \xi_Д(k-1)\tau, \quad (4)$$

где Д, V, a – дальность, скорость, ускорение ВС относительно ИИС УВД; k – номер дискрета времени; τ – интервал времени дискретизации; $\alpha_ф$ – постоянная времени маневра; $\xi_a(k-1)$ – гауссовский шум с известной дисперсией D_a; $Д_и$ – измеряемая дальность первичным источником информации; $\xi_Д(k-1)$ – шумы измерения с известной дисперсией $D_{Д_и}$.

Для получения алгоритмов измерителя дальности используется алгоритм калмановской фильтрации [1, 4, 5]:

$$x_{\text{о}}(k) = x_{\text{э}}(k) + K_{\text{ф}}(k)[z_{\text{и}}(k) - H(k)x_{\text{э}}(k)]; \tag{5}$$

$$x_{\text{э}}(k) = \Phi(k)x_{\text{о}}(k-1),\ x_{\text{э}}(0) = x_{\text{о}}(0); \tag{6}$$

$$P_{\text{э}}(k) = \Phi(k)P_{\text{о}}(k-1)\Phi^{\text{т}}(k) + Q_x(k),\ P_{\text{э}}(0) = P_{\text{о}}(0); \tag{7}$$

$$K_{\text{ф}}(k) = P_{\text{э}}(k)H^{\text{т}}(k)\left\{H(k)P_{\text{э}}(k)H^{\text{т}}(k) + R(k)\right\}^{-1}; \tag{8}$$

$$P_{\text{о}}(k) = P_{\text{э}}(k) - K_{\text{ф}}(k)H(k)P_{\text{э}}(k), \tag{9}$$

где $x_{\text{э}}(k)$ – оценка прогноза (экстраполяция) вектора состояния $x(k)$; $K_{\text{ф}}(k)$ – матрица оптимальных коэффициентов передачи дискретного фильтра; $P_{\text{э}}(k)$ – апостериорная ковариационная матрица ошибок фильтрации; $P_{\text{о}}(k)$ – априорная ковариационная матрица ошибок фильтрации; $R(k)$ – матрица дисперсий измерения; $Q_x(k)$ – матрица дисперсий возмущений; $\Phi(k)$ – фундаментальная матрица; $H(k)$ – матрица измерений; $z_{\text{и}}(k)$ – вектор измерений.

Используя модели состояния (1) – (3), модель наблюдения (4) и алгоритм калмановской фильтрации (5) – (9), получим алгоритм функционирования первого фильтра для оценки дальности, скорости и ускорения ВС относительно ИИС УВД:

$$\text{Д}_{\text{о}}(k+1) = \text{Д}_{\text{э}}(k+1) + K_{\text{ф}11}(k+1)\Delta\text{Д}(k+1); \tag{10}$$

$$V_{\text{о}}(k+1) = V_{\text{э}}(k+1) + K_{\text{ф}21}(k+1)\Delta\text{Д}(k+1); \tag{11}$$

$$a_{\text{о}}(k+1) = a_{\text{э}}(k+1) + K_{\text{ф}31}(k+1)\Delta\text{Д}(k+1); \tag{12}$$

$$\text{Д}_{\text{э}}(k+1) = \text{Д}_{\text{о}}(k) + V_{\text{о}}(k)\tau + 0{,}5a_{\text{о}}(k)\tau^2; \tag{13}$$

$$V_{\text{э}}(k+1) = V_{\text{о}}(k) + a_{\text{о}}(k)\tau; \tag{14}$$

$$a_{\text{э}}(k+1) = (1 - \alpha_{\text{ф}}\tau)a_{\text{о}}(k); \tag{15}$$

$$\Delta\text{Д}(k+1) = \text{Д}_{\text{и}}(k+1) - \text{Д}_{\text{э}}(k+1). \tag{16}$$

С помощью имитационного моделирования на ЭВМ проводилось исследование реальной точности дальности воздушного судна при выполнении маневра «Вираж» [2]. Имитационное моделирование на ЭВМ представляет собой имитацию входного сигнала $\text{Д}_{\text{и}}$ (4). $\text{Д}_{\text{и}}$ представляет собой изменяющуюся истинную

относительную дальность между ИИС УВД и ВС (рис. 1) и шум наблюдения $\xi_Д$. Шум наблюдения $\xi_Д$ имитируется датчиком случайных чисел.

Из рисунка 1 видно, что зависимость дальности Д между ИИС УВД и ВС имеет нелинейный характер. Нелинейный характер движения ВС увеличивает динамическую ошибку калмановского фильтра дальномерного канала.

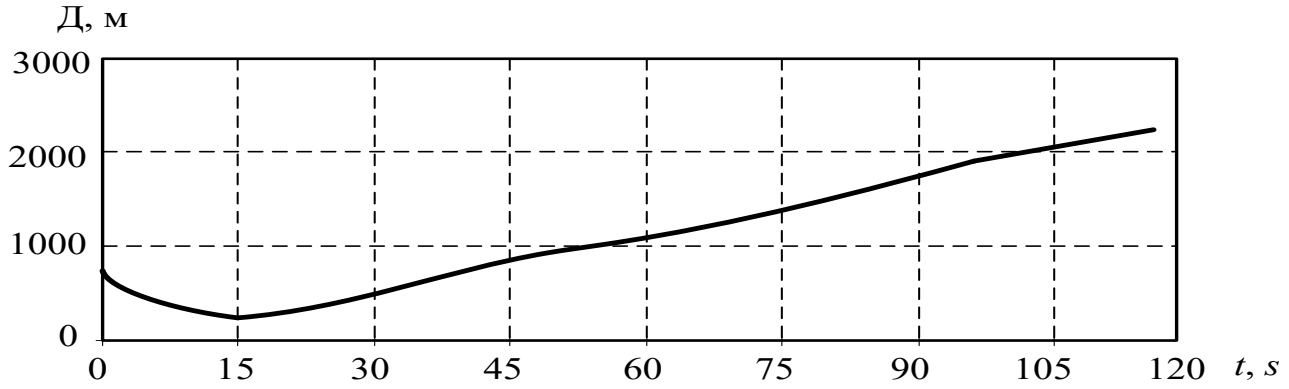


Рис. 1. Изменение дальности при совершении воздушным судном маневра «Вираж»

Реальная точность оценивалась по величине средней квадратичной ошибки оценок *D*, *V* и *a* по 100 реализациям по формуле

$$\sigma_{x_р}(k) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{N}\left(x(k) - x_{oj}(k)\right)^2}{N-1}}, \qquad (17)$$

где $\sigma_{x_р}(k)$ – средняя квадратичная ошибка оценивания фазовой координаты цели; $x(k)$– истинные значения фазовых координат (Д, *V*, *a*) ВС; $x_{oj}(k)$ – оценочные значения фазовых координат цели *j*-й реализации; *N* – количество реализаций.

Имитационное моделирование проводилось для двух случаев. В первом случае в дальномерном канале используется $(\alpha-\beta-\gamma)$-фильтр, во втором случае – алгоритм (10) – (16). На рисунке 2 приведены графики изменения во времени средних квадратичных ошибок оценки фильтрации дальности Д, скорости *V* и ускорения *a* по линии визирования между ИИС УВД и ВС. Как видно из рис. 2, при совершении ВС маневра «Вираж» средние квадратичные ошибки оценки Д, *V* и *a* меньше при использовании зингеровской модели ВС (кривая *2*), чем при использовании $(\alpha-\beta-\gamma)$-фильтра (кривая *1*).

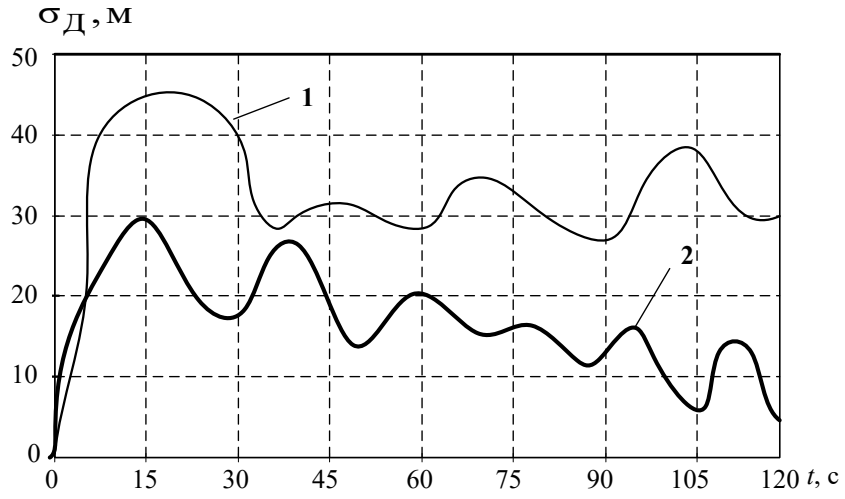


Рис. 2. Средние квадратичные ошибки оценки фильтрации дальности

Таким образом, на примере маневра «Вираж» можно сделать вывод, что использование зингеровской модели ВС в дальномерном канале ИИС УВД позволяет повысить точность оценки дальности по сравнению с $(\alpha-\beta-\gamma)$-фильтром.

Библиографический список

1. Pudovkin, A. P., Panasyuk, Yu. N., Danilov, S. N., Moskvitin, S. P. Synthesis of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters // Journal of Physics: Conference Series, Volume 1015, Issue 3, article id. 032111 (2018).

2. Панасюк, Ю. Н. Обработка радиолокационной информации в радиотехнических системах : учебное пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2016. – 84 с.

3. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.

4. Данилов, С. Н. Алгоритм функционирования системы угловой коррекции наземной подвижной антенны, синтезированный на основе систем со случайным изменением структуры / С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С 55 – 59.

5. Kurnosov R. Yu. Improving Metrological Reliability of Information-Measuring Systems Using Mathematical Modeling of Their Metrological Characteristics / R. Yu. Kurnosov, T. I. Chernyshova, V. N. Chernyshov // Journal of Physics: Conference Series – International Conference on Information Technologiess in Business and Industry 2018, ITBI 2018; Volume 1015, Issue 3, 22 May 2018.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ ПЕРЕДАТЧИКА НА ВЕЛИЧИНУ ОШИБОК В КАНАЛЕ СВЯЗИ

Е. А. Антонов, К. Д. Раев

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: e.a-nov98@mail.ru, faleot1998@gmail.com)

Наиболее эффективным видом модуляции на данный момент является OFDM-модуляция. Она используется в таких стандартах, как: DVB-T2, 4G LTE, wi-fi (IEE 802.11). Для передачи такого сложного сигнала, как сигнал OFDM, необходимо обеспечить его усиление без искажения. Однако на выходе OFDM-модулятора сигнал сильно изменяется по амплитуде. Другими словами, системы с данным видом модуляции имеют крайне высокий пик-фактор.

Кроме того, во многих случаях и другие виды сигналов, использующиеся в радиосвязи, требуют линейного усиления по мощности в передатчике из-за наличия амплитудной модуляции.

Передатчики, выполненные по традиционной схеме, имеют низкий КПД, обусловленный необходимостью работы усилителя мощности (УМ) в линейном режиме. Высокие энергозатраты не позволяют использовать их в мобильных устройствах связи. Поэтому целесообразнее использовать схемы нелинейных усилителей, но при этом все же обеспечить линейное усиление сигнала. Для решения этой задачи используют различные подходы. Одним из методов является применение усилителей с кусочно-линейной амплитудной характеристикой [1]. При этом снижается величина пик-фактора, но возрастают искажения сигнала, а следовательно, и величина битовых ошибок.

Зависимость количества возникающих ошибок от коэффициентов усиления и пороговых значений нелинейного усилителя мощности рассмотрена в ходе данного исследования.

На рисунке 1 показана кривая, которая изображает амплитудную характеристику нелинейного усилителя мощности. Уменьшая коэффициент К2, можно добиться значительного снижения пик-фактора, однако такое изменение влечет за собой критический рост ошибок.

На рисунке 2 показаны графики квадратур сигналов на входе (красная кривая) и на выходе усилителя (синяя кривая), соответствующее фазовое созвездие – на рис. 3.

В данном случае коэффициент К2 незначительно отличался от К1.

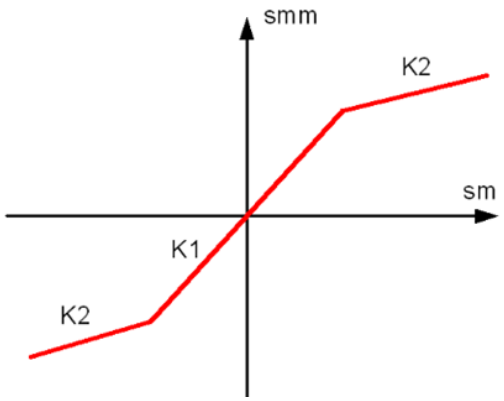


Рис. 1. Амплитудная характеристика УМ

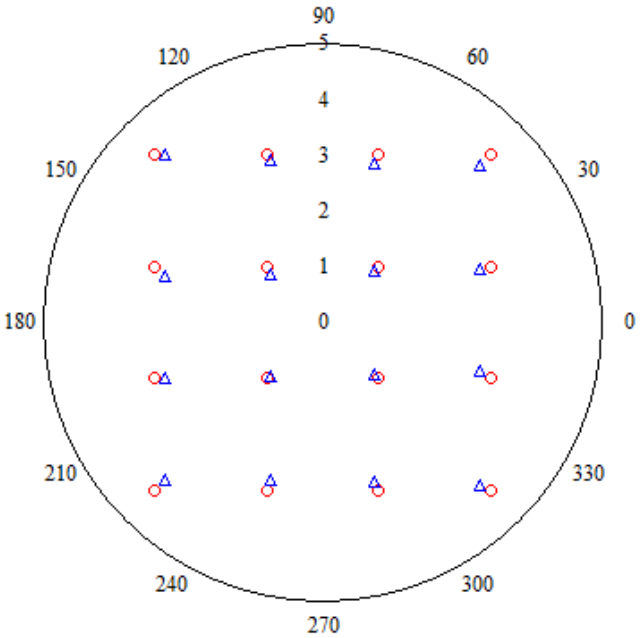


Рис. 2. Квадратуры сигнала

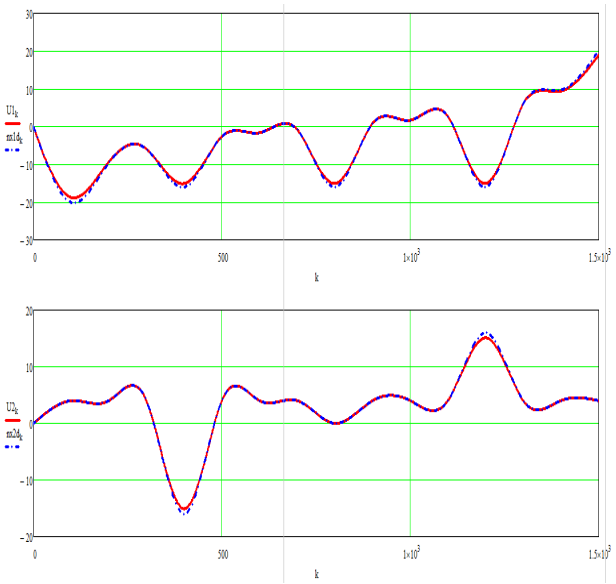


Рис. 3. Фазовые созвездия

На рисунках 4 и 5 показаны те же графики, но для более сильного отличия К2 от К1. Видно, что пики амплитуды квадратур сигнала уменьшились (снизился пик-фактор), но возросли отличия фазового созвездия сигнала на входе и выходе передатчика.

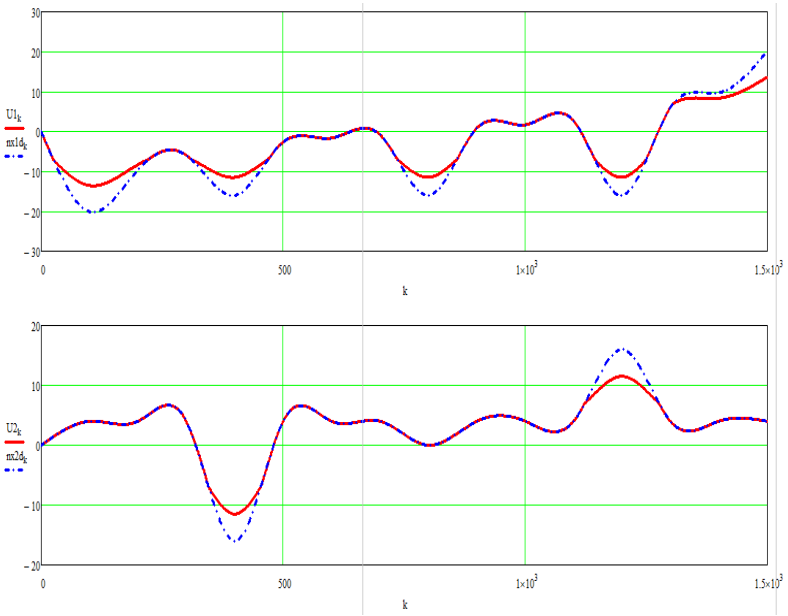


Рис. 4. Квадратуры сигнала

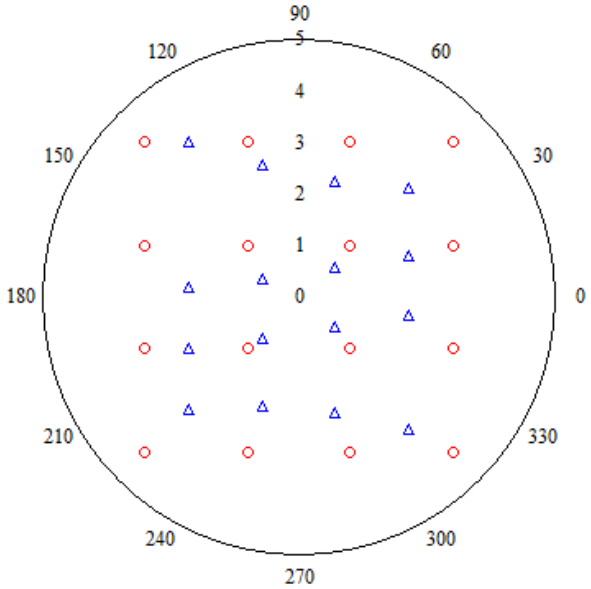


Рис. 5. Фазовые созвездия

Как видно из графиков, уменьшение коэффициента К2 приводит к возникновению бóльших ошибок.

Моделирование работы УМ позволило получить количественные оценки степени снижения пик-фактора и увеличения количества ошибок. При равенстве коэффициентов К1 и К2 ошибки настолько малы, что можно не брать их

во внимание, однако в этом случае усилитель превращается из нелинейного в линейный, а значит, и значение пик-фактора не уменьшается. Если же принять значение коэффициента К2 как одну десятую К1, то получим снижение пик-фактора примерно на 30%, однако значения ошибок, как средней, так и максимальной, увеличиваются до 1,349 и 2,186 соответственно при максимально допустимой условной величине 1.

Подобное исследование было проведено для оценки влияния величины порогового значения PR при неизменных коэффициентах усиления К1 и К2. На графиках ниже заметно, как при снижении порогового значения возрастают ошибки.

Однако уменьшение порогового значения влияет на величину ошибок в меньшей степени, чем уменьшение К2.

На основе полученных в ходе исследования количественных значений были построены графики зависимостей максимальной и средней ошибок от значений К2 (рис. 6).

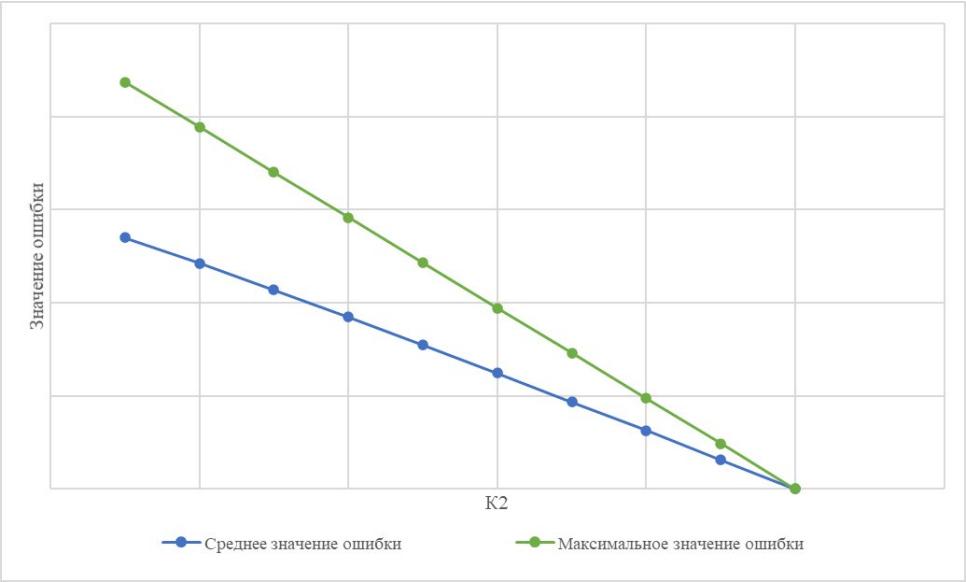


Рис. 6. Изменение величины ошибок

Механизм мультиплексирования или уплотнения с помощью использования ортогональных поднесущих частот часто определяет технологию построения систем связи с OFDM [2]. Положительные стороны такой технологии включают достаточно высокую устойчивость к межсимвольным помехам, связанным с многолучевым распространением сигналов, простую аппаратную реализацию, основанную на цифровой обработке сигналов, а также возможность использования различных методов модуляции для каждой поднесущей частоты [3, 4], что определяет скорость передачи информации и помехоустойчивость системы

связи [5]. Но неидеальность современных приемников и передатчиков, их фазовые шумы ограничивают эффективность работы таких систем связи.

Рассмотренные практические аспекты реализации технологии OFDM и анализ параметров компандирования, необходимых для обеспечения эффективной работы радиопередатчиков, а именно снижение энергетических затрат при работе передатчика за счет ограничения пик-фактора излучаемого сигнала, дают возможность провести оптимизацию этих параметров. Известно, что рост пик-фактора негативно сказывается на сложности конструкции высокочастотного тракта от усилителей до антенны, ведет к снижению КПД высокочастотного оборудования, приводит к увеличению нелинейных искажений [6]. Возможность такой оптимизации обусловлена соответствующим выбором значения величин коэффициентов усиления УМ и величины порога PR.

Библиографический список

1. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.

2. Панасюк, Ю. Н. Метод повышения точности третичной обработки информации с применением динамических весовых коэффициентов / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин, А. И. Рогачев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – № 4. – С. 595–596.

3. Synthesis of channel tracking for random process parameters under discontinuous variation / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк, С. Н. Данилов, С. П. Москвитин // Journal of Physics: Conference Series. Volume 1015, Issue 3, article id. 032112, pp. 1.

4. Алгоритм дальномерного канала с учетом информации бортовых датчиков воздушных судов / Ю. Н. Панасюк, С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, И. В. Князев // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 60 – 63.

5. Прогнозирование квазигармонического сигнала в пространстве состояний / С. Н. Данилов, Н. А. Кольтюков, Т. И. Чернышова, С. В. Петров // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2016. – № 3. – – 380.

6. Данилов, С. Н. Алгоритм функционирования системы угловой коррекции наземной подвижной антенны, синтезированный на основе систем со случайным изменением структуры / С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 55 – 59.

ОПТИМИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК НЕЛИНЕЙНОГО УСИЛИТЕЛЯ ПЕРЕДАТЧИКА С OFDM-МОДУЛЯЦИЕЙ

Е. А. Антонов, К. Д. Раев, С. Н. Данилов

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: e.a-nov98@mail.ru, faleot1998@gmail.com, plabz@mail.ru)

Общепризнаны преимущества технологии мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов (OFDM), все шире применяющейся в современных телекоммуникационных технологиях.

В основе подхода лежит алгоритм преобразования Фурье. Синтетическим методом создается сигнал, из которого обратным быстрым преобразованием Фурье (ОБПФ) получается сигнал OFDM. Спектр такого сигнала уже состоит из большого количества ортогональных поднесущих. В отдельности формируются квадратурные сигналы как мнимая и реальная часть синтезируемого сложного сигнала, а затем происходит его объединение и передача в антенну.

При использовании таких методов модуляции возникает серьезная проблема с усилением модулированного сигнала, который сильно меняется по амплитуде (рис. 1).

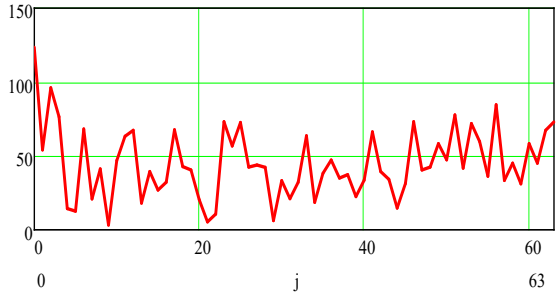


Рис. 1. Изменение амплитуды сигнала после ОБПФ

Для исследования этого явления была создана цифровая модель [1], на основе которой получены количественные характеристики метода, в частности пик-фактор сигнала. В качестве метода борьбы с увеличенным значением пик-фактора может быть выбран метод предыскажения.

Моделирование показало, что при кусочно-линейном сжатии и достаточном соотношении сигнал/шум коэффициент ошибок при оптимальном выборе параметров сжатия довольно невелик [2].

Соответствующее фазовое созвездие, построенное при моделировании, показано на рис. 2, где красным цветом показаны точки идеальной модуляции, а синим – точки, полученные в реальных условиях.

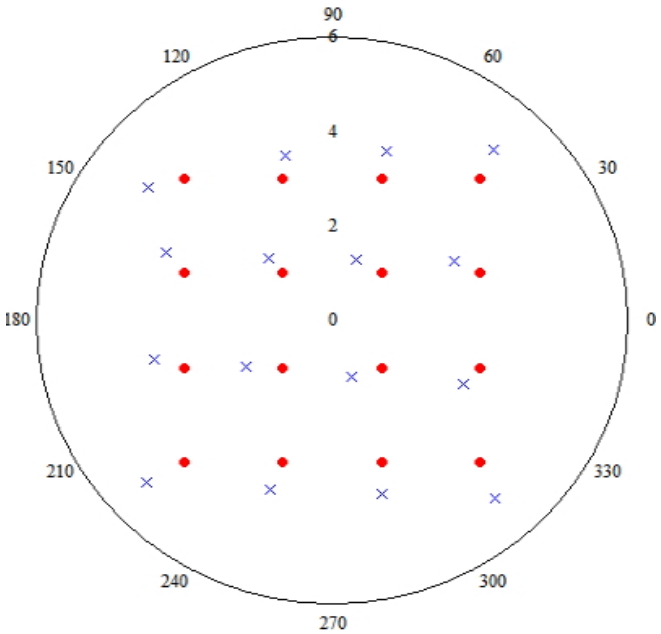


Рис. 2. Фазовое созвездие

Рассмотрим зависимость величины ошибки воспроизведения точек фазового созвездия от коэффициента наклона второй части амплитудной характеристики К2 и величины порогового значения (точки перехода от К1 к К2) (рис. 3).

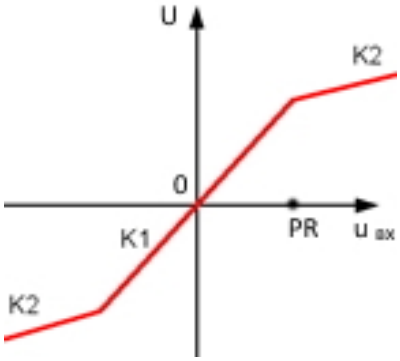


Рис. 3. Амплитудная характеристика УМ

Моделирование работы передатчика с сигналом OFDM показало, эти зависимости выглядят следующим образом (рис. 4, 5).

Поскольку невозможно сильно уменьшить значение пик-фактора без возникновения большого числа ошибок изменением одного параметра, то была решена задача нахождения оптимального значения сочетания параметров К2 и PR.

На основе полученных при моделировании данных был построен трехмерный график двух плоскостей, одна из которых характеризует снижение пик-фактора в процентном соотношении относительно исходного значения в зависимости от величины порога и значения К2, а вторая – изменение значения средней ошибки в зависимости от тех же величин (рис. 6).

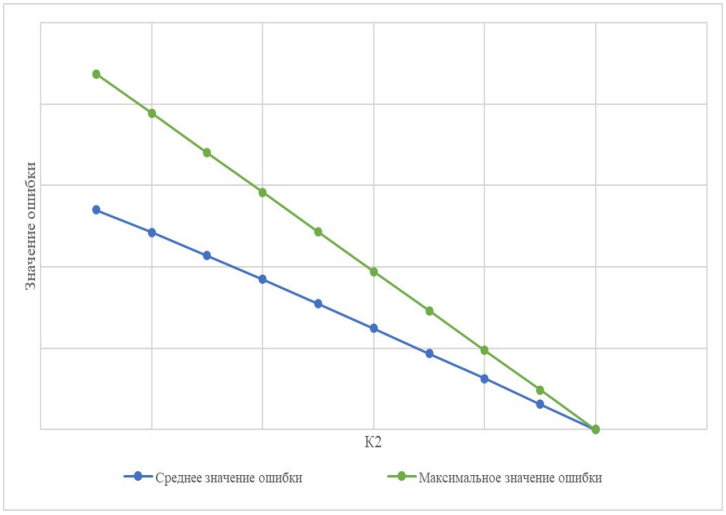


Рис. 4. Зависимость величины ошибки воспроизведения точек фазового созвездия от коэффициента К2

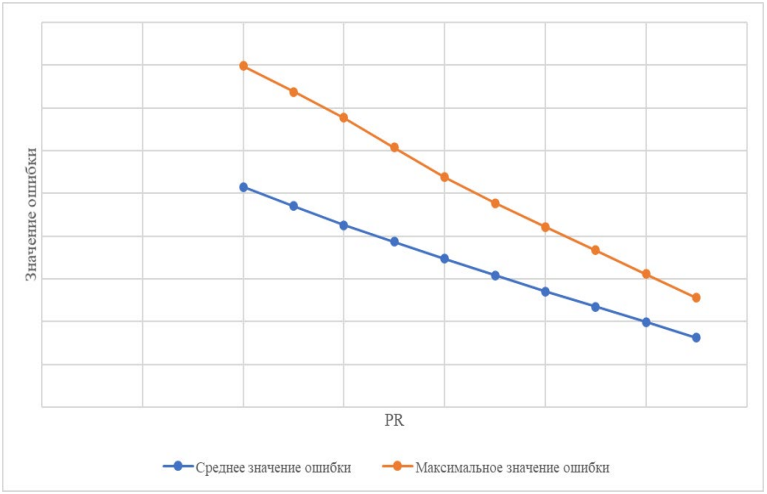


Рис. 5. Зависимость величины ошибки воспроизведения точек фазового созвездия от величины PR

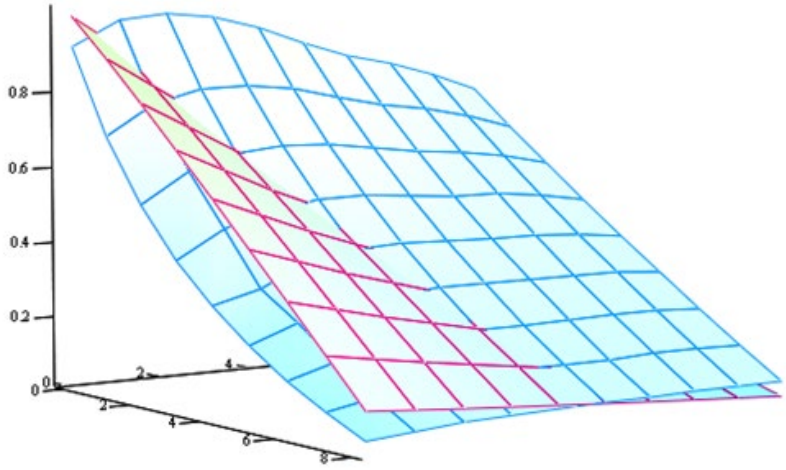


Рис. 6. Трехмерный график изменения пик-фактора и величины средней ошибки в зависимости от значений К2 и PR

Линия пересечения этих двух плоскостей позволяет определить значения PR и К2, которые будут оптимальны для данного нелинейного усилителя мощности.

Таким образом, определив оптимальные пороговые значения и значения коэффициента усиления К2, можно получить усилитель мощности, который при нелинейной амплитудной характеристике обеспечивает близкое к линейному усиление сигнала, что в свою очередь приводит к снижению пик-фактора сигнала без критического увеличения значений ошибок.

Библиографический список

1. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.

2. Панасюк, Ю. Н. Метод повышения точности третичной обработки информации с применением динамических весовых коэффициентов / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин, А. И. Рогачев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – № 4. – С. 595–596.

3. Synthesis of channel tracking for random process parameters under discontinuous variation / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк, С. Н. Данилов, С. П. Москвитин // Journal of Physics: Conference Series. Volume 1015, Issue 3, article id. 032112, pp. 1.

4. Алгоритм дальномерного канала с учетом информации бортовых датчиков воздушных судов / Ю. Н. Панасюк, С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, И. В. Князев // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 60 – 63.

5. Прогнозирование квазигармонического сигнала в пространстве состояний / С. Н. Данилов, Н. А. Кольтюков, Т. И. Чернышова, С. В. Петров // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2016. – № 3. – – 380.

6. Данилов, С. Н. Алгоритм функционирования системы угловой коррекции наземной подвижной антенны, синтезированный на основе систем со случайным изменением структуры / С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 55 – 59.

МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ СРЕДНЕГО В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ГАУССОВСКИХ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН

А. А. Балашов, Т. А. Истомина, П. А. Абрашкин

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(*e-mail: balashovalexei@yandex.ru*)

Алгоритмическое обеспечение метода обнаружения изменения среднего в последовательности гауссовских случайных величин имеет следующий вид (рис. 1).

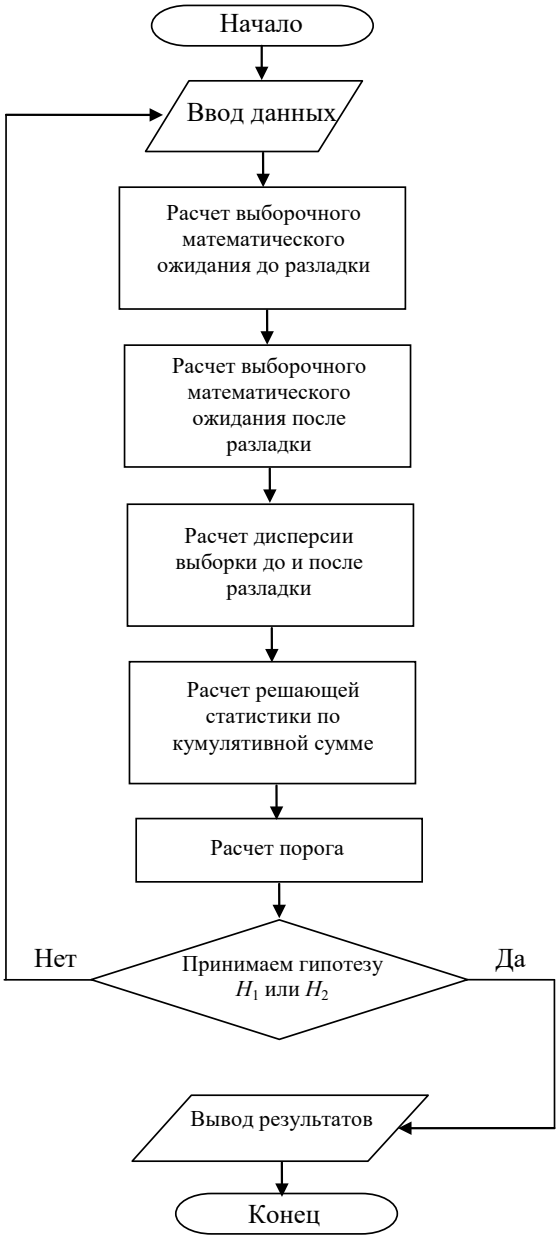


Рис. 1. Алгоритм метода обнаружения изменения среднего в последовательности гауссовских случайных величин

Исходные данные имеют следующий вид (рис. 2).

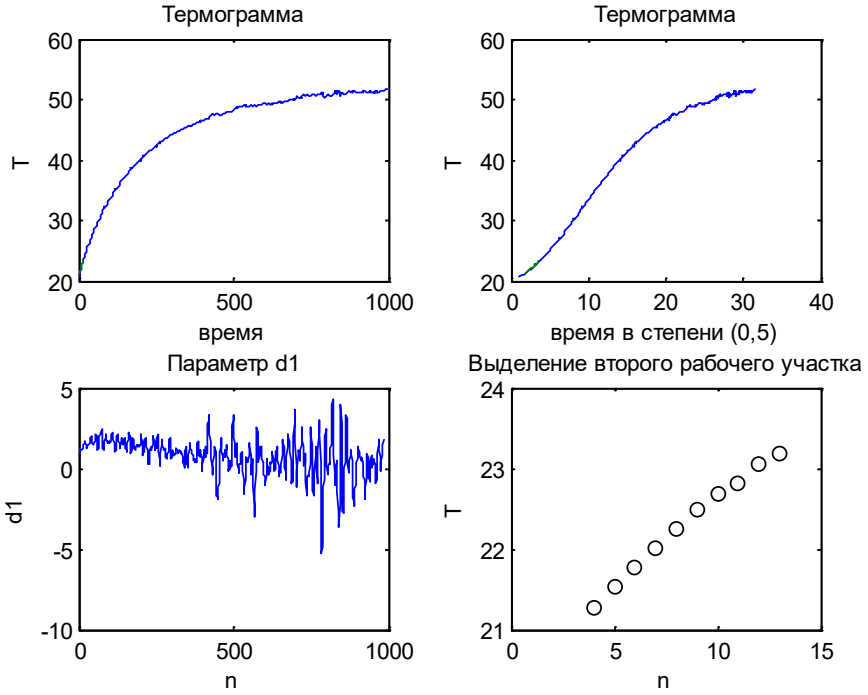


Рис. 2. Зависимости для выделения второго рабочего участка термограммы для материала ПТФЭ № 5

Результаты представлены на рис. 3.

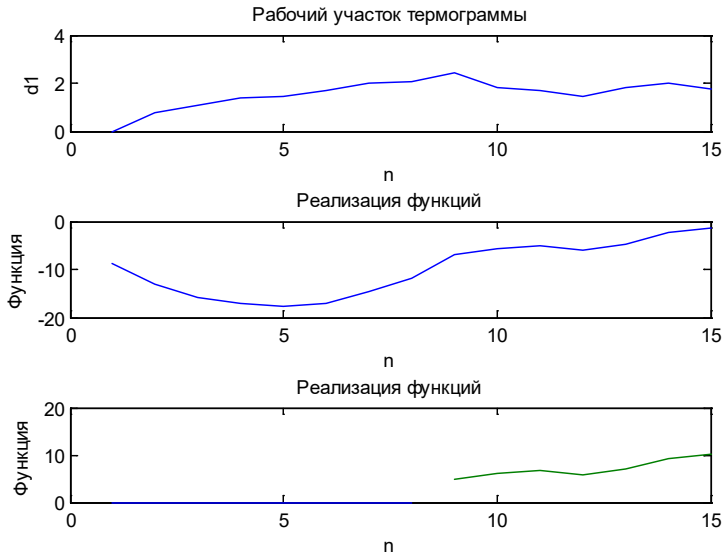


Рис. 3. Реализация функции второго рабочего участка термограммы для материала ПТФЭ № 5

Таким образом, возможно применение метода обнаружения изменения среднего в последовательности гауссовских случайных величин для выделения структурного перехода в полимере.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ВОЙСКОВЫХ РЕМОНТНЫХ ОРГАНОВ ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ НЕИСПРАВНЫХ СРЕДСТВ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЕТОВ АВИАЦИИ

С. И. Буробин, И. С. Назмутдинов

ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Россия
(e-mail: nazmutdinov71@mail.ru)

Восстановление неисправных средств радиолокационного обеспечения (РЛО) полетов авиации будет осуществляться войсковыми ремонтными органами, которые располагают соответствующим фондом рабочего времени (ФРВ). Под войсковыми ремонтными органами (ВРО) будем понимать часть (подразделение), которая укомплектована личным составом соответствующей специальности и имеющая необходимые средства и материалы для ремонта РЭТ [1].

Основными показателями эффективности работы ВРО являются [2]:

– средняя продолжительность ремонта образца РЭТ в ВРО – $t_р$;
– средняя трудоемкость ремонта образца РЭТ в ВРО – $h_р$;
– производственные возможности ВРО – $П$.

Производственные возможности ВРО показывают, сколько ремонтов он может провести на средствах РЛО определенного типа в течение суток [3].

Суть расчета этого показателя состоит в том, что значение производственных возможностей ВРО по ремонту средства РЛО i-го типа ($П_i$) определяется как отношение суточного фонда рабочего времени к средней трудоемкости ремонта [3]:

$$П_i = \frac{Ф_i}{H_i}, \tag{1}$$

где $Ф_i$ – суточный фонд рабочего времени ВРО по ремонту неисправного средства РЛО i-го типа; H_i – трудоемкость по ремонту неисправного средства РЛО i-го типа.

Под суточным фондом рабочего времени понимается количество человеко-часов, которое данный ВРО может выделить на ремонт неисправного средства РЛО в сутки [4]. Суточный фонд рабочего времени определяется следующим образом [3]:

$$\Phi_i = M_i k_{\text{уч}} k_{\text{гот}} T_i, \qquad (2)$$

где M_i – количество ремонтников, участвующих в восстановлении образца i-го типа; $k_{\text{уч}}$ – коэффициент участия ремонтника в проведении работ; $k_{\text{гот}}$ – коэффициент готовности личного состава ВРО к проведению работ; T_i – среднее время работы ВРО в сутки по восстановлению образца i-го типа.

Среднесуточное время работы ВРО по восстановлению поврежденного образца РЭТ i-го типа можно определить по формуле [3]

$$T = 24 - \sum_{i=1}^{U} \left[\left(t_{\text{пер}_i} + t_{\text{под}_i} \right) - t_{\text{нп}_i} \right], \qquad (3)$$

где U – количество перемещений ВРО в сутки; $t_{\text{пер}}$ – время, затраченное на перемещение ВРО; $t_{\text{под}}$ – время подготовки района развертывания ВРО; $t_{\text{нп}}$ – непроизводственные потери.

Специалисты-ремонтники – это офицеры, прапорщики, сержанты и солдаты, являющиеся командирами ремонтных подразделений, специалистами по определенному виду ремонтных операций, а также водителями подвижных ремонтных мастерских. Участие всех их в ремонте неодинаковое. Так, командиры подразделений и специалисты-водители могут заниматься ремонтом не более 50% рабочего времени, так как кроме ремонта первые занимаются управленческой деятельностью, а вторые – обслуживанием закрепленных автомобилей. Поэтому для всех ремонтников вводится коэффициент участия. Для командиров подразделений и ремонтников-водителей он будет равным 0,5, а для остальных – от 0,7 до 1 (в зависимости от степени привлечения их к ремонту).

Коэффициент готовности личного состава $k_{\text{гот}}$ – это показатель готовности специалистов-ремонтников проводить работы по восстановлению РЭТ в различных условиях боевых действий. Он состоит из нескольких составляющих:

$$k_{\text{гот}} = k_{\text{кв}} k_{\text{м}}, \qquad (4)$$

где $k_{\text{кв}}$ – коэффициент квалификации специалистов-ремонтников; $k_{\text{м}}$ – коэффициент, учитывающий природно-климатические условия.

Коэффициент квалификации определяется индивидуально для каждого специалиста-ремонтника в зависимости от уровня его подготовленности и опыта работ по восстановлению неисправных средств РЛО [3].

Коэффициент, учитывающий природно-климатические условия, показывает, насколько качественно будут решаться специалистами-ремонтниками поставленные задачи, особенно в сложных условиях. Он может изменяться от 0 до 1.

Установлено, что уменьшение температуры воздуха ниже –20 °С или увеличение выше +30 °С, а также выпадение обильных осадков в виде снега или дождя увеличивают время выполнения работ на 20%, а работа ночью с ограниченным использованием осветительных приборов увеличивает время выполнения ремонтных работ на 25% [3].

Таким образом, используя выражение (2), суточный фонд рабочего времени по ремонту поврежденного образца РЭТ *i*-го типа определяется следующим образом:

$$\Phi_i = \left[(m_i + o_i)\,0{,}5 + \Delta M_i k\right]\ T\ k_{\text{кв}}\ k_{\text{м}}, \qquad (5)$$

где m_i – количество водителей-ремонтников, участвующих в ремонте образца РЭТ *i*-го типа; o_i – количество офицеров-ремонтников, участвующих в ремонте образца РЭТ *i*-го типа; ΔM_i – количество других специалистов-ремонтников, участвующих в ремонте образца РЭТ *i*-го типа.

Библиографический список

1. ГОСТ 18322–78. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. – М. : Стандарт, 1980.

2. Дергач, В. И. Организация и управление инженерно-радиоэлектронным обеспечением боевых действий Радиотехнических войск. Ч. II. Прогнозирование и восполнение боевых потерь радиолокационного вооружения : конспект лекций / В. И. Дергач, В. М. Ильинков, С. А. Пасхин. – Харьков : ВИРТА ПВО, 1980.

3. Восстановление эксплуатационных свойств радиоэлектронных систем : методические рекомендации / А. П. Ковтуненко и др. – М. : МО СССР, 1980.

4. Ломанович, А. А. Анализ факторов, обуславливающих необходимость совершенствования способов восполнения РЭТ. Деп. № А29428 : сб. реф. деп. рук. Серия А. / А. А. Ломанович, И. С. Назмутдинов. – М. : ЦСИФ МО РФ, 2007. – Вып. 3(96).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РЕМОНТНЫХ ОРГАНОВ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ НЕИСПРАВНЫХ СРЕДСТВ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЕТОВ АВИАЦИИ

С. И. Буробин, И. С. Назмутдинов

ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Россия
(e-mail: nazmutdinov71@mail.ru)

Разрабатываемая методика моделирования процесса функционирования ремонтных органов (РО) при восстановлении неисправных средств радиолокационного обеспечения полетов авиации отличается от известных использованием при моделировании целочисленных значений трудоемкости ремонта образца вооружения ($H_{sj}^{\text{вр}}$), действительного фонда рабочего времени (Φ_{ji}) ремонтных подразделений РО, привлекаемых для ремонта этого образца. Использование при моделировании процесса функционирования РО методов динамического целочисленного программирования [1 – 5] обусловлено тем, что при решении задач, стоящих перед РО, приходится иметь дело с поиском оптимальных значений некоторых переменных, принимающих только целые (положительные) значения: количество подвижных средств технического обслуживания и ремонта (ПСТОиР); количество специалистов-ремонтников; возможное количество ремонтных групп, формируемых за счет сил и средств рассматриваемых РО и т.д. Дробные значения не имеют смысла в рамках реальной задачи принятия рационального решения, т.е. оказываются нереализуемыми.

При планировании и организации различного рода ремонтных работ возникает следующая задача рационального распределения ресурсов ремонтных подразделений РО [5]. Имеется N ремонтных подразделений, состоящих из $\{n_j\}$ (j = 1, ..., N) ПСТОиР, силами которых необходимо на каждом из M объектов ремонта выполнить определенную совокупность $\{m_i\}$, (i = 1, ..., M) независимых работ (операций ремонта). Под объектом ремонта в статье понимается образец средства радиолокационного обеспечения полетов авиации, отказавший вследствие ограниченной технической надежности и требующий проведения восстановительного ремонта. На объект ремонта выделяется по одному подразделению в полном составе. Возможности подразделений задаются матрицами

$$\left\| t_{kl}^{ij} \right\| \quad (i = 1, ..., M; j = 1, ..., N; k = 1, ..., m_i; l = 1, ..., n_i), \tag{1}$$

где t_{kl}^{ij} – временные затраты на производство k-й работы на i-м объекте ремонта l-м средством ПСТОиР j-го ремонтного подразделения.

Предполагается, что каждая работа может быть выполнена любым из параллельно работающих ПСТОиР (в противном случае соответствующие затраты считаем бесконечно большими). Начатая работа не прерывается для передачи другому средству. По завершении всех работ на одном объекте ремонта ремонтное подразделение может перемещаться на другой объект. Время на перемещение задается матрицей

$$\left\| \tau_{ir}^{j} \right\| \quad (i, r = 1, ..., M, j = 1, ..., N), \tag{2}$$

где $\left\| \tau_{ir}^{j} \right\|$ – время перемещения j-го ремонтного подразделения от i-го объекта ремонта к r-му (перемещениями внутри объекта пренебрегаем).

Требуется распределить ремонтные подразделения между объектами ремонта таким образом, чтобы обеспечить минимальное время завершения всего множества $\{m_i\} = (i = 1, \ldots, M)$ ремонтных работ.

Математически задача сводится к разбиению множества M объектов ремонта на N контуров $M_i \subseteq M\,(j = 1, \ldots, N)$, которые обеспечивают минимум целевой функции

$$T = \max_{j} \sum_{i, r \in M_j} \left(\tau_{ir}^{j} + T_{rj} \right), \tag{3}$$

где T_{rj} – время завершения работ на r-м объекте ремонта j-м ремонтным подразделением.

Если ремонтные подразделения $j_1, j_2, \ldots, j_{N_1}$ до начала ремонтных работ расположены на объектах $i_1, i_2, \ldots, i_{N_1}$, а остальные $(N - N_1)$ – на объекте i^*, должны выполняться условия

$$M_{jk} \cap M_{jl} = \phi, \quad M_{jp} \cap M_{js} = i^*, \tag{4}$$

$$k, l = 1, ..., N1, \quad k \neq l, \quad p, s = N_1 + 1, ..., N, \quad p \neq s, \tag{5}$$

$$1 \leq |M_j| < P_j, j = 1, ..., N, \tag{6}$$

$$\bigcup_{j=1}^{N} M_j = M. \tag{7}$$

где P_j – ограничение на число объектов ремонта, назначенных *j*-му ремонтному подразделению.

Очевидно, что минимизация (3) имеет смысл в том случае, когда время завершения работ T_{rj} соответствует оптимальному распределению n_j средств ПСТОиР между m_r ремонтными работами, т.е. такому разбиению множества ремонтных работ $K^r = \{1,\ldots,m_r\}$ на непересекающиеся подмножества $K_l^r \subseteq K^r$ $\left(l = 1,\ldots,n_j\right)$, которое обеспечит

$$T_{rj} = \min \max \sum_{k \in K_l^r} t_{kl}^{rj}, \quad k = 1,...,m; \quad l = 1,...,n; \; j = 1,\ldots,N; \quad r = 1,\ldots,M, \tag{8}$$

при ограничениях: $K_p^r \bigcap K_s^r = \phi, \quad p,s = 1,...,n_j, \quad p \neq s,$

$$\bigcup_{i=1}^{n_j} K_l^r = K^r, \quad 0 \le \left|K_l^r\right| \le P_{rl}^j,$$

где P_{rl}^j – допустимое число ремонтных работ, назначаемых *l*-му средству ПСТОиР *j*-го ремонтного подразделения на *r*-м объекте ремонта.

Таким образом, величины T_{rj} определяются путем решения минимаксной комбинаторной задачи (5).

Библиографический список

1. Алексеев, О. Г. Комплексное применение методов дискретной оптимизации / О. Г. Алексеев. – М. : Наука, 1987.

2. Вентцель, Е. С. Динамическое программирование / Е. С. Вентцель. – М. : Наука, 1980.

3. Арис, Р. Дискретное динамическое программирование. Введение в оптимизацию многошаговых процессов / Р. Арис ; пер. с англ. Ю. П. Плотникова. – М. : Мир, 1969.

4. Беллман, Р. Прикладные задачи динамического программирования / Р. Беллман, С. Дрейфус ; пер. с англ. Н. М. Митрофановой, А. А. Первозванского, А. П. Хусу, О. В. Шалаевского. – М. : Наука, 1965.

5. Саати, Т. Целочисленные методы оптимизации и связанные с ними экстремальные проблемы / Т. Саати ; пер. с англ. В. Н. Веселова.– М. : Мир, 1973.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ УДАРНОЙ АВИАЦИЕЙ В УСЛОВИЯХ МОБИЛЬНОСТИ ЦЕЛЕЙ

***Д. В. Бут*[1], *В. А. Васильев*[1], *А. В. Васильев*[2]**

[1]*ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Россия,*

[2]*ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России, Московская область, Мытищи, Россия*

Наблюдаемые изменения в характере современных военных конфликтов, а также возрастающая интенсивность применения в них всех средств вооруженной борьбы делают невозможной победу без автоматизированной системы управления (АСУ) войсками (силами). Поэтому наряду с другими реалиями концерном ОАО «Концерн «Созвездие» была создана «Единая система управления войсками и оружием в тактическом звене (ТЗ) Вооруженных Сил» – система «Созвездие-М2».

К одному из важнейших показателей боевой эффективности применения АСУ «Созвездие-М2» относят возможности создаваемых временных разведывательно-ударных (огневых) комплексов (РУК). Применительно к авиации ВКС реализация потенциальных возможностей РУК может основываться только на научно обоснованном подходе к оценке эффективности управления пилотируемыми и беспилотными ударными авиационными комплексами (УАК) боевыми расчетами (БР) пунктов управления подсистемы управления авиацией (ПУА), являющейся структурным элементом АСУ «Созвездие-М2». Разработка и развитие такого подхода, учитывающего особенности построения и функционирования ПУА в составе АСУ ТЗ, а также имеющийся опыт организации РУК оперативного и тактического уровня, на взгляд авторов статьи, является актуальной научной задачей.

В дальнейшем под эффективностью управления будем понимать совокупный результат эффективностей системы управления и самого процесса управления. Эффективность системы управления – как частный случай эффективности боевых действий характеризуется действенностью системы управления через показатели ее внутренней эффективности. В свою очередь эффективность процесса управления – как частный случай эффективности системы управления характеризует результативность самого процесса воздействия системы на ОУ и оценивается через внешние показатели.

Один из широко известных и применяемых на практике подходов основывается на понимании цели любого управления – повышение эффективности ОУ.

В свою очередь цель АСУ – повышение эффективности управления. Отсюда эффективность управления и эффективность АСУ необходимо оценивать через эффективность ОУ. Эффективность управления (исходя из цели управления) оценивается относительным приростом эффективности ОУ за счет управления:

$$W_{\text{упр}} = W_{\text{ОУ}}^{\text{С УУП}} - W_{\text{ОУ}}^{\text{БЕЗ УУП}}, \qquad (1)$$

где $W_{\text{ОУ}}^{\text{С УУП}}$ – эффективность ОУ при наличии управления; $W_{\text{ОУ}}^{\text{БЕЗ УУП}}$ – эффективность ОУ при отсутствии управления.

Аналогичным образом оценивается эффективность АСУ.

Данный подход использовался при оценке эффективности АСУ ТЗ в ходе выполнения 2-го этапа комплексной проверки в 2015 году. В применяемой методике под эффективностью АСУ ТЗ понимается способность системы своевременно и качественно решать задачи по управлению тактическими воинскими формированиями с целью максимальной реализации их боевых возможностей. За интегральный критерий, соответствующий основной цели создания и применения АСУ ТЗ, принималась боевая эффективность автоматизированной системы, оцениваемая приростом эффективности боевых действий войск (сил) за счет применения в работе БР программно-технических комплексов (ПТК).

Как показал анализ этого и других известных подходов оценить вклад, вносимый ПУА в достижение целевой функции УАК с количественной точки зрения, для практики представляется сложной и трудоемкой задачей. Кроме того, в них не учитываются неопределенные влияющие факторы, а также динамика изменения тактической обстановки.

В основе авторской разработки рассматриваемого подхода лежит анализ алгоритма целеуказания и наведения УАК от опорного ориентира с боевым курсом на цель с учетом влияния различных факторов обстановки (в том числе, неопределенных) [1]. За показатель эффективности управления, характеризующий степень достижения цели управления, принимается вероятность выполнения операции управления в «полном объеме» ($P_{\text{по}}$). В качестве эффективности функционирования УАК используется частный критерий – вероятность выхода УАК на цель ($P_{\text{вых}}$), на величину которого ПУА оказывает непосредственное влияние. Событие выхода на цель объединяет два взаимосвязанных события: обнаружение цели и исправление ошибок выхода: ошибок самолетовождения (навигации) ($\sigma_{\text{нав}}$); ошибок определения координат цели ($\sigma_{\text{ц}}$); ошибок прогнозирования ($\sigma_{\text{прогн}}$) местоположения цели в момент выхода УАК на линию боевого пути (для подвижных целей).

Минимальная погрешность в определении координат цели на момент выхода УАК в район цели равна $l_ц$ (для неподвижной цели), максимальная (для подвижной цели) будет дополнительно определяться ошибками прогнозирования, скоростью движения цели ($V_ц$) и временем t старения информации о ее состоянии.

Дальнейшие рассуждения приведем для случая подвижной цели и с учетом некоторых условий и соглашений.

Условие 1. В случае выполнения операции управления УАК в полном объеме цель управления считается достигнутой. Тогда, если оставить за рамками рассмотрения влияние ошибок $\sigma_{нав}$, успех выхода УАК на наземную цель будет определяться только ошибками $\sigma_ц$. Данное условие ставит в соответствие верхнюю границу возможностей ПУА эффективности УАК при наличии управления (1). При этом погрешность в оценке местоположения цели на момент выхода УАК в район цели минимальна и определяется качеством разведывательного обеспечения.

Условие 2. В случае срыва управления под воздействием преднамеренных помех определяется эффективность УАК без управления (1). В этой ситуации к ошибке определения местоположения цели добавляется ошибка прогноза.

Для формализации оценочного аппарата воспользуемся результатами исследования [2, 3] эффективности управления авиацией при целеуказании и наведении на наземные цели с использованием информационно-боевого показателя, количественно равного вероятности выхода авиационного комплекса на цель и ее атаки ($P_{вых_а}$) с первого захода [2]:

$$P_{вых_а} = k_1 \exp(-k_2 \sigma_z^2), \tag{2}$$

где k_1 и k_2 – коэффициенты, характеризующие условия авиационного поиска и динамические элементы имитационной модели [2] соответственно.

Для наземной цели, движущейся со средней скоростью m_V, дисперсия ошибки прогнозирования $\sigma^2_{прогн}$ по физическому смыслу будет представлять дисперсию разброса вектора пути, пройденного целью за время t [3]: $\sigma^2_{прогн} = m_V t^2 / 3$. Тогда, принимая условия (1) и (2), эффективность управления $W_{упр}$ может быть определена следующим образом:

$$W_{упр} = P^{С\,УПР}_{вых_а} - P^{БЕЗ\,УПР}_{вых_а} = P^{С\,УПР}_{вых_а}\left(1 - \exp\left(-\frac{k_2 m_V^2 t^2}{3}\right)\right). \tag{3}$$

Выражение (3) для количественной оценки эффективности управления УАК с пунктов управления ПУА представляет сложную зависимость с множеством переменных, в совокупности характеризующих конкретные условия выполнения УАК боевой задачи. Это обуславливает неоднозначность получаемых оценок, и с учетом многофакторности событий и явлений, оказывающих влияние на ход и исход операции управления, затрудняет интерпретацию результатов анализа эффективности управления авиацией в случае поражения мобильных наземных целей.

Представленные результаты исследования подтверждают обоснованность выбора показателя эффективности управления, характеризующего степень выполнения операции управления [1] и, соответственно, повышения ситуационной осведомленности летчика при выполнении боевой задачи в независимости от применяемого способа целеуказания и наведения.

Библиографический список

1. Модель оценки эффективности управления авиацией в интересах тактических воинских формирований в условиях воздействия преднамеренных помех / В. А. Васильев, Е. А. Чистилин, Е. А. Линник, М. А. Стафеев // Теория и техника радиосвязи. – 2016. – № 2. – С. 17 – 20.

2. Научно-методический аппарат для оценки возможностей системы управления авиацией по информационному обеспечению процессов целеуказания и наведения / В. А. Васильев, П. А. Федюнин, М. А. Стафеев, А. В. Васильев // Теория и техника радиосвязи. – 2018. – № 4. – С. 5 – 14.

3. Модель учета задержки информации в канале связи при оценивании эффективности функционирования системы управления авиацией / В. А. Васильев, П. А. Федюнин, М. П. Беляев, А. В. Васильев// Теория и техника радиосвязи. – 2019. – № 2. – С. 13 – 17.

ВЛИЯНИЕ ИНФОРМАЦИИ БОРТОВЫХ ДАТЧИКОВ НА ТОЧНОСТЬ УГЛОМЕРНОГО КАНАЛА ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

В. Н. Глистин, Ю. Н. Панасюк

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: glistinwadim@mail.ru, pyunikol@mail.ru)

Необходимость обращения к проблеме точности и устойчивости угломерного канала информационно-измерительной системы (ИИС) управления воздушным движением (УВД) при сопровождении траектории воздушного судна (ВС) связана с тем, что движение ВС в районе аэродрома не соответствует существующим моделям калмановских фильтров. Предлагается ввести в модель угломерного канала информацию бортовых датчиков ВС (кинематические и динамические параметры), которая позволяет более точно описать модель движения ВС.

Информация о кинематических и динамических параметрах ВС может использоваться для измерения углового ускорения азимута угломерного канала по линии визирования:

$$\begin{aligned} a_{\varepsilon_{ai}}(k+1) = \Big(\Big(\Big(\Big(g\big(&(\sin\varphi(k)\sin\theta(k) - \cos\varphi(k)\sin\theta(k))\times \\ &\times\big(n_y(k)\cos\gamma_v(k) - n_z(k)\sin\gamma_v(k)\big) + n_x(k)\cos\theta(k)\times \\ &\times(\cos\varphi(k) - \sin\varphi(k)) + (\sin\varphi(k) + \cos\varphi(k))\times \\ &\times\big(n_y(k)\sin\gamma_v(k) + n_z(k)\cos\gamma_v(k)\big)\Big)\Big)^2 - \\ &-(a_{lv}(k)\cos\varepsilon_{\text{в}}(k))^2\Big)^{0,5}\Big)\Big/\big(D(k)\cos\varepsilon_{\text{в}}(k)\big)\Big) + \xi_{a_i}(k), \end{aligned} \tag{1}$$

где θ и φ – углы траектории движения воздушного судна в вертикальной и горизонтальной плоскостях; γ_v – скоростной угол крена; n_x – продольная перегрузка; n_y – нормальная перегрузка; n_z – боковая перегрузка; ξ_{a_i} – дискретный центрированный гауссовский шум измерений ускорения с известной дисперсией R_{ai}; g – ускорение свободного падения; D – дальность до воздушного судна по линии визирования, определяемое ИИС; $\varepsilon_{\text{в}}$ – угол места; a_{lv} – ускорение воздушного судна по линии визирования, определяемое в дальномерном канале РЛС.

С учетом выражения (1) модель системы угломерного канала ИИС по азимуту с учетом кинематических и динамических характеристик воздушного судна может быть представлена в виде моделей состояния и наблюдения.

Модель состояния:

$$\varepsilon_a(k+1) = \varepsilon_a(k) + \omega_{\varepsilon_a}(k)T + 0{,}5a_{\varepsilon_a}(k)T^2; \tag{2}$$

$$\omega_{\varepsilon_a}(k+1) = \omega_{\varepsilon_a}(k) + a_{\varepsilon_a}(k)T; \tag{3}$$

$$a_{\varepsilon_a}(k+1) = a_{\varepsilon_a}(k) + \xi_a(k); \tag{4}$$

Модель наблюдения:

$$\varepsilon_{ai}(k+1) = \varepsilon_a(k+1) + \xi_{\varepsilon_{ai}}(k+1); \tag{5}$$

$$\begin{aligned} a_{\varepsilon_{ai}}(k+1) = \Big(\Big(\Big(\Big(g\big(\big(&\sin\varphi(k)\sin\theta(k) - \cos\varphi(k)\sin\theta(k)\big)\times \\ &\times\big(n_y(k)\cos\gamma_v(k) - n_z(k)\sin\gamma_v(k)\big) + n_x(k)\cos\theta(k)\times \\ &\times\big(\cos\varphi(k) - \sin\varphi(k)\big) + \big(\sin\varphi(k) + \cos\varphi(k)\big)\times \\ &\times\big(n_y(k)\sin\gamma_v(k) + n_z(k)\cos\gamma_v(k)\big)\Big)\Big)^2 - \\ &-\big(a_{lv}(k)\cos\varepsilon_{\text{в}}(k)\big)^2\Big)^{0,5}\Big)\Big/\big(D(k)\cos\varepsilon_{\text{в}}(k)\big)\Big) + \xi_{a_i}(k). \end{aligned} \tag{6}$$

Для построения алгоритма функционирования устройства измерения азимута, где используется калмановская фильтрация, необходимо знать модели состояния и наблюдения угломерного канала азимута и их статистические характеристики. Используя алгоритм калмановского фильтра [1, 2] и уравнения модели состояния (2) – (4), и модели наблюдения (5) и (6), получим алгоритм функционирования угломерного канала по азимуту для оценки фазовых координат по азимуту $\varepsilon_{a\,es}$, угловой скорости $\omega_{\varepsilon_{a\,es}}$ и угловому ускорению $a_{\varepsilon_{a\,es}}$ по азимуту:

$$\varepsilon_{a\,es}(k+1) = \varepsilon_{a\,e}(k+1) + K_{F11}(k+1)\Delta\varepsilon_a(k+1) + K_{F12}(k+1)\Delta a_{\varepsilon_a}(k+1); \tag{7}$$

$$\omega_{\varepsilon_{a\,es}}(k+1) = \omega_{\varepsilon_{a\,e}}(k+1) + K_{F21}(k+1)\Delta\varepsilon_a(k+1) + K_{F22}(k+1)\Delta a_{\varepsilon_a}(k+1); \tag{8}$$

$$a_{\varepsilon_{a\,es}}(k+1) = a_{\varepsilon_{a\,e}}(k+1) + K_{F31}(k+1)\Delta\varepsilon_a(k+1) + K_{F32}(k+1)\Delta a_{\varepsilon_a}(k+1); \tag{9}$$

$$\varepsilon_{a\,e}(k+1) = \varepsilon_{a\,e_s}(k) + \omega_{\varepsilon_{a\,es}}(k)T + 0{,}5a_{\varepsilon_{a\,es}}(k)T^2; \tag{10}$$

$$\omega_{\varepsilon_{a\,e}}(k+1) = \omega_{\varepsilon_{a\,es}}(k) + a_{\varepsilon_{a\,es}}(k)T; \tag{11}$$

$$a_{\varepsilon_{a\,es}}(k+1) = a_{\varepsilon_{a\,es}}(k); \tag{12}$$

$$\Delta\varepsilon_a(k+1) = a\varepsilon_{ai}(k+1) - a\varepsilon_{ae}(k+1); \tag{13}$$

$$\Delta a_{\varepsilon_a}(k+1) = a_{\varepsilon_{a\,i}}(k+1) - a_{\varepsilon_{a\,e}}(k+1), \tag{14}$$

где K_F – матрицы оптимальных коэффициентов передачи дискретного фильтра; Δ – символ, обозначающий невязку измерений азимута и углового ускорения по азимуту.

При исследовании реальной точности азимута ВС алгоритма функционирования устройства измерения азимута использовалось компьютерное имитационное моделирование ВС при выполнении им маневра «Посадка» [3]. При моделировании выполняется имитация входных сигналов от измерителей в виде изменяющихся истинного азимута и истинной угловой скорости азимута по линии визирования при выполнении ВС маневра «Посадка» [3]. Шумы наблюдения $\xi_{\varepsilon_{ai}}$ и a_{ε_a} имитируются генераторами случайных чисел. Обработка имитированных сигналов производится алгоритмом (7) – (14).

Компьютерное моделирование проводилось для двух моделей систем угломерного канала по азимуту. В первой модели угломерного канала азимута ИИС используется модель состояния и наблюдения Зингера относительного движения воздушного судна [4]. В другой модели угломерного канала используется модель состояния и наблюдения, где учитываются кинематические и динамические характеристики, поступающие на ИИС с борта воздушного судна ((2) – (6)).

На рисунках 1, 2 приведены графики изменения во времени средних квадратических отклонений погрешности оценки фильтрации азимута ε_a и углового ускорения по азимуту a_{ε_a} по линии визирования между ИИС УВД и воздушным судном. Как видно из рис. 1, 2, при совершении воздушным судном маневра «Посадка» средние квадратические отклонения погрешности оценки ε_a и a_{ε_a} имеют меньшие значения, если использовать в модели системы угломерного канала ИИС информацию о динамике и кинематике движения воздушного судна (кривая *2*), по сравнению с моделью Зингера в угломерном канале (кривая *1*).

Применение разработанных алгоритмов (7) – (14) с учетом информации о кинематических и динамических характеристиках движения воздушных судов позволит лучше решать задачи УВД в зоне аэродрома. В частности, за счет улучшения точностных характеристик имеется возможность увеличить пропускную способность системы управления воздушным движением, при этом сохраняется заданная величина вероятности безопасности воздушных судов.

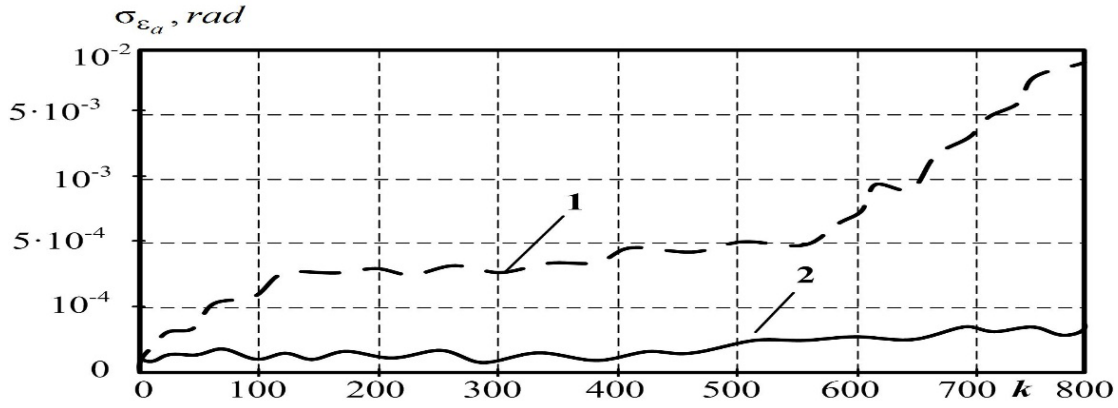


Рис. 1. Изменение во времени средних квадратических отклонений погрешности оценки фильтрации азимута

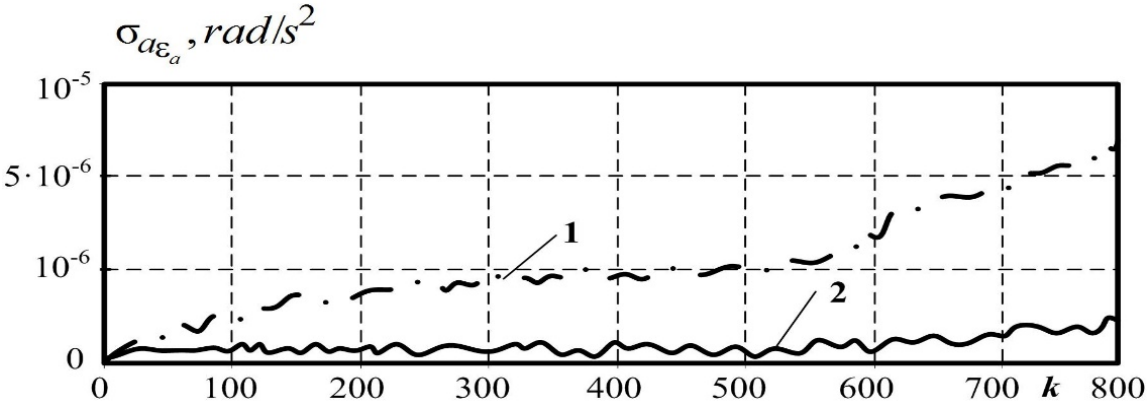


Рис. 2. Изменение во времени средних квадратических отклонений погрешности оценки фильтрации углового ускорения по азимуту

Таким образом, синтезированный алгоритм сопровождения траекторий воздушных судов, построенный с учетом информации бортовых датчиков, позволяет улучшить точностные характеристики фильтров слежения и в результате увеличивает пропускную способность УВД при заданном уровне безопасности.

Библиографический список

Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.

2. Glistin V. N., Pudovkin A. P., Panasyuk Yu. N., Danilov S. N., Belyaev P. S., Belyaev M. P., Varepo L. G. The theta-theta channel functioning algorithm synthesis of the data measuring system for the maneuvering aircraft with consideration to its dynamic and kinematic characteristics // J. Phys.: Conf. Ser. 1441 (2020).

3. Pudovkin, A. P., Panasyuk, Yu. N., Danilov, S. N., Moskvitin, S. P. Synthesis of channel tracking for random process parameters under discontinuous variation. – Journal of Physics: Conference Series, Volume 1015, Issue 3, article id. 032112 (2018).

4. Pudovkin, A. P., Panasyuk, Yu. N., Danilov, S. N. Synthesis of an Algorithm for Angle Measurement Channel of the Information-Measuring System of a Maneuvering Aircraft Given its Dynamic and Kinematic Characteristics. Proceedings – 2019 1st International Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2019, 2019, p. 73 – 76.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ СИСТЕМЫ ВОЗДУШНОЙ И НАЗЕМНОЙ СВЯЗИ ВЕРТОЛЕТНОЙ ЭСКАДРИЛЬИ

Е. В. Гуриков[1], Е. В. Головченко[1], А. В. Доброхотов[2]

[1]ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Россия,
[2]ЦНИИ ВВС (Минобороны России)

Армейская авиация (АА) предназначена для авиационной поддержки Сухопутных войск путем поражения наземных, главным образом малоразмерных, бронированных подвижных объектов противника преимущественно на переднем крае и в тактической глубине, а также для решения задач всестороннего обеспечения общевойскового боя и повышения мобильности войск. При этом части и подразделения армейской авиации выполняют огневые, транспортно-десантные, разведывательные и специальные боевые задачи.

В настоящее время на вооружение поступают современные боевые вертолеты (Ми-28Н, Ми-28УБ, Ми-28НМ, Ка-52, Ка-52М), которые оснащены сложными комплексами бортового оборудования и вооружения. Это позволяет им функционировать в едином информационном пространстве на поле боя, применять управляемые и неуправляемые авиационные средства поражения (АСП) с максимальных дальностей круглосуточно в любых метеоусловиях, взаимодействовать с автоматизированными системами управления войсками и оружием различного уровня, подсистемой разведки, включая пилотируемые и беспилотные средства в реальном масштабе времени. Опыт участия в современных вооруженных конфликтах обуславливает необходимость ведения боевых действий боевыми вертолетами во временных разведывательно-ударных контурах (РУК),

выполнения боевых задач с необорудованных площадок взлета (посадки), находящихся в отрыве от основного места базирования. Как правило, такие задачи возникают при выполнении боевых задач в составе РУК, и группы вертолетов могут базироваться практически в 120…200 км от основного места базирования [1].

Также возникает необходимость обеспечения автоматизированного целеуказания в реальном времени в закрытом режиме, особенно при планировании и применении легких управляемых ракет нового поколения, требующих высокой степени информационной поддержки экипажей вертолетов при осуществлении пусков, особенно при сложной фоноцелевой обстановке на местности. Все вышеперечисленные особенности боевого применения АА порождают противоречие между потенциальными возможностями современных боевых вертолетов и степенью их реализации при ведении боевых действий АА на современном этапе и в ближайшей перспективе. Результаты эксплуатации и боевого применения современных боевых вертолетов показали, что потенциал вертолетов нового поколения типа Ми-28Н, Ми-28УБ и Ка-52 используется примерно на 30…40%, т.е. эффективность применения боевых вертолетов АА нового поколения не намного выше эффективности применения боевых вертолетов старого парка, типа Ми-24П.

Одной из главных причин сложившегося положения является отсутствие на сегодняшний день в частях и подразделениях АА средств автоматизации боевого управления и целеуказания, в основе построения которых должны находиться современные комплексы связи и передачи данных, работающие в различных частотных диапазонах – МВ1, МВ-2, ДМВ, ДКМВ и имеющие помехозащищенные режимы работы (ППРЧ), защищенные ШАС (Т-800, Т-821 и др.), объединенные в комплекс вычислительным модулем типа ЦИМС, а также наличие комплексов средств автоматизации боевого управления в виде АРМ офицера боевого управления, оснащенного специальным программным обеспечением, позволяющим формировать команды боевого управления для передачи их на борт вертолета и получения от вертолета необходимой информации.

В настоящее время в государственной программе вооружения задана ОКР по созданию АСУ авиации и ПВО округа (шифр «Перспектива-АСУ»), в рамках которой должны быть разработаны унифицированные мобильные комплексы средств автоматизации (УМКСА) различного уровня управления для авиации и ПВО округа (фронта), причем низшим элементом системы управления АА, заданным в разработку, является УМКСА вертолетной бригады (вертолетного

полка). Такой подход к формированию подсистемы управления больше подходит к созданию подсистемы управления ОТА, базирующейся на подготовленных аэродромах без отрыва от основных сил авиационной группировки округа (фронта), в случае с подразделениями бригады АА или отдельного вертолетного полка, базирующихся на неподготовленных площадках, в том числе в отрыве от основных аэродромов УМКСА АА останутся в районе основного аэродрома базирования, а вертолеты на площадках посадки после разлета останутся без средств связи и управления, т.е. эффективность их боевого применения значительно снизится.

Решением данного вопроса может стать создание и внедрение мобильных автоматизированных пунктов управления подразделениями АА для обеспечения планирования и управления с неподготовленных площадок базирования.

Кооперацией предприятий: АО «НЦВ Миль и Камов», ОАО «РОСТВЕРТОЛ», ООО НПП «ПРИМА» и АО РПКБ разработан мобильный автоматизированный командный пункт вертолетной эскадрильи (изделие МАКП ВЭ), обеспечивающий функционирование подразделения боевых вертолетов с неподготовленной площадки базирования, в том числе и в автоматизированном контуре управления, организацию взаимодействия с пилотируемыми и беспилотными средствами разведки, частями СВ, в том числе РВ и А и ПВО.

Основным предназначением МАКП ВЭ является обеспечение автоматизированного планирования и управления силами и средствами АА (подразделениями, группами, парами, одиночными вертолетами) в полевых условиях в мирное время и при ведении боевых действий автономно и в структуре боевого управления группировки войск, в том числе при ведении разведывательно-ударных действий.

На сегодняшний день создан образец МАКП ВЭ, проведены государственные испытания с положительным результатом. Если оценивать состояние средств автоматизации управления в войсках и потребности в автоматизированных ПУ, можно сказать, что потребности в МАКП ВЭ составляют порядка 20 – 22 единицы на первом этапе оснащения – 2020 – 2024 годы (управление подразделениями АА, имеющими на вооружении вертолеты Ми-28Н, УБ, Ми-35М и Ка-52) и порядка 22 – 24 единиц МАКП ВЭ дополнительно после поступления в войска новых вертолетов типа Ми-28НМ и Ка-52М.

Основные возможности МАКП ВЭ:

– количество одновременно управляемых ЛА (до 12);

– типы автоматизированно управляемых ЛА – Ми-28Н, УБ, НМ, Ка-52, Су-25СМ3, Су-34 (в перспективе Ка-52М, Ми-35М, Ми-8АМТШ, Ми-26Т2);

– взаимодействующие ПУ (авиации и СВ) – КП *овп (бр АА)*, СКП ПВО и авиации (КП А(АК), ПУА ЕСУ ТЗ, ВИП – 117М3, комплексы с БпЛА: «Орлан-10(30)», «Zala» вертолетный комплекс радиолокационной разведки «Горьковчанин», «Форпост-М(Р)», КРУС «Стрелец», в перспективе «Корсар», «Феникс», «Иноходец», ПУ огнем РВ и А – изд.1В181, изд.МП32М;

– боевой расчет – 6 человек, а именно:
– начальник КП – командир (начальник штаба) подразделения АА;
– старший штурман подразделения АА;
– офицер боевого управления КП части АА (ОТА);
– офицер боевого управления КП части АА (ПАН);
– офицер связи подразделения АА.

Все лица боевого расчета имеют АРМ, оснащенные прикладным специальным программным обеспечением (СПО). Для связи с ЛА и взаимодействующими образцами ВВСТ используются каналы открытой помехозащищенной и шифрованной связи в телефонном и телекодовом режимах в МВ-МДВ- и ДКМВ-диапазонах. Для обеспечения дальней связи с вышестоящими ПУ авиации и СВ используются каналы ДКМВ-связи с адаптивным режимом «ALE», а также спутниковый канал связи для передачи данных.

Применение АРУК АА позволило обеспечить повышение показателей устойчивости, оперативности и скрытности управления разведывательно-ударными действиями армейской авиации, а также возможность оперативной реконфигурации и адаптации системы управления авиацией к условиям обстановки и поставленным задачам [2].

В настоящее время применение АРУК АА в интересах разведывательно-ударных действий армейской авиации является актуальной задачей. Развитие и совершенствование АРУК АА представляется целесообразным осуществлять в составе: боевой вертолет Ми-28НМ, боевой вертолет Ка-52, боевой вертолет Ми-35М, комплекс с БпЛА типа «Орлан-10», КРУС «Стрелец» (авиационного исполнения), НК ПАН из состава единой системы управления тактического звена, МАКП ВЭ.

В ходе различного рода апробаций, учений, экспериментов определены направления модернизации МАКП ВЭ в целях создания на его основе пункта боевого управления (ПБУ) авиации.

Суть модернизации заключается в создании мобильного элемента подсистемы управления авиацией, способного автоматизированно управлять разнородными силами и средствами авиации на различных тактических и операци-

онных направлениях с возможностью взаимодействия с существующими и перспективными комплексами и системами управления авиацией, ПВО, СВ и ВМФ.

С этой целью необходимо обеспечить включение в контур автоматизированного управления ПБУ авиации на базе МАКП ВЭ ударных средств – Су-30СМ, Су-35С, Су-24М, Ми-8АМТШ-ВП, разведывательных средств – комплексов с БпЛА «Корсар», «Платформа», «Феникс», огневых средств – КШИ управления огнем (1В181, МП32М1, БРАВ) [3]. Обеспечить взаимодействие с комплексами и системами управления (КСА «Перспектива-АСУ», КСА ПУ авиацией ВМФ). Кроме того, в состав ПБУ авиации на базе МАКП ВЭ предлагается включить малогабаритную РЛС типа «Гармонь», высокоскоростные терминалы передачи данных для обмена с вертолетами и БПЛА, а также обеспечить сопряжение с РЛС МВ-, СМВ-диапазонов.

В состав МАКП ВЭ предлагается включить доработанный бронеавтомобиль «Тигр-М» в целях создания на его базе пункта управления и ретрансляции с возможностью взаимодействовать в автоматизированном режиме с МАКП ВЭ, а также с КРУС «Стрелец» авиационного исполнения для включения в состав ПБУ авиации.

По состоянию на начало 2021 года МАКП ВЭ прошел государственные испытания, в настоящее время осуществляется подготовка документации к принятию на снабжение.

Библиографический список

1. Ананьев, А. В. Совместные разведывательно-ударные действия рейдового отряда и смешанной тактической авиационной группы / А. В. Ананьев, С. П. Петренко // Военная мысль. – 2020. – № 6. – С. 45 – 50.

2. Воскресенский, В. Г. Развитие закономерностей применения межвидовой группировки войск (сил) на театре военных действий / В. Г. Воскресенский // Военная мысль. – 2020. – № 1. – С. 73 – 79.

3. Макаренко, С. И. Противодействие беспилотным летательным аппаратам / С. И. Макаренко. – СПб. : Наукоемкие технологии, 2020. – С. 32 – 34

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

С. Б. Долгов, В. Н. Шамкин

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: dolgov.1476@mail.ru)

Увеличивая давление на природу, люди постоянно сталкиваются с одной и той же проблемой: природный коллапс в дальнейшем наносит существенный экономический и социальный ущерб. Природа не в силах сама восстанавливаться от нарушенного экологического равновесия и воссоздавать все блага в необходимом объеме. Процесс экологической деградации становится вопросом выживания человечества. Сохранение природы – главная задача человечества. Ситуация, когда экономические показатели существуют как главные цели, становится очень опасной. В условиях современного развития производства и возросшей конкуренции, в связи с повсеместным ухудшением экологической обстановки, заказчики и деловые партнеры уделяют особое внимание вопросам экологической безопасности продукции. Предпочтение отдается компаниям, использующим в своей работе лучшие доступные и безопасные для человека и окружающей природной среды технологии, а также предприятиям, соблюдающим в полном объеме требования природоохранного законодательства, которые с каждым годом становятся все жестче.

Радиоэлектронная промышленность, являющаяся одной из интенсивно развивающихся отраслей современной экономики, не является в этом смысле исключением. Растущие потребности влекут за собой стремительный рост ее производства, что неотвратимо приводит к росту отрицательного воздействия на окружающую среду. Основные экологические аспекты для предприятия: создание отходов при производстве и потреблении, выплески вредных веществ в атмосферу, водопотребление и водоотведение (сбросы хозяйственно-бытовых и ливневых сточных вод в водный объект), электромагнитное загрязнение. Существенные выделения загрязняющих веществ от работы предприятий отечественной радиоэлектроники связаны в основном с очистными сооружениями, которые не отвечают современным требованиям по качеству выбрасываемых в окружающую среду воздуха, воды, отходов. Специфическим несовершенством большинства предприятий радиоэлектронной промышленности являются также технологии с вредоносными условиями труда. Можно сказать, что все они

являются потенциально опасными загрязнителями окружающей среды в эколого-экономических системах.

К главным субъектам техногенного влияния со стороны предприятий радиоэлектронной промышленности относятся [1]: литосфера (размещение отходов); воздушный бассейн (выбросы в атмосферу); водные объекты (сбросы хозяйственно-бытовых и ливневых сточных вод в водный объект); население и работники предприятия (вредные условия труда).

Возможность причинения вреда от деятельности предприятий понимается как экологический риск. Исключение экологических рисков основывается на прогнозировании и предотвращении увеличения платы за негативное воздействие на окружающую среду, уменьшении санитарно-защитной зоны предприятия. Основой управления риском является принцип оптимизации соотношений выгоды и ущерба: практическая деятельность, не может быть оправдана, если выгода от нее для общества в целом не превышает вызываемого ущерба.

Следует отметить, что ключевым инструментом государственной поддержки отрасли является Государственная программа Российской Федерации [2], вследствие чего актуальность внедрения системы экологического менеджмента в предприятиях, изготовляющих радиоэлектронные средства, приобретает особую значимость. Стремление к обеспечению устойчивости эколого-экономической системы предприятия и обеспечению экологической безопасности производства должно рассматриваться как неотъемлемый элемент стратегии развития предприятий радиоэлектронной промышленности, а вложение инвестиций в развитие экологии – как выгодный бизнес. Главный вектор деятельности должен быть направлен на непрерывное совершенствование процессов и корпоративных возможностей. Это приведет к повышению устойчивости эколого-экономической системы и в целом улучшит результаты бизнеса на предприятиях радиоэлектронной промышленности.

Экологическая политика в предприятиях радиоэлектроники представляет собой официальный документ, в котором зафиксированы стратегические цели предприятия в области экологического менеджмента и способы их достижения. Экологическая политика разрабатывается в соответствии со стратегией государства в области экологической безопасности и рационального использования природных ресурсов. Она определяет цель, задачи и принципы организаций в области охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности в долгосрочной перспективе деятельности предприятий. Цель экологической политики выражается повышением уровня экологической безопасности, ростом

инвестиционной привлекательности за счет надежного и комплексного подхода к использованию природных ресурсов.

Таким образом, экологический менеджмент как система управления предприятием радиоэлектроники обеспечивает экономически рациональные для предприятия варианты осуществления эколого-социальных потребностей. Внедрение экологического менеджмента дает предприятиям радиоэлектроники средство, при помощи которого можно более результативно управлять источниками и факторами воздействия на окружающую среду, а также обеспечить свою эколого-экономическую устойчивость. Внедрение системы экологического менеджмента на предприятии открывает перед ним новые возможности, такие как экономия финансовых средств, эффективное производство, рыночный потенциал, доверительные отношения с органами власти и общественности.

Библиографический список

1. Сидорова, А. Д. Загрязнение окружающей среды предприятиями-изготовителями радиоэлектронных средств (РЭС). Актуальность внедрения системы экологического менеджмента (СЭМ) [Электронный ресурс] / А. Д. Сидорова // Молодой ученый. – 2016. – № 3(107). – С. 208 – 213. – URL: https://moluch.ru/archive/107/25540/

2. Государственная программа Российской Федерации «Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности на 2013 – 2025 годы», утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 15 декабря 2012 г. № 2396-р.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ АКТИВНЫХ ПОМЕХ НА РЭС

П. Д. Евстафьев, А. В. Малышева, А. М. Чепелева, А. П. Пудовкин

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: pavel-ev111@yandex.ru, anastasiya.malys@mail.ru, tchepeleva.sascha@yandex.ru)

Активные помехи создаются передатчиком помех, которые настраиваются на частоты подавляемой РЭС противника. Эффект подавления достигается за счет превышения мощности помехи над мощностью сигнала на входе приемного устройства, подавляемой РЭС. Для подавления РЭС противника могут использоваться как маскирующие, так и имитирующие активные помехи [1, 2].

Маскирующие помехи, представляющие собой электромагнитные колебания, у которых хотя бы один параметр (амплитуда, частота, фаза, длительность или период следования импульсов) является случайной функцией времени. К таким маскирующим помехам относятся: непрерывные шумовые помехи; хаотические импульсные последовательности (ХИП).

Имитирующие импульсные помехи обеспечивают создание на экране РЛС ложных отметок, не отличающихся от отметок реальных целей и уводящих помех, несущих ложную информацию о координатах и параметрах движения целей (уводящие помехи по дальности, угловым координатам и скорости, которые могут вызвать срыв сопровождения целей в РЛС). К имитирующим импульсным помехам относятся: многократные (МИП); однократные (ОИП). Имитирующие импульсные помехи формируются, как правило, путем ретрансляции с задержкой зондирующих сигналов РЛС. При однократном переизлучении образуется ОИП, а при переизлучении с различной задержкой образуется пачка МИП.

Выбор вида и параметров помехового сигнала определяются особенностями функционирования подавляемого РЭС, структурой полезного сигнала и требуемым эффектом воздействия [3 – 5].

На рисунке 1 представлен типичный случай создания активных помех. Самолет-постановщик помех (ПП) прикрывает помехами цель (самолет) от РЛС ПВО. В зависимости от вида помех эффект прикрытия может быть различным.

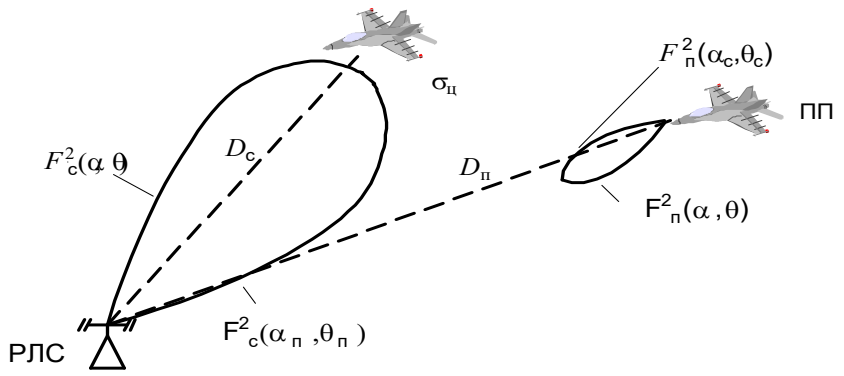


Рис. 1. Создание активных помех для способа прикрываемой цели

Дальность обнаружения РЛС для случая прикрываемой цели (рис. 1) определяется выражением

$$D_{\text{о}} = \sqrt[4]{\frac{P_{\text{с}} G_{\text{с}} \Delta F_{\text{п}}}{P_{\text{п}} G_{\text{п}} \Delta f_{\text{пр}}} \frac{\sigma_{\text{ц}} k}{4\pi\gamma_{\text{п}} F_{\text{п}}^2(\alpha_{\text{с}};\theta_{\text{с}})} D_{\text{п}}^2 \frac{1}{F_{\text{с}}^2(\alpha_{\text{п}};\theta_{\text{п}})}}, \qquad (1)$$

где $P_{\text{с}}$ – импульсная мощность излучаемых сигналов; $G_{\text{с}}$ – максимальный коэффициент усиления антенны РЛС; α и θ – углы, отсчитываемого от максимума ДН антенны РЛС в горизонтальной и вертикальной плоскостях, соответственно; $\Delta f_{\text{пр}}$ – ширина полосы пропускания приемника РЛС; $F_{\text{с}}^2(\alpha;\theta)$ – нормированная ДН антенны РЛС; $P_{\text{п}}$ – мощность передатчика помех (ПП); $\Delta F_{\text{п}}$ – ширина спектра помехи; $\gamma_{\text{п}}$ – коэффициент, учитывающий различие поляризаций антенн ПП и РЛС; $G_{\text{п}}$ – максимальный коэффициент усиления антенны станции помех; $F_{\text{п}}^2(\alpha;\theta)$ – функция нормированной ДН антенны станции помех по мощности; $\sigma_{\text{ц}}$– эффективная площадь рассеяния (ЭПО) цели; $D_{\text{п}}$ – расстояние между ПП и подавляемой РЛС; $\alpha_{\text{п}}, \theta_{\text{п}}$ – угловые координаты ПП, отсчитываемые в точке расположения РЛС от направления на прикрываемый самолет; $F_{\text{с}}^2(\alpha_{\text{п}};\theta_{\text{п}})$ – значение ДН антенны РЛС в направлении на ПП; $\alpha_{\text{с}}, \theta_{\text{с}}$ – угловые координаты подавляемой РЛС, отсчитываемые от максимума ДН антенны передатчика помех; $F_{\text{п}}^2(\alpha_{\text{с}},\theta_{\text{с}})$ – значение ДН антенны станции помех в направлении на РЛС.

Для способа самоприкрытия (рис. 2), когда цель и помехопостановщик являются одним объектом ($D_{\text{п}} = D_{\text{с}}$; $\alpha_{\text{п}} = 0$; $\theta_{\text{п}} = 0$, $F_{\text{с}}^2(\alpha_{\text{п}},\theta_{\text{п}}) = 1$), дальность обнаружения РЛС равна

$$D_{\text{о}} = \sqrt{\frac{P_{\text{с}} G_{\text{с}} \Delta F_{\text{п}}}{P_{\text{п}} G_{\text{п}} \Delta f_{\text{пр}}} \frac{\sigma_{\text{ц}} k}{4\pi\gamma_{\text{п}}}}. \qquad (2)$$

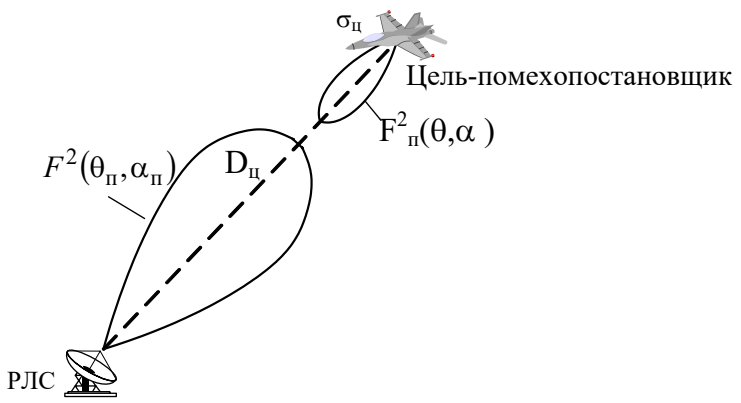


Рис. 2. Создание активных помех для способа самоприкрытия цели

На основании выражений (1) и (2) проведены исследования зависимости дальности обнаружения $D_о$ от мощности передатчика помех $P_п$ для способов прикрываемой и самоприкрываемой цели. Результаты исследования представлены на рис. 3, 4. Из графиков (рис. 3 и 4) видно, что при увеличении мощности передатчика ПП уменьшается дальность действия РЛС, при уменьшении расстояния между ПП и подавляемой РЛС $D_п$ (рис. 2) дальность действия РЛС уменьшается.

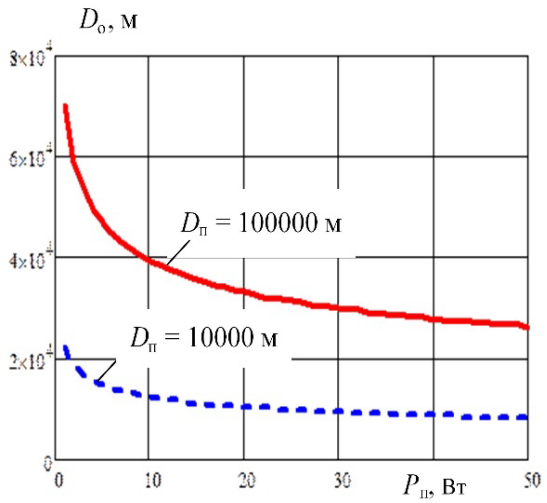


Рис. 3. Зависимость дальности обнаружения $D_о$ от мощности передатчика помех $P_п$ при различных расстояниях между ПП и подавляемой РЛС $D_п$ для способа прикрытия цели

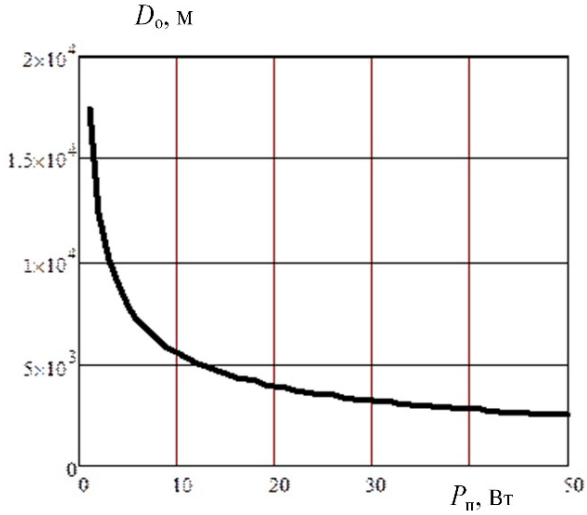


Рис. 4. Зависимость дальности обнаружения $D_о$ от мощности передатчика помех $P_п$ для способа самоприкрытия цели

На основании выражений (1) и (2) проведены исследования зависимости расстояния между ПП и подавляемой РЛС $D_п$ при различной мощности передатчика помех $P_п$ для способа прикрываемой цели. Результаты исследо-

вания представлены на рис. 5. Из графиков (рис. 5) видно, что при увеличении мощности передатчика ПП уменьшается дальность действия РЛС.

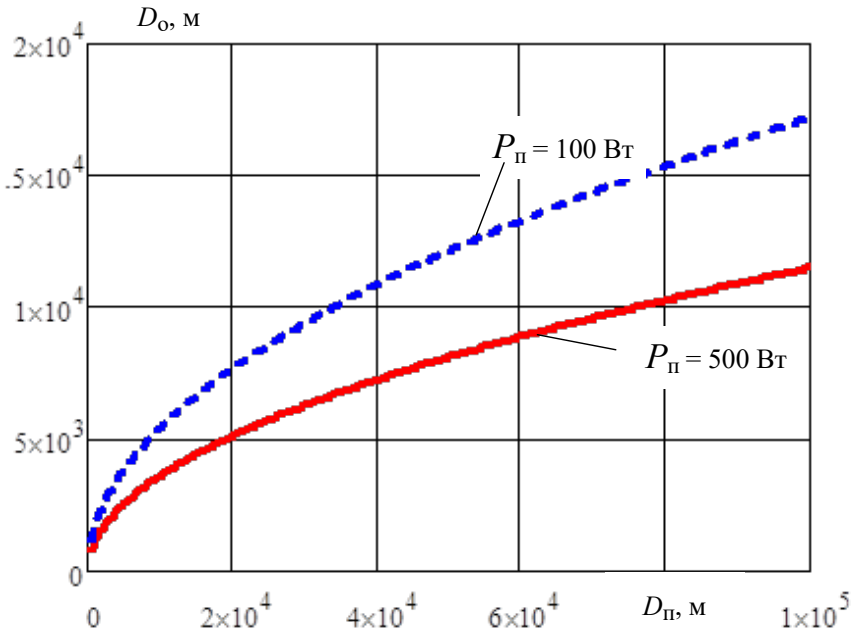


Рис. 5. Зависимость дальности обнаружения $D_о$ от расстояния между ПП и подавляемой РЛС $D_п$ при различной мощности передатчика помех $P_п$ для способа прикрытия цели

Таким образом, параметры помехопостановщика сильно влияют на дальность действия РЛС ПВО.

Библиографический список

1. Пудовкин, А. П. Электромагнитная совместимость и помехозащищенность РЭС [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк, Т. И. Чернышова. – Тамбов : ТГТУ, 2013. – 92 с.

2. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.

3. Pudovkin, A. P., Panasyuk, Yu. N., Danilov, S. N., Moskvitin, S. P. Synthesis of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters. – Journal of Physics: Conference Series, Volume 1015, Issue 3, article id. 032111 (2018).

4. Панасюк, Ю. Н. Устройства сверхвысоких частот : учебное пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : ТГТУ, 2015. – 80 с.

5. Панасюк, Ю. Н. Основы автоматизации проектирования устройств СВЧ и антенн [Электронный ресурс, мультимедиа] : учебное пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – 270 с.

КОНТРОЛЛЕР ЗАРЯДА СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ ПО АЛГОРИТМУ ТММ С ЦИФРОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

А. Н. Емельянов, В. А. Кондусов

Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия
(e-mail: alexemel81@gmail.com)

Солнечная энергетика – перспективный и активно развивающийся способ получения энергии. Системы генерации электричества от солнца нашли применение во всех областях: от крупномасштабных станций площадью в город до небольших устройств освещения дорог.

Задача всего оборудования, разрабатываемого для солнечных панелей, – сделать их максимально эффективными, сохранить каждый ватт. Если солнечная панель – это источник энергии, то ее накопитель – аккумулятор. Однако поток энергии необходимо трансформировать, сделать пригодным для накопления. Для этих целей служат контроллеры [1].

Разработанный контроллер работает по алгоритму поиска максимальной мощности – сканирует ВАХ солнечной панели, ища пик мощности. Стандартная ВАХ панели при уровне инсоляции 1000 Вт/м^2 показана на рис. 1.

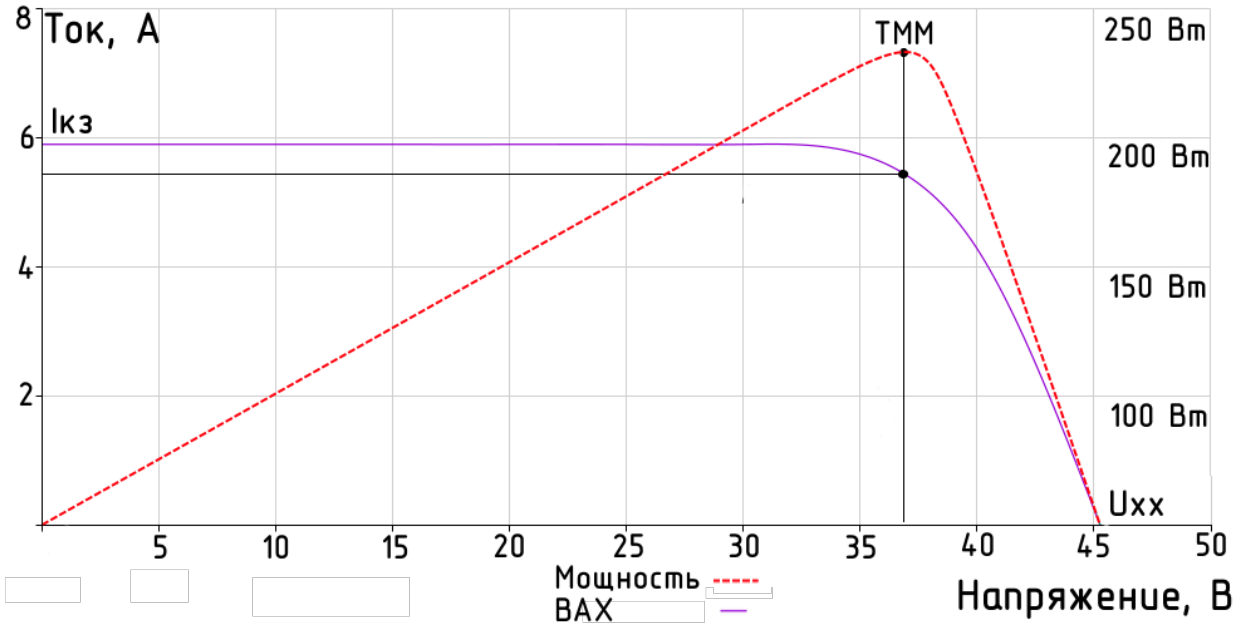


Рис. 1. Стандартная ВАХ солнечной панели

Алгоритм поиска ТММ может реализовать DC/DC понижающий преобразователь, управляемый микроконтроллером STM32F103C8T6 [2]. Структурная схема и вид разработанного устройства показаны на рис. 2 и 3 соответственно.

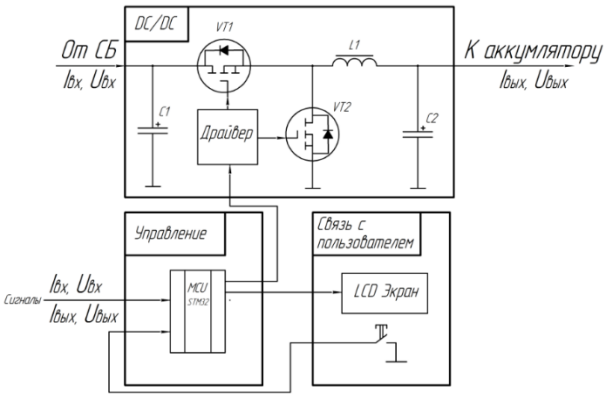


Рис. 2. Структурная схема контроллера ТММ

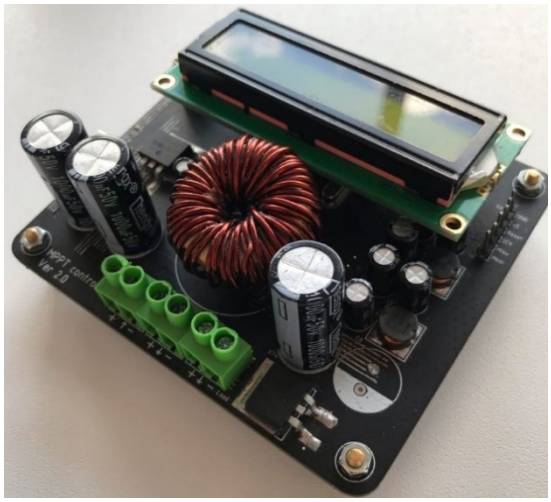


Рис. 3. Внешний вид устройства

Устройство также обладает дополнительными функциями:

1) анализ температуры аккумулятора. При превышении 40 °С или при отрицательной температуре аккумулятор отключается или ограничиваются его токи;

2) разъем выхода на нагрузку. Этим разъемом управляет отдельный ключ, способный отдать в дополнительную нагрузку 150 Вт. Это может быть ночное освещение, включающееся автоматически после захода солнца. Алгоритм включения и отключения этой нагрузки программируется пользователем.

Контроллер обладает следующими характеристиками:

- максимальное входное напряжение 40 В;
- максимальный ток 15 А;
- мощность 600 Вт;
- поддержка Li-Ion-аккумуляторов;
- КПД 88%.

Библиографический список

1. Казюков, Д. А. Контроллеры заряда-разряда аккумуляторных батарей / Д. А. Казюков // Международный научный журнал «Инновации и наука». – 2015. – № 8. – С. 41 – 44.

2. Семенов, Б. Ю. Силовая электроника / Б. Ю. Семенов. – М. : СОЛОН-Пресс, 2005. – 416 с.

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ МЕМРИСТОРНЫХ СТРУКТУР, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А. И. Зубкова, Ю. П. Королева, В. П. Жалнин

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия

(*e-mail: alex2000zu@yandex.ru, ukoroleva553@gmail.com, zhalninvp@bmstu.ru*)

С каждым днем появляется все большее количество информации, для хранения которой необходимы ячейки памяти. Стандартные компьютеры уже не могут удовлетворить все возрастающие потребности. Данную проблему может решить мемристор – новый элемент для хранения и обработки информации [1]. Он сохраняет величину своего сопротивления при отключении тока. Однако, ввиду отсутствия полноценной теории работы мемристора, учеными всего мира осуществляется экспериментальный поиск наилучшей архитектуры мемристора с наилучшими параметрами [2]. В зависимости от материала свойства мемристоров могут отличаться. К основным свойствам мемристоров относят рабочие токи и напряжения, размеры устройств, термостабильность, запас шума, свойство изменения фазы и другие. Существенной проблемой является подбор материалов для мемристоров, обладающих определенными свойствами, поэтому нужно провести сравнительный анализ различных мемристоров и материалов, на основе которых они выполнены.

1. Сравнительные характеристики некоторых мемристоров

Тип мемристора	Отношение сопротивления Ron/Roff	Время переключения, нс	Максимальное количество циклов переключения	Ссылки
На основе окислов металлов	2000	10	10^{9}	[2, 5]
Полимерные	100	25	10^{8}	[4]
Сегнетоэлектрические	300	10	10^{14}	[5]
Спинтронные	5	10	10^{16}	[9]
Халькогенидные	>1000	50	10^{8}	[8]

Как видно из табл. 1, по параметру Ron/Roff наиболее высокие показатели у мемристоров на основе окислов металлов, что делает их весьма привлекательными для создания устройств памяти, имеющих не только два состояния «0» и «1», а несколько. То есть теоретически одна мемристорная ячейка памяти может хранить в разы больше информации на той же площади, что и современные ячейки памяти. Мемристоры на основе окислов металлов также имеют наименьшее время переключения из состояния высокого сопротивления в низкое. Однако такие мемристоры выдерживают не более 10^9 циклов переключения, что не достаточно. Поэтому необходимо проводить исследования по подбору материалов и архитектуры таких мемристоров.

Полимерные мемристоры на сегодняшний день показывают не самые лучшие характеристики и тут требуется еще много исследований.

Сегнетоэлектрические мемристоры показывают хорошие характеристики и являются хорошими кандидатами для создания ячеек памяти.

Спинтронные мемристоры на сегодняшний день обладают одними из лучших характеристик и также являются хорошими кандидатами для создания ячеек памяти.

Халькогенидные мемристоры обладают не очень высоким быстродействием, тем не менее они также являются хорошими кандидатами для создания ячеек памяти, не требующих высокого быстродействия.

Поскольку мемристоры на основе оксидов обладают наиболее высокими показателями по ряду параметров, а технология их изготовления достаточно хорошо отработана, проанализируем материалы для их изготовления.

Материал, на основе которого изготовлен мемристор, влияет на свойства мемристора. К основным свойствам относят рабочие токи и напряжения, размеры устройств, термостабильность, величину шума, свойство изменения фазы и другие. В связи с тем, что эти свойства отличаются, область применения мемристоров может быть различна. В таблице 2 представлены рабочие параметры некоторых мемристоров на основе оксидов.

Как видно из табл. 2, наиболее энергоэффективными являются мемристоры на основе диоксида кремния, оксида никеля и оксида железа. Из них мемристоры на основе оксида железа больше подходят для изготовления аналоговых устройств из-за довольно плавного изменения сопротивления. А мемристоры на основе оксида никеля больше подходят для цифровых устройств.

Таким образом, зная основные параметры мемристоров на основе оксидов, у нас появляется возможность выбора нужного вида для определенного устройства и его более эффективной работы.

2. Рабочие параметры некоторых мемристоров на основе оксидов

Тип резистивного слоя	Рабочее напряжение, В	Рабочий ток, мА	Мощность, мкВт	Особенности свойств
Диоксид титана (TiO_2)	2	0,2	400	Высокое быстродействие, низкий уровень шума. Отношение Ron/Roff ~2000 [3]
Диоксид кремния (SiO_2)	2	0,00025	0,5	Отношение Ron/Roff ~10^5 [4]
Оксид железа (Fe_2O_3)	1,8	10	18	Характерно плавное изменение сопротивления. Больше подходит для аналоговых устройств [6]
Оксид никеля (NiO)	1,5	5	7,5	Больше подходит для цифровых устройств из-за особенностей переключения [7]
Оксид ванадия (VO_2)	50	6	300	Ron/Roff ~10^4 Подходит для устройств с многоуровневой логикой [6]
Оксид графита (графена) CO	6	100	600	Высокая термостабильность [7]

Отдельные результаты исследований получены в рамках Гранта РФФИ № 19-07-00463.

Библиографический список

1. Strukov D. B., Snider G. S., Stewart D. R. and Williams R. S. “The missing memristor found,” Nature letters. 2008. vol. 453, pp. 80 – 83.

2. Zhalnin V. P., Shakhnov V. A., Vlasov, A. I., Methods for improvement of the consistency and durability of the inorganic memristor structures // International Journal of Nanotechnology, 2019, P. 187 – 195.

3. Kamaran E.: Evolution of nonvolatile resistive switching memory technologies: The related influence on heterogeneous nonvolatile memory, Transactions on electrical and electronics materials (2010).

4. Manish Bilgaye, Adesh Kumar, Anurag Srivastava, Piyush Dua // Memristor Materials: Working Conditions And Properties, International Journal of Scientific & Technology Research Volume 8, 2019, P. 724 – 725.

5. D. Ielmini, F. Nardi, C. Cagli, IEEE Trans. Electron Devices 58, 3246 (2011)

6. Noh Y. J., Baek Y. J., Hu Q, Kang C. J., Choi Y. J., Lee H. H., Yoon T. S.: Analog memristive and memcapacitive characteristics of Pt-Fe2-O3 core shell nanoparticles assembly on p+ – Si substrate, IEEE transactions on nanotechnology (2015).

7. Nishi Y, Sarakura H, Kimoto T.: Appearance of quantum point contact inPt/NiO2/Pt resistive cell, Journal of materials research (2017).

8. Попов, А. И. Условия устойчивого переключения в ячейках памяти на фазовых переходах / А. И. Попов, С. М. Сальников, Ю. В. Ануфриев // Физика и техника полупроводников. – 2015. – Т. 49, № 4. – С. 509 – 514.

9. Elshamy M., Mostafa H., Said M. S. CCECE Tech Dig. 1 (2014).

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ПРИ СОПРОВОЖДЕНИИ МАНЕВРИРУЮЩИХ ВОЗДУШНЫХ ЦЕЛЕЙ

А. А. Иванков

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: ivankov.a.a@bk.ru)

Маневрирование цели оказывает непосредственное влияние на работу измерителей параметров движения целей радиолокационной станции (РЛС). Так как при маневрах цель движется по криволинейной траектории, то радиоэлектронные следящие системы (РЭСС) будут определять измеряемые параметры как маневр, т.е. изменение измеряемого параметра происходит по нелинейному закону, за исключением специальных случаев, когда цель совершает маневр, а измеряемый параметр не изменяется (изменяется по линейному закону) и наоборот. Например, если цель совершает маневр «вираж», а измеритель находится в центре окружности, то дальность до цели изменяться не будет, т.е. для дальномера цель не маневрирует. С другой стороны, если цель движется равномерно и по прямой на траверсе относительно РЭСС, то измеряемые до нее

дальность и направление будут изменяться по нелинейному закону и восприниматься как маневр [1].

На рисунках 1 – 3 показаны графики изменения измеряемых величин сигналов на выходах дальномера (*б*), измерителя скорости (*в*) и угломера (*г*) при выполнении воздушной целью фигур высшего пилотажа (*а*): «петля Нестерова» («вираж»), «переворот» и «горка» соответственно. При этом считаем, что РЛС находится на значительном удалении от маневрирующей цели, т.е. ситуация не относится к специальным случаям [1].

Для фигур «вираж» и «петля Нестерова» форма траектории будет одинаковой (но в различных плоскостях), и измеряемые параметры на выходах измерителей будут изменяться по аналогичным законам.

Как видно из рисунков, величина сигналов на выходах измерителей изменяется по нелинейному закону, и тем интенсивнее, чем интенсивнее происходит маневрирование цели, т.е. РЭСС будет определять маневр цели.

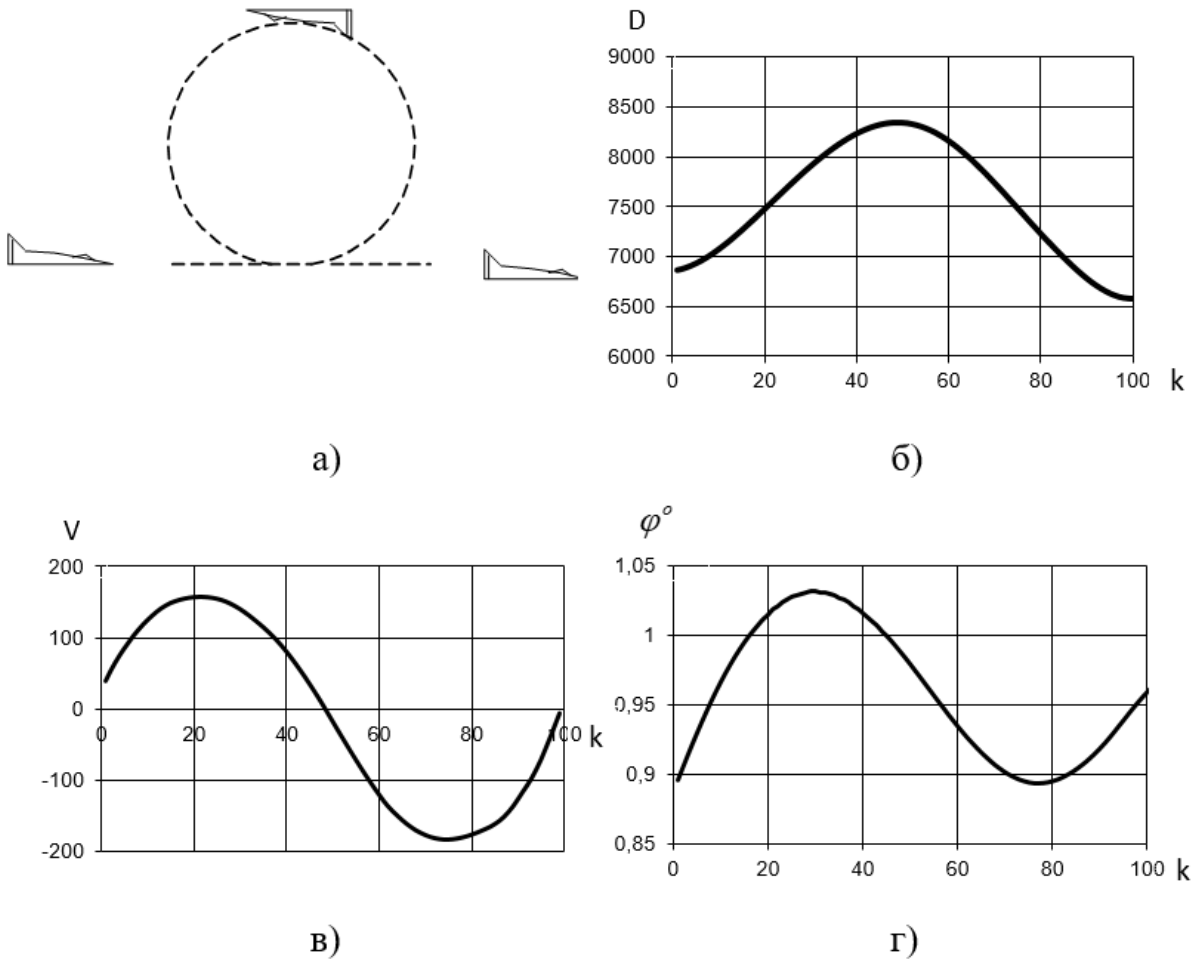


Рис. 1. Графики изменения величин, измеряемых РЭСС, при выполнении целью маневра «петля Нестерова» (*а*) на выходе дальномера (*б*), измерителя скорости (*в*) и угломера (*г*)

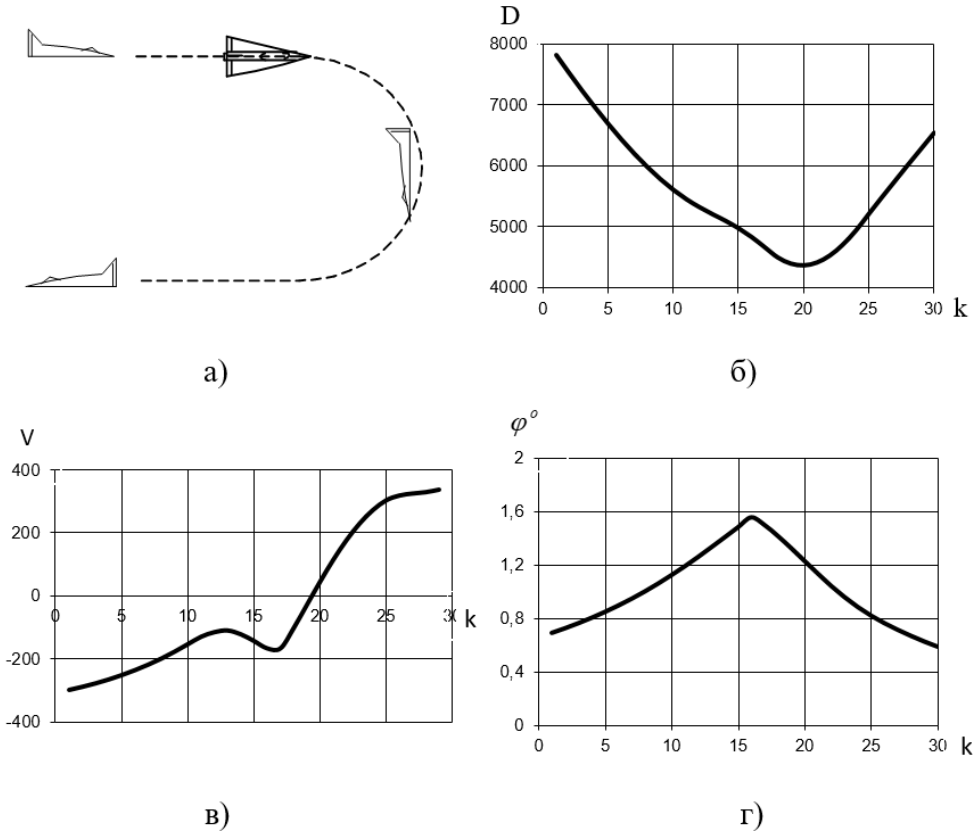


Рис. 2. Графики изменения величин, измеряемых РЭСС, при выполнении целью маневра «переворот» (*а*) на выходе дальномера (*б*), измерителя скорости (*в*) и угломера (*г*)

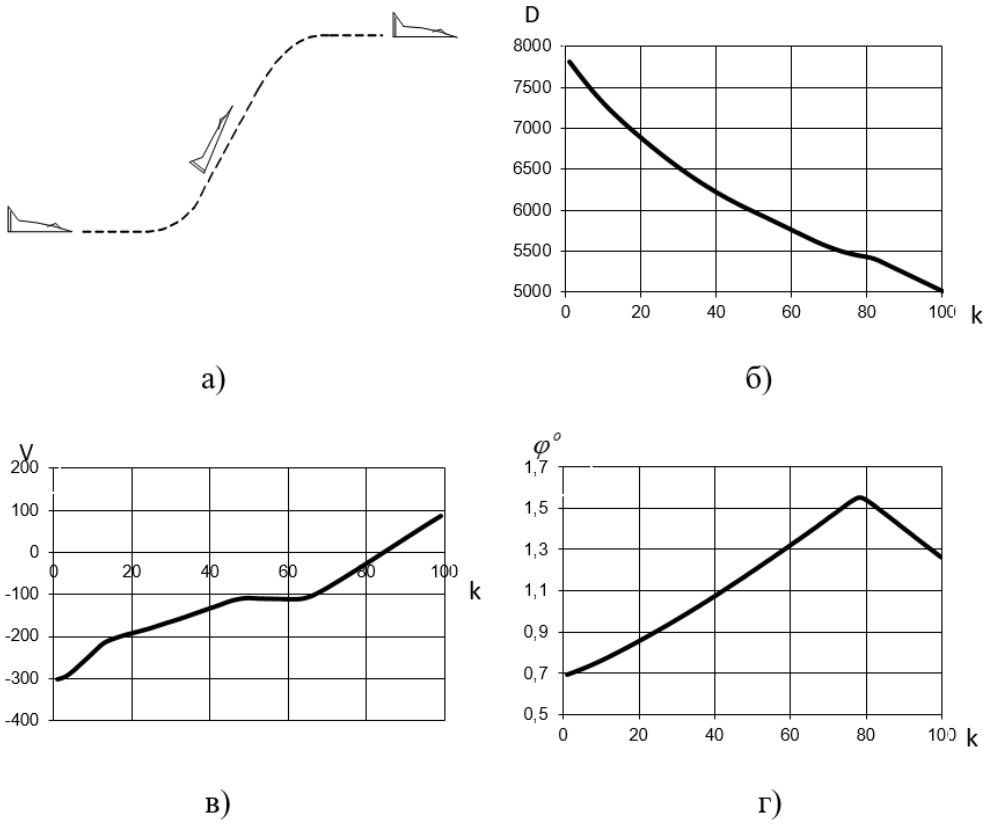


Рис. 3. Графики изменения величин, измеряемых РЭСС, при выполнении целью маневра «горка» (*а*) на выходе дальномера (*б*), измерителя скорости (*в*) и угломера (*г*)

В ходе группового воздушного боя возникает ситуация, когда необходимо сопровождать и атаковать одновременно несколько целей, летящих в плотном боевом порядке и выполняющих интенсивное маневрирование. При этом возможны многократные пересечения траекторий, в том числе одновременно двух, трех и более.

Маневрирование с частыми пересечениями траекторий на одинаковых дальностях или углах с небольшими превышениями или принижениями по высоте, а также смыкание в плотный боевой порядок с последующим рассредоточением могут выполняться группой самолетов-истребителей с целью срыва сопровождения РЭСС, расположенных на больших расстояниях от точки боевого соприкосновения.

Измерители параметров движения целей в таких условиях будут работать с большими ошибками. Может произойти срыв сопровождения цели, что потребует дополнительного времени на новый захват. Все это приведет к ошибкам целеуказания и уменьшению вероятности поражения цели [2].

Усложнение процесса слежения за современными летательными аппаратами (ЛА) обусловлено не только их высокой маневренностью, но и существенным уменьшением их эффективной площади отражения (ЭПО), т.е. уменьшением энергии отраженного от цели сигнала и снижением дальности устойчивого сопровождения цели. Современные технологии Stelth, позволяют уменьшить ЭПО ЛА с определенных ракурсов на порядок. Это приводит к необходимости функционирования РЛС в условиях его кратковременного пропадания, что также может привести к срыву сопровождения цели [2].

Таким образом, анализ условий применения РЭСС в современном воздушном бою показывает, что для устойчивого сопровождения группы высокоманевренных воздушных целей по дальности, скорости сближения и угловым координатам необходимо повышать точность измерения указанных параметров в условиях их интенсивного изменения.

Для решения этой задачи РЛС перспективных прицельных комплексов должны обладать высокой разрешающей способностью и возможностью сопровождения траекторий одновременно нескольких воздушных целей [3].

Библиографический список

1. Меркулов, В. И. Направления совершенствования радиоэлектронных систем самонаведения истребителей / В. И. Меркулов // Радиолокация и радиометрия. – 1999. – № 1. – С. 5–6.

2. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.

3. Данилов, С. Н. Дискретный алгоритм сопровождения нескольких маневрирующих воздушных целей с идентификацией измерений / С. Н. Данилов, А. А. Иванков, В. А. Малышев // Радиотехника. – 2000. – № 5. – С. 3 – 7.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АНОМАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ НА ВЫХОДЕ АППАРАТУРЫ ПРИЕМА СПУТНИКОВОЙ РАДИОНАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

А. В. Иванов, А. А. Иванов, Н. А. Лежнева

Тамбовский государственный технический университет,
Московский институт радиоэлектроники и автоматики,
Представительство компании «Эрпорт Менеджмент Компани Лимитед»
(e-mail: aleksandr-ivanov68@yandex.ru, andreyivanov6898@yandex.ru, Volchitsa9389@mail.ru)

Введение. Основу современных навигационных комплексов подвижных объектов, в том числе и наземных, составляет аппаратура приема (АП) радиосигналов спутниковых радионавигационных систем (СРНС) типа NAVSTAR GPS, ГЛОНАСС, Галилео (Galileo) и так далее. АП радиосигналов СРНС позволяет обеспечивать высокую точность определения координат местоположения подвижного объекта и параметров его движения путем коррекции счисленных координат местоположения объекта [1]. В то же время ее применение в составе навигационного комплекса имеет существенный недостаток – наличие аномальных измерений – на выходе аппаратуры приема СРНС. Основная причина аномальных измерений – малое отношение сигнал/шум на входе приемного устройства [2].

Для получения оценок координат и параметров движения подвижных объектов широкое применение в современных навигационных комплексах получили марковские методы оптимального оценивания [3, 4]. Для выявления аномальных измерений при использовании данных методов широкое распространение получил метод анализа вектора обновляемой последовательности (вектора невязок измерений) [5]. Однако применительно к АП СРНС данный метод имеет

существенный недостаток – невозможность определения медленных искусственно созданных изменений псевдодальности в радиосигнале от навигационного космического аппарата.

Цель работы – применение методов математической статистики для выявления аномальных измерений на выходе АП СРНС.

Постановка задачи. Использование методов математической статистики для определения аномальных измерений на выходе АП СРНС было рассмотрено применительно к алгоритмам оценивания координаты местоположения и скорости подвижного объекта в вертикальной плоскости (вертикальный канал). Полагали, что в состав навигационного комплекса подвижного объекта входят: инерциальная навигационная система; *M*-канальная аппаратура приема радиосигналов СРНС и барометрический высотомер (БВ).

Сигнал на выходе ИНС в вертикальной плоскости по оси $OZ_{\text{и}}$ представлялся в виде [4]

$$a_Z^{\text{ИНС}}(t_{k+1}) = a_Z(t_{k+1}) + \Delta_{aZ}(t_{k+1}) + g + \sigma_a(2T/\alpha_a)^{0,5} n_{aZ}(t_{k+1}),$$

где $a_Z^{\text{ИНС}}(t_{k+1})$ и $a(t_{k+1})$ – измеренные и истинные значения составляющей вектора ускорения объекта по оси $OZ_{\text{и}}$ соответственно; g – ускорение свободного падения; α_a и σ_a^2 – коэффициент, характеризующий ширину спектра погрешности и дисперсия флуктуационной погрешности соответственно; $t_{k+1} - t_k = T$ – интервал дискретизации; $n_{aZ}(t_{k+1})$ – независимые выборки гауссовского процесса с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией; $\Delta_{aZ}(t_{k+1})$ – постоянная составляющая погрешности измерения ускорения:

$$\Delta_{aZ}(t_{k+1}) = \Delta_{aZ}(t_k).$$

Измерение относительной высоты с помощью БВ описывалось выражением [4]

$$H_{\text{ОТН}}^{\text{БВ}}(t_{k+1}) = H_{\text{ОТН}}(t_{k+1}) + \Delta H(t_{k+1}) + u_{\text{БВ}}(t_{k+1}),$$

где $H_{\text{ОТН}}(t_{k+1})$ – истинное значение относительной высоты; $\Delta H(t_{k+1})$ и $u_{\text{БВ}}(t_{k+1})$ соответственно постоянная ошибка и флуктуационная погрешность, описываемые выражениями:

$$\Delta H(t_{k+1}) = \Delta H(t_k),$$

$$u_{\text{БВ}}(t_{k+1}) = \varphi_{uu}(t_{k+1}, t_k) u_{\text{БВ}}(t_k) + \gamma_u(t_{k+1}, t_k) n_u(t_k), \quad u_{\text{БВ}}(t_0) = u_{\text{БВ}0},$$

в которых $\varphi_{uu}(t_{k+1},t_k)=\exp(-\gamma_{\text{БВ}}T)$; $\gamma_u(t_{k+1},t_k)=\sigma_{\text{БВ}}[1-\varphi_{uu}^2(t_{k+1},t_k)]^{0,5}$; $\gamma_{\text{БВ}}$ и $\sigma_{\text{БВ}}^2$ – коэффициент, характеризующий ширину спектра погрешности, и дисперсия флуктуационной погрешности соответственно; $n_u(t_k)$ – независимые выборки гауссовского процесса с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией.

Измерение на выходе АП СРНС представлялось в виде

$$H^{\text{СРНС}}(t_{k+1})=H_{\text{ОТН}}(t_{k+1})+R_0+\sigma_z n_z(t_{k+1}),$$

где R_0 – радиус-вектор геоцентрической (сферической) системы координат; $n_z(t_{k+1})$ – независимые выборки гауссовского случайного процесса с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией; σ_z – среднеквадратическая ошибка измерения высоты объекта.

Математическая модель изменения положения объекта в вертикальной плоскости описывалась выражениями:

$$H_{\text{ОТН}}(t_{k+1})=H_{\text{ОТН}}(t_k)+TV_Z(t_k)+0{,}5T^2a_Z^{\text{ИНС}}(t_k)-0{,}5T^2\Delta_{aZ}(t_k)-$$
$$-0{,}5T^2g-0{,}5T^2\sigma_a(2T/\alpha_a)^{0,5}n_{aZ}(t_k);$$

$$V_Z(t_{k+1})=V_Z(t_k)+Ta_Z^{\text{ИНС}}(t_k)-T\Delta_{aZ}(t_k)-Tg-T\sigma_a(2T/\alpha_a)^{0,5}n_{aZ}(t_k).$$

Комплексные алгоритмы обработки информации. Методами марковской теории оптимального оценивания были получены алгоритмы комплексной оптимальной обработки информации в навигационных комплексах.

Определение аномальных измерений на выходе АП СРНС осуществлялось методом анализа обновляемой последовательности или невязки измерений СРНС. В стационарном режиме работы обновляемая последовательность представляет собой белый гауссовский шум с известными статистическими характеристиками. Если закон распределения обновляемой последовательности не является гауссовским, то измерения на выходе АП СРНС являются аномальными.

Для проверки того, что закон распределения выборок обновляемой последовательности $\{\boldsymbol{\varepsilon}_{B2}(t_k),\boldsymbol{\varepsilon}_{B2}(t_{k+1}),...,\boldsymbol{\varepsilon}_{B2}(t_{k+N})\}$, $k=0,1,2,...$, является гауссовским, использовался критерий χ^2 (хи-квадрат) Пирсона [6].

В соответствии с полученными алгоритмами была разработана структурная схема обработки информации в навигационных комплексах подвижных объектов, представленная на рис. 1.

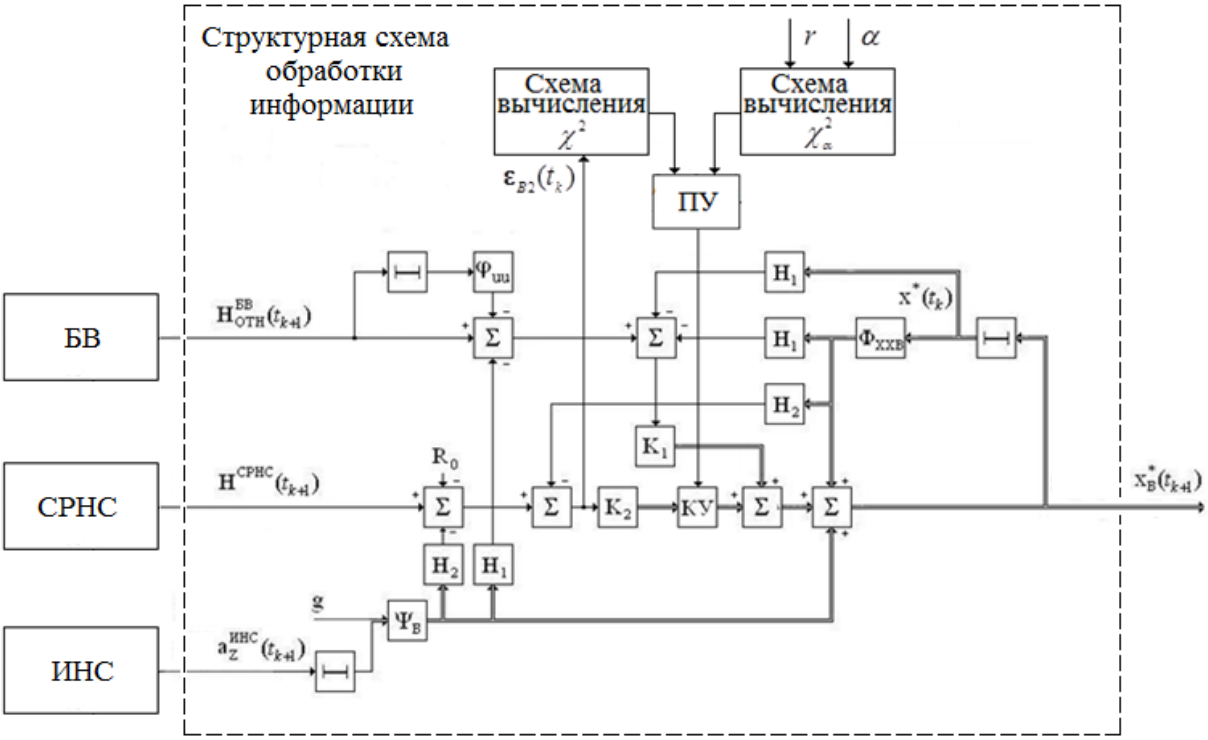


Рис. 1

В состав структурной схемы обработки информации входят сумматоры, усилители, ключевые устройства и линии задержки. Отличительной особенностью предложенной схемы обработки информации является возможность выявления аномальных измерений методом математической статистики. С этой целью в состав схемы введены: схема вычисления χ^2; схема вычисления χ^2_α; пороговое устройство (ПУ) и ключевое устройство (КУ). Для вычисления значения χ^2 на схему вычисления χ^2 поступает N выборок обновляемой последовательности $\{\boldsymbol{\varepsilon}_{B2}(t_k), \boldsymbol{\varepsilon}_{B2}(t_{k+1}), ..., \boldsymbol{\varepsilon}_{B2}(t_{k+N})\}$, $k = 0, 1, 2, ...$ Для вычисления значения доверительной границы χ^2_α на схему вычисления χ^2_α подаются значение уровня значимости α и значение количества «ячеек» группирования r. Пороговое устройство обеспечивает сравнение величин χ^2 и χ^2_α. Если выполняется условие, что значение χ^2 равно или превышает значение порога, в качестве которого используется значение χ^2_α, то выдается сигнал на ключевое устройство. В этом случае ключевое устройство не пропускает обновляемую последовательность (невязку измерений), сформированную по измерениям СРНС для формирования оценки $\mathbf{X}^*_B(t_{k+1})$, считается, что измерения СРНС являются аномальными.

Библиографический список

1. Иванов, А. В. Навигация наземных объектов / А. В. Иванов, Н. А. Иванова. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 120 с.

2. Ярлыков, М. С. Марковская теория оценивания случайных процессов / М. С. Ярлыков, М. А. Миронов. – М. : Радио и связь, 1993. – 464 с.

3. Тихонов, В. И. Нелинейная фильтрация и квазикогерентный прием сигналов / В. И. Тихонов, Н. К. Кульман. – М. : Сов. радио, 1975. – 704 с.

4. Ярлыков, М. С. Статистическая теория радионавигации / М. С. Ярлыков. – М. : Радио и связь, 1985. – 344 с.

5. Кузовков, Н. Т. Инерциальная навигация и оптимальная фильтрация / Н. Т. Кузовков, О. С. Салычев. – М. : Машиностроение, 1982.

6. Тихонов, В. И. Статистическая радиотехника / В. И. Тихонов. – М. : Радио и связь, 1982. – 625 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ ОТ ПАРАМЕТРОВ СТАНЦИИ РАЗВЕДКИ

Д. А. Каданцев, В. А. Хомутков, С. П. Москвитин

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: dmitryktmb@gmail.com, homutkoff200@gmail.com)

Радиотехническая разведка (РТР) имеет особое значение для защиты тех или иных подвижных объектов. Средства РТР обеспечивают измерение параметров РЭС обнаружения и наведения противника, что дает возможность формировать сигналы предупреждения об угрозе своим объектам [1, 2]. Анализ и выработка предупреждения об угрозе происходит в короткое время и дает возможность осуществить контрмеры в виде постановки помех или ложных ответных сигналов.

Дальность радиотехнической разведки (РТР) – это максимальное расстояние $D_р$ между разведприемником и РЭС (источником излучения), при котором обеспечивается обнаружение сигналов РЭС с заданной вероятностью, т.е. при котором мощность сигнала на входе разведприемника равна его реальной чувствительности $P_{вх.\ мин}$ [3, 4].

Без учета потерь мощности сигнала при распространении в атмосфере дальность РТР определяется выражением [1, 5]

$$D_{\text{р}} = \frac{\lambda}{4\pi}\sqrt{\frac{P_{\text{и}}\, G_{\text{с}}\; G_{\text{р}}\, \gamma\, \psi}{P_{\text{вх.min}}}}\, F_{\text{с}}\left(\theta_{\text{р}}, \alpha_{\text{р}}\right) F_{\text{р}}\left(\theta_{\text{с}}, \alpha_{\text{с}}\right), \qquad (1)$$

где λ – длина волны РЭС, м; $P_{\text{и}}$ – излучаемая РЭС импульсная (мгновенная) мощность РЭС, Вт; $G_{\text{с}}$ – КНД антенны РЭС; $G_{\text{р}}$ – КНД антенны станции РТР; γ – коэффициент несовпадения поляризации сигнала РЭС и антенны станции РТР, $\gamma \leq 1$; ψ – коэффициент передачи мощности антенно-фидерного тракта станции РТР от выхода антенны до входа разведприемника; $F_{\text{с}}\left(\theta_{\text{р}}, \alpha_{\text{р}}\right)$ – значение нормированной ДНА РЭС по напряженности в направлении на станцию РТР; $F_{\text{р}}\left(\theta_{\text{с}}, \alpha_{\text{с}}\right)$ – значение нормированной ДНА станции РТР по напряженности в направлении на РЭС; $P_{\text{вх.min}}$ – реальная чувствительность разведприемника, т.е. минимальная мощность сигнала РЭС на входе разведприемника, при которой обеспечивается обнаружение сигналов РЭС с заданной вероятностью, Вт.

На рисунке 1 показана зависимость дальности радиотехнической разведки от мощности излучаемой передатчиком РЭС противника. Из рисунка 1 видно, что повышение мощности РЛС обнаружения и наведения увеличивает дальность РТР по нелинейному закону.

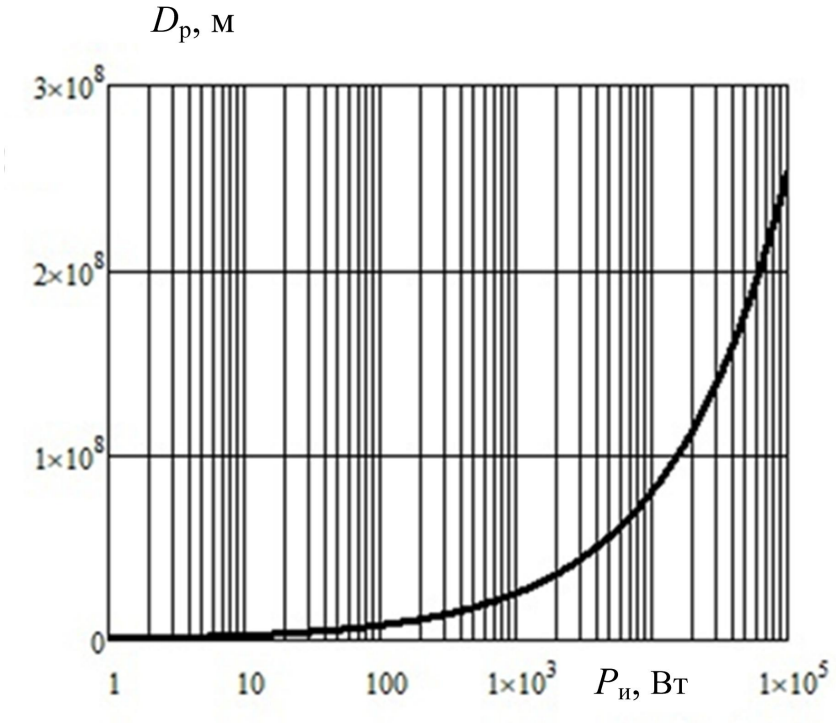


Рис. 1. Зависимость дальности радиотехнической разведки от изменения мощности РЛС обнаружения и наведения

На рисунке 2 показана зависимость дальности радиотехнической разведки от изменения чувствительности приемника станции радиотехнической разведки.

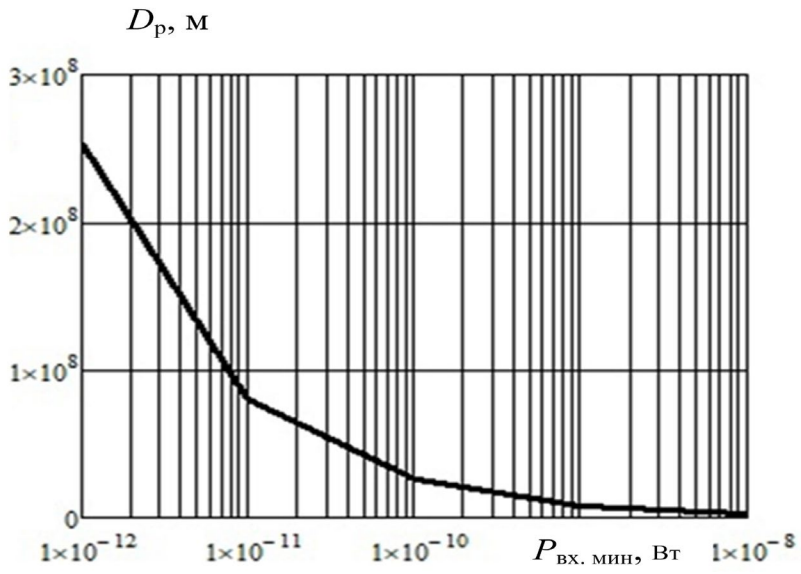


Рис. 2. Зависимость дальности радиотехнической разведки от изменения чувствительности $P_{вх.min}$

Из рисунка 2 видно, что улучшение (уменьшение) чувствительности приемника сильно влияет на дальность радиотехнической разведки. Для увеличения дальности радиотехнической разведки в 2 раза, необходимо уменьшить чувствительность приемника в 4 раза. Чувствительность приемника можно улучшать за счет современных методов обработки сигналов [1, 5, 6].

На рисунке 3 показана зависимость дальности радиотехнической разведки от изменения коэффициента направленного действия станции разведки. Из рисунка 3 видно, увеличение коэффициента направленного действия станции радиотехнической разведки влияет на дальность разведки.

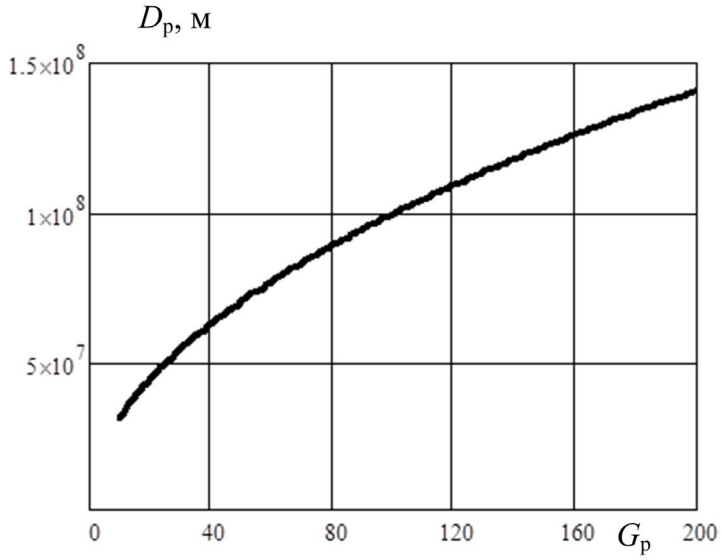


Рис. 3. Зависимость дальности радиотехнической разведки от изменения коэффициента направленного действия станции разведки $G_р$

Таким образом, для увеличения дальности радиотехнической разведки необходимо улучшать чувствительность приемных устройств, увеличение коэффициента направленного действия антенных систем станций радиотехнической разведки.

Улучшение чувствительности приемных устройств обеспечивается за счет уменьшения шума радиотракта, уменьшения полосы пропускания радиотракта. Уменьшение коэффициента шума радиотракта достигается включением в него усилителя радиочастоты УРЧ, использованием оптимальной обработки входных сигналов.

Для увеличения коэффициента направленного действия необходимо, чтобы антенно-фидерные устройства станций радиотехнической разведки были широкополосными, работали во всем разведываемом диапазоне частот, а также обеспечивали пеленгование разведываемого источника излучения с необходимой точностью. Кроме того, антенны станции радиотехнической разведки должны иметь минимальные боковые лепестки, чтобы исключить ложное определение направления на пеленгуемый источник. Удовлетворить всем требованиям с помощью одной антенны затруднено, поэтому обычно применяют несколько антенн, перекрывающих весь разведываемый частотный диапазон.

Библиографический список

1. Пудовкин, А. П. Электромагнитная совместимость и помехозащищенность РЭС [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк, Т. И. Чернышова. – Тамбов : ТГТУ, 2013. – 92 с.

2. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.

3. Pudovkin, A. P., Panasyuk, Yu. N., Danilov, S. N., Moskvitin, S. P. Synthesis of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters. – Journal of Physics: Conference Series, Volume 1015, Issue 3, article id. 032111 (2018).

4. Панасюк, Ю. Н. Устройства сверхвысоких частот : учебное пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : ТГТУ, 2015. – 80 с.

5. Панасюк, Ю. Н. Основы автоматизации проектирования устройств СВЧ и антенн [Электронный ресурс, мультимедиа] : учебное пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – 270 с.

МОДУЛЯЦИИ СИГНАЛОВ ДЛЯ СВЯЗИ С ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ ПРИ ПОЛУПАССИВНОМ САМОНАВЕДЕНИИ

С. Н. Калашников, Т. В. Аксенова

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: snk8686@bk.ru)

Потенциально большая эффективность решения задач на территории противника становится достижимой применением малозаметных летательных аппаратов. Сложность применения летательных аппаратов состоит в высокой погрешности целеуказания [1] и требует организации командных радиолиний связи для повышения точности. Повышения точности целеуказания возможно достичь применением полупассивного способа [2] самонаведения летательного аппарата на цель.

Особо значимым фактором организации радиоканала связи является выбор вида модуляции используемых сигналов. Здесь следует отдавать предпочтение надежности канала связи, которая будет определяться вероятностью битовой ошибки для различных видов модуляции. В работе [3] показаны зависимости вероятности битовой ошибки для различных видов цифровой модуляции и сделан вывод о том, что для обеспечения максимальной дальности связи необходимо использовать энергетически наиболее выгодные виды модуляции – такие как двоичная фазовая манипуляция (BPSK – binary phase-shift keying) и квадратурная фазовая манипуляция (QPSK – Quadrature Phase Shift Keying). Данные виды модуляции будут иметь наименьшую вероятность битовых ошибок при меньшем отношении уровня передаваемого сигнала к уровню шума. Стоит отметить, что при равной энергетической эффективности этих видов модуляции, QPSK в 2 раза спектрально эффективнее, чем BPSK, но только без учета межсимвольной интерференции. Для когерентного детектирования сигналов BPSK и QPSK необходимо применение схем восстановления несущего колебания в приемнике. При этом возникает проблема решения фазовой неоднозначности восстанавливаемого несущего колебания, которая может быть решена использованием фазоразностной манипуляции (ФРМ), введением уникальной последовательности битов перед блоком данных, дающей острый автокорреляционный пик при приеме сигнала, использованием методов канального кодирования. Фазовая манипуляция в идеальных условиях имеет более высокую помехо-

устойчивость в сравнении с ФРМ (на ~1…3 дБ). Большое распространение систем с ФРМ объясняется их более простой реализацией, что на сегодняшний день не является принципиальным фактором.

В работе [3] также приведены зависимости вероятности битовых ошибок от соотношения сигнал/шум сигналов различных модуляций, из которых видно, что снижение соотношения сигнал/шум вызывает нарастание вероятности битовых ошибок. Кроме того, значения соотношения сигнал/шум в целях повышения скрытности командного радиоканала связи могут быть уменьшены при спектральном расширении сигнала, так, например, расширением спектра прямой последовательностью Баркера.

Материал подготовлен при поддержке РФФИ, грант № 20-08-00091.

Библиографический список

1. Распознавание состояния информационно-измерительной системы при неточных измерениях вектора ее фазовых координат / Г. Г. Себряков, С. М. Мужичек, А. А. Скрынников, В. И. Павлов, О. В. Ермолин // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2016. – № 11. – С. 15 – 19.

2. Пат. 2181869 Российская Федерация, МПК F 41 G 7/22, F 42 B 15/01. Способ полупассивного самонаведения управляемых ракет класса «воздух – воздух» с радиолокационной головкой самонаведения: / Павлов В. И., Маштак А. А., Зайцев Д. В. ; заявитель и патентообладатель Тамбовский военный авиационный инженерный институт. – № 2000100556/02 ; заявл. 10.01.2000 ; опубл. 27.04.2002, Бюл. № 12. – 3 с.

3. Боев, Н. М. Анализ командно-телеметрической радиолинии связи с беспилотными летательными аппаратами / Н. М. Боев // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. акад. М. Ф. Решетнева. – 2012. – Вып. 2(42). – С. 86 – 91.

РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ «ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ» ДЛЯ УЧЕБНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА РАДИОПЕРЕДАЮЩИХ И РАДИОПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ

Ж. Е. Кенжахметов, И. А. Рахметов, А. В. Печаткин

Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П. А. Соловьева, Рыбинск, Россия
(e-mail: zhandos.141.00@mail.ru, rakhmetilyas@gmail.com, rts-avp@yandex.ru)

Активное развитие технологии программно-определяемых радиосистем (Software-Defined Radio – SDR) требует углубленного изучения принципов и особенностей функционирования и построения радиопередающих и радиоприемных устройств. Изучение в техническом университете современных радиоприемных и радиопередающих устройств (РПдУ и РПУ), как правило, заканчивается итоговым курсовым проектированием по индивидуальному техническому заданию и представляет собой сложную и трудоемкую задачу. Это обусловлено следующими факторами:

1) многообразие структурных, функциональных и схемных решений профессиональных РПдУ и РПУ;

2) наличие большого количества мешающих сигналов и помех, свойственных современному радиоприему в связи с необходимостью использования многоступенчатого преобразования частоты при одновременном увеличении частоты несущего колебания и расширении полосы трактов высокой и промежуточной частот в целях повышения дальности и качества радиоприема;

3) использование разнообразных методов модуляции и манипуляции полезного низкочастотного сигнала, по-разному реагирующих на прохождение через усилительные и преобразовательные каскады и тракты, изменяющие их параметры;

4) сложный математический аппарат в области передачи, приема и обработки сигналов;

5) необходимость выполнения жестких требований ТЗ на проектирования РПдУ и РПУ, таких как: высокая чувствительность; значительный уровень подавления внеполосных сигналов и помех; регламентирование максимального покрытия функциональных особенностей РПдУ и РПУ минимальным аппаратным набором; необходимость введения автоматических подстроек частоты, фазы и уровня сигнала для оптимизации функционирования РПдУ и РПУ.

Для успешного решения задачи оптимизации процессов изучения и проектирования РПдУ и РПУ, а также возможности создания функциональной архитектуры узлов и блоков SDR на кафедре радиоэлектронных и телекоммуникационных систем РГАТУ имени П. А. Соловьева силами студенческого конструкторского бюро создаются программируемые функционально-параметрические модели основных узлов и блоков (ФПМ), с помощью которых собирается и исследуется базовый функциональный «цифровой двойник» или, иначе, «цифровой макет» радиоустройства.

ФПМ построены по принципу технологий объектно-ориентированного программирования, свойственных языкам высокого уровня, и также как и создаваемые на их основе программируемые аналоговые узлы, соответствуют 4 основным требованиям: абстракция, наследование, полиморфизм и инкапсуляция [1, 2].

Смысловое наполнение этих определений отражено на рис. 1.

Рис. 1. Основные принципы формирования функционально-параметрических моделей узлов и блоков РПдУ и РПУ

Обобщая использование указанных принципов, можно отметить следующие возможности:

а) ФПМ могут быть построены как на аналитической платформе, так и на прямом использовании компонентов и структур, заложенных в модели класса PSpice типовых схемотехнических САПР;

б) ФПМ позволяют визуализировать передачу параметров непосредственно в элементы «цифрового двойника» и оперативно изменять общий сценарий многовариантного моделирования;

в) ФПМ поддерживают общий принцип проекта: в одном месте изменил – произошли контролируемые изменения по всему проекту;

г) ФПМ полностью отвечают стандартным условно-графическим изображениям компонентов и узлов.

В настоящее время библиотека PSpice моделей устройств и блоков РПдУ и РПУ, выполненная для инженерной системы схемотехнического моделирования MicroCap, содержит 79 моделей компонентов и узлов, сгруппированных в 8 функциональных кластеров, понятных для конечного пользователя.

Примеры реализации ФПМ узлов и структур для исследования непрерывных и цифровых сигналов показаны на рис. 2, 3.

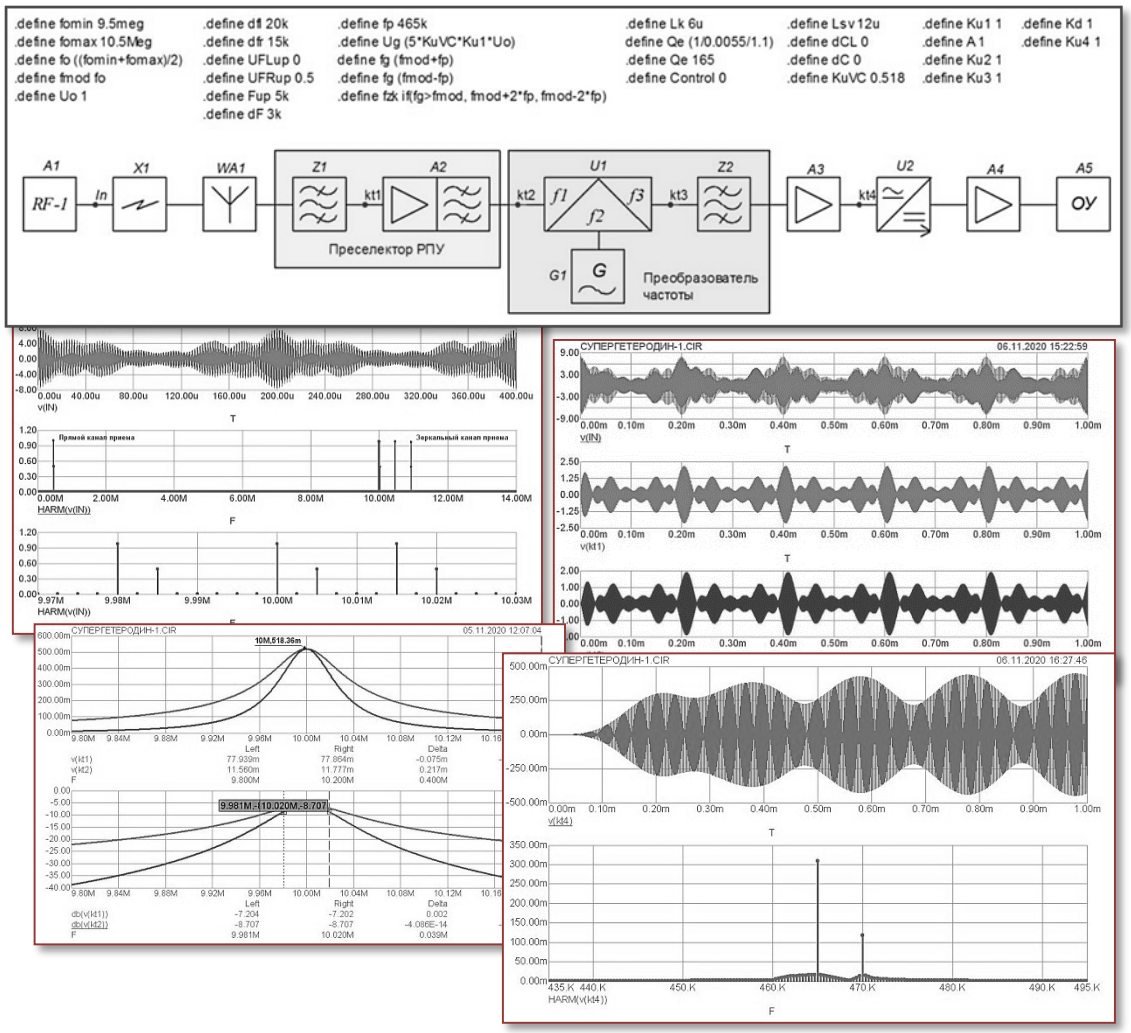


Рис. 2. Пример реализации супергетеродинного РПУ непрерывных сигналов на основе ФПМ

Применение библиотечных модулей, оформленных в соответствии с требованиями ЕСКД, позволяет значительно ускорить процесс моделирования и проектирования РПдУ и РПУ и повысить уровень наглядности разработки. Использование для создания библиотечных модулей технологии объектно-

ориентированного программирования позволяет оперативно создавать функционально-завершенные модели различных РПдУ и РПУ, допускающих гибкое внесение изменений в основные параметры схемы наряду с изменением исследуемого параметра для всей структуры без непосредственного открытия модулей и изменения установленных по умолчанию значений.

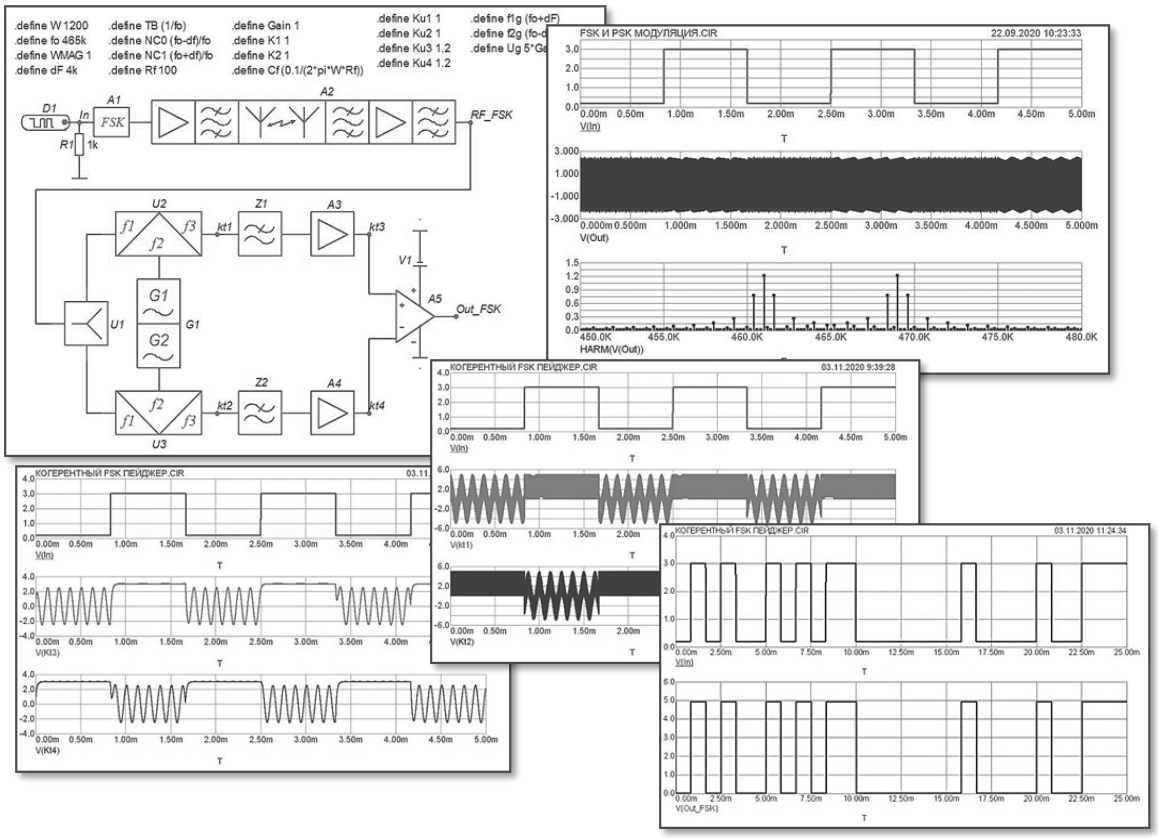


Рис. 3. Пример реализации квадратурного РПУ частотно-манипулированных сигналов основе ФПМ

Библиографический список

1. Полнофункциональные топологические модели электронных компонентов как основа управления жизненным циклом электронных средств / А. В. Печаткин, А. Н. Смирнов // XXVIII – Международная научная конференция «Математические методы в технике и технологиях ММТТ-28» : сб. тр. – Саратов, 2015. – Т. 10. – С. 217 – 222.

2. Синтез полнофункциональных топологических моделей электронных компонентов для сквозного вариативного моделирования электронных средств / А. В. Печаткин, А. Н. Смирнов // Сб. тр. 69 региональной науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов вузов с международным участием. – Ярославль : Издательский дом ЯГТУ, 2016. – С. 1503 – 1506.

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОПЕРАТИВНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ОПТИМАЛЬНОГО ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ

Н. А. Кольтюков, И. Н. Фетисов

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: rn3rfm@rambler.ru, vanya.fetisov2011@yandex.ru)

Алгоритм оперативного проектирования СОЭУ многоприводным объектом предусматривает формирование множества вариантов структуры СОЭУ, их анализ и выбор предпочтительного алгоритмического и программного обеспечения [1, с. 5].

Формирование множества вариантов предполагает выполнение следующих этапов.

1. Многоприводный объект представляется в виде множества электроприводов $\xi = \left\{ \text{Эп}^i,\ i = \overline{1,n} \right\}$. Каждому элементу множества, т.е. электроприводу Эп^i, ставится в соответствие задача оптимального управления

$$\text{ЭП}^i \sim < \text{М}^i, \text{О}^i, \Phi^i, \text{С}^i >, \quad i = \overline{1,n}. \tag{1}$$

1.1. Множество ξ разбивается на N_1 групп, в которых динамика электропривода описывается одинаковым видом математической модели, т.е.

$$\xi \Rightarrow \xi_1, \xi_2, ..., \xi_{N_1}, \tag{2}$$

$$\xi_1 = \left\{ \text{Эп}^i / \text{М}_1^i \right\};\ \ \xi_2 = \left\{ \text{Эп}^i / \text{М}_2^k \right\}; \ldots ;\ \xi_{N_1} = \left\{ \text{Эп}^r / \text{М}_{N_1}^z \right\}.$$

При этом выполняются следующие условия:

$$\xi = \bigcup_{i=1}^{N_1} \xi_i\ ; \quad \xi_i \bigcap \xi_j = \varnothing,\ i \neq j\ . \tag{3}$$

Таким образом, выделяется N_1 видов используемых математических моделей.

1.2. В каждой группе ξ_i выделяется m_i подгрупп по идентичности параметров модели с возможным разбросом не более заданного (электроприводы, параметры модели которых значительно отличаются от остальных, выделяются в самостоятельные группы):

$$\forall i \in \overline{1, N_1}, \quad \xi_1 \Rightarrow \xi_1(1), \xi_1(2), ..., \xi_1(m_1); \ldots \tag{4}$$

$$\ldots;\xi_i \Rightarrow \xi_i(1), \xi_i(2), ..., \xi_i(m_i); \ldots;\xi_{N_1} \Rightarrow \xi_{N_1}(1), \xi_{N_1}(2), ..., \xi_{N_1}(m_{N_1}),$$

$$\xi_i = \bigcup_{j=1}^{m_i} \xi_i(j); \quad \xi_i(j) \bigcap \xi_i(k) = \varnothing, \ j \neq k;$$

$$\xi_i(1) = \left\{ЭП^k / M_i^k / A_1^k, B_1^k\right\};$$

$$\xi_i(2) = \left\{ЭП_j / M_i^j / A_2^j, B_2^j\right\}; \ldots;\xi_i(m_i) = \left\{ЭП_x / M_i^x / A_{m_i}^x, B_{m_i}^x\right\},$$

$$\forall i \in \overline{1, m_i}, \ A_{ср,i} = \frac{A_i^1 + A_i^2 + ... + A_i^f}{f}, \ B_{ср,i} = \frac{B_i^1 + B_i^2 + ... + B_i^f}{f},$$

$$\forall j \in \overline{1, f}, \ \delta A_i^j = \frac{\left|A_{ср} - A_i^j\right|}{A_{ср,i}}, \ \delta A_i^j \leq \delta A_{доп},$$

$$\forall j \in \overline{1, f}, \ \delta B_i^j = \frac{\left|B_{ср} - B_i^j\right|}{B_{ср,i}}, \ \delta B_i^j \leq \delta B_{доп},$$

где f – количество электроприводов в подгруппе; $\delta A_{доп}$, $\delta B_{доп}$ – допустимые отклонения параметров модели.

Таким образом, получаем N_2 подгрупп электроприводов, различающихся видом модели и значениями параметров модели:

$$N_2 = \sum_{i=1}^{N_1} m_i . \tag{5}$$

1.3. В подгруппах, содержащих более одного электропривода, производится проверка на идентичность минимизируемых функционалов Ф. При разных функционалах подгруппы делятся по количеству видов функционалов. Наиболее часто используются функционалы «затраты энергии» и «быстродействие», поэтому подгруппа может разбиваться на две части:

$$\xi_i(j) \Rightarrow \xi_i(j, 1), \xi_i(j, 2), ..., \xi_i(j, m_{i,j}), \tag{6}$$

$$\xi_i(j) = \bigcup_{k=1}^{m_{i,j}} \xi_i(j,k); \quad \xi_i(j,k) \bigcap \xi_i(j,p) = \varnothing, \ k \neq p;$$

$$\forall k \in \overline{1, m_{i,j}}, \ \xi_i(j,k) = \left\{ЭП^q / M_i^q / A_j^q, B_j^q; \Phi_k^q\right\}, \ \Phi_k^n = \Phi_k^r = ... = \Phi_k^q,$$

где s, r, q – номера электроприводов, входящих в $\xi_i(j,k)$ подгруппу. Количество подгрупп после выполнения этого этапа составляют N_3, причем

$$N_3 = \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{m_i} m_{i,j} \,. \tag{7}$$

1.4. Анализируются условия и ограничения для электроприводов в выделенных подгруппах.

$$\xi_i(j,k) \Rightarrow \xi_i(j,k,1), \xi_i(j,k,2), \ldots, \xi_i\left(j,k,m_{i,j,k}\right), \tag{8}$$

$$\xi_i(j,k) = \bigcup_{p=1}^{m_{i,j,k}} \xi_i(j,k,p); \quad \xi_i(j,k,q) \bigcap \xi_i(j,k,r) = \varnothing, q \neq r;$$

$$\forall p \in \overline{1, m_{i,j,k}}, \; \xi_i(j,k,p) = \left\{ \text{ЭП}^q / \text{М}_i^q / A_j^q, B_j^q; \Phi_k^q, \text{О}_p^q \right\}, \; \text{О}_i^s = \text{О}_i^t = \ldots = \text{О}_i^r,$$

где s, t, r – номера электроприводов, входящих в $\xi_i(j,k,p)$ подгруппу. При различиях в условиях и ограничениях выделяют подгруппы с одинаковыми О_i^s. Количество подгрупп после этого этапа равно N_4:

$$N_4 = \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{k=1}^{m_{i,j}} m_{i,j,k} \,. \tag{9}$$

1.5. Рассматриваются стратегии реализации управления для электроприводов в сформированных подгруппах и выделяются подгруппы аналогично показанным выше:

$$\xi_i(j,k,p) \Rightarrow \xi_i(j,k,p,1), \xi_i(j,k,p,2), \ldots, \xi_i\left(j,k,p,m_{i,j,k,p}\right), \tag{10}$$

$$\xi_i(j,k,p) = \bigcup_{q=1}^{m_{i,j,k,p}} \xi_i(j,k,p,q); \; \xi_i(j,k,p,r) \bigcap \xi_i(j,k,p,s) = \varnothing, r \neq s;$$

$$\forall q \in \overline{1, m_{i,j,k,p}}, \; \xi_i(j,k,p,q) = \left\{ \text{ЭП}^r / \text{М}_i^r / A_j^r, B_j^r; \Phi_k^r, \text{О}_p^r, \text{С}_q^r \right\},$$

$$\text{С}_q^s = \text{С}_q^t = \ldots = \text{С}_q^v.$$

Количество подгрупп после выполнения этого этапа

$$N_5 = \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{k=1}^{m_{i,j}} \sum_{p=1}^{m_{i,j,k}} m_{i,j,k,p} \,. \tag{11}$$

1.6. Сформированные группы проверяются на технологические ограничения [2, с. 22].

Сформированные группы электроприводов являются исходным материалом для последующих этапов формирования множества допустимых вариантов структуры системы оптимального управления.

2. Для каждой j-й группы электроприводов составляется алгоритм управления и оцениваются вычислительные затраты на его программную реализацию с учетом числа пересчетов ОУ за секунду.

3. Компонуются элементы структуры СОЭУ с учетом возможностей МПК. Вычислительные затраты на алгоритм управления одним МПК n_1 группами считаются как сумма вычислительных затрат на алгоритмы всех объединяемых групп и дополнительного слагаемого, учитывающего возрастающую сложность при одновременном управлении (примерно 10% от суммы), т.е.

$$\mathrm{Alg}^j = \sum_{i=1}^{n_1} \mathrm{Alg}_i + \Delta\mathrm{Alg}, \qquad (12)$$

где j – номер объединения групп. При этом суммарные вычислительные затраты на реализацию алгоритмов управления должны быть максимально приближены к вычислительным возможностям МПК, но не должны превышать их.

4. Определяются стоимости вариантов и сопоставляются с допустимой ценой системы оптимального управления.

5. Определяются количественные значения частных показателей $q_1,...,q_k$ характеризующих проектируемую СОЭУ с точки зрения экономии энергозатрат, надежности, простоты математического и программного обеспечения системы, окупаемости.

6. Методом Парето-оптимизации определяется подмножество предпочтительных вариантов по векторному критерию.

7. Для окончательного определения оптимального варианта используется «свертка» векторного критерия в скалярный.

После определения оптимального варианта структуры СОЭУ, создается алгоритмическое обеспечение, в которое входят алгоритмы управления отдельными группами ЭП и логические связи, учитывающие различные технологические ограничения на синхронность движения, запрет одновременной работы и др. [3, с. 35]. По созданному алгоритму разрабатывается программное обеспечение для управляющих устройств на языках программирования, ориентированных на данные устройства управления (УУ).

Библиографический список

1. Кольтюков, Н. А. Оптимальное энергосберегающее управление смесительными машинами предприятий по производству и переработке полимерных материалов : дис. … канд. техн. наук / Н. А. Кольтюков. – Тамбов : ТГТУ, 2002. – 174 с.

2. Белоусов, О. А. Энергосберегающее управление группой мощных аппаратов с электронагревом / О. А. Белоусов, Н. А. Кольтюков, Ю. Т. Зырянов // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2015. – № 5(65). – С. 27 – 29.

3. Данилов, С. Н. Алгоритм функционирования системы угловой коррекции наземной подвижной антенны, синтезированный на основе систем со случайным изменением структуры / С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 55 – 59.

4. Данилов, С. Н. Алгоритм сопровождения с реконфигурацией модели / С. Н. Данилов, Н. А. Кольтюков, Р. А. Ефремов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 3. – С. 418 – 423.

5. Данилов, С. Н. Мультимодельный алгоритм сопровождения со сниженными вычислительными затратами / С. Н. Данилов, Н. А. Кольтюков, Р. А. Ефремов // Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах : тез. докл. 2-й Междунар. конф. с элементами научной школы. – Тамбов, 22 – 24 апреля, 2015. – С. 304–305.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛАЗЕРНЫХ ДАЛЬНОМЕРОВ В НАВИГАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСАХ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ И ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ

Д. В. Комраков

АО «Конструкторское бюро точного машиностроения им. А. Э. Нудельмана», Москва, Россия
(e-mail: radist41@bk.ru)

В настоящие время широкое применение для определения координат и параметров движения подвижных объектов, в том числе и военного назначения, получили навигационные комплексы. В состав таких комплексов, как правило, включают следующие системы и датчики:

– аппаратура приема сигналов глобальной навигационной спутниковой системы (ГЛОНАСС и GPS);
– аппаратура приема сигналов системы сотовой связи (UMTS и GSM);
– инерциальная навигационная система;
– цифровой магнитный компас;
– датчик скорости;
– барометрический высотомер.

Включение в эти комплексы дополнительных систем и датчиков, позволяющих получить дополнительную избыточную информацию о параметрах движения объекта, можно использовать для осуществления контроля целостности навигационных данных глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС).

Под контролем целостности ГНСС подразумевается комплекс мероприятий по определению соответствия заданным характеристикам способности ГНСС обеспечивать потребителей сигналами тревоги о недостоверности навигационных сигналов ГНСС [1].

Данная процедура позволяет выявить факт неправильного функционирования ГНСС и исключить сигнал данной системы из обработки, тем самым предотвратить неправильное определение текущего местоположения объекта.

Существуют несколько способов контроля целостности ГНСС, которые можно разделить на две основные группы: внешний контроль целостности и внутренний (автономный) контроль целостности.

К внешнему контролю целостности относятся следующие способы:

– самоконтроль бортовых систем навигационного спутника. Осуществляется непосредственно на навигационных космических аппаратах (НКА), что позволяет контролировать функционирование основных бортовых систем;

– наземный контроль. Данный способ осуществляет контроль целостности навигационного поля специальной аппаратурой из состава наземного комплекса.

К внутреннему (автономному) контролю целостности относятся:

– автономный контроль целостности в приемнике (RAIM – Receiver Autonomous Integrity Monitoring). Способ основан на использовании избыточной навигационной информации, получаемой от НКА, для контроля качества навигационного поля;

– автономный контроль целостности на борту (AAIM – Airborne Autonomous Integrity Monitoring). Основой данного алгоритма служит избыточность навигационной информации, получаемой от различных бортовых навигационных датчиков (радиотехнических и нерадиотехнических), для обеспечения контроля целостности навигационной информации;

– эвристический подход. Эвристические алгоритмы широко применяются для решения задач высокой вычислительной сложности, где вместо полного перебора вариантов, занимающего существенное время, а иногда технически невозможного, применяется значительно более быстрый, но недостаточно обоснованный теоретически алгоритм.

Так, в работе [2] предложен новый метод автономного контроля целостности навигационных данных ГНСС, отличающийся от известных тем, что для осуществления контроля целостности используется информация от барометрического высотомера и инерциальной навигационной системы.

Однако, использование барометрического высотомера в составе навигационного комплекса обладает следующими недостатками:

– недостоверные показания высотомера при резком перепаде атмосферного давления (циклон, антициклон, гроза и пр.);

– невысокая точность при резких перепадах высот;

– кроме того, при большом крене машины высотомер может показывать завышенные показатели, что не отвечает действительности.

Для устранения данных недостатков целесообразно барометрический высотомер заменить на лазерный высотомер (дальномер), что позволит:

– повысить точность определения относительной высоты объекта;

– получить независимость от метеоусловий.

Таким образом, применение в составе современных навигационных комплексов лазерных высотомеров позволит устранить недостатки барометрических высотомеров, что существенно расширит возможности использования данных комплексов. Так, например, включение в состав комплекса лидара (устройства для формирования трехмерной картины окружающего пространства) позволит создать на базе таких комплексов полноценные беспилотные системы управления транспортом.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 54460–2011. Глобальные навигационные спутниковые системы. Система мониторинга и контроля целостности. Общие технические требования и методы испытаний. – Введ. 2012-07-01. – М. : Стандартинформ, 2012. – 8 с.

2. Комраков, Д. В. Оптимизация обработки информации в навигационных комплексах наземных подвижных объектов с контролем целостности данных спутниковых радионавигационных систем: автореф. … дис. кан. тех. наук / Д. В. Комраков. – Тамбов, 2017. – 16 с.

ЗОНДОВАЯ СТАНЦИЯ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КРИСТАЛЛОВ ДИОДОВ И ТРАНЗИСТОРОВ

***В. В. Кондусов*[1], *В. А. Кондусов*[2]**

[1]*ООО «Импри», Воронеж, Россия (e-mail: kvv@kvpe.ru),*
[2]*Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия (e-mail: kva.vrn@mail.ru)*

Испытания электрических параметров кристаллов диодов и транзисторов при их производстве являются важнейшей частью технологического процесса. Результаты таких испытаний служат для определения их эксплуатационных возможностей, являются исходным материалом при расчете схем, а с другой стороны, позволяют косвенным образом судить о внутренних свойствах и особенностях приборов [1, 2]. Наиболее востребована процедура предварительной отбраковки и измерения нормированных характеристик отдельных кристаллов перед корпусированием на предприятиях военной и космической промышленности. Процесс предварительного тестирования и отбраковки позволяет избежать трат на изготовление заведомо неисправного или не подходящего по нормированным характеристикам изделия [3].

Впервые задача по разработке, изготовлению и введению в технологический процесс зондовой станции испытания кристаллов была поставлена перед специалистами ООО «Импри» в 2015 году. Заказчиком на разработку и изготовление зондовой установки выступило АО «ВЗПП-С», г. Воронеж – ведущий российский разработчик и производитель дискретных полупроводниковых приборов, интегральных микросхем и силовых модулей.

До 2015 года работы по зондовому тестированию кристаллов перед сборкой на АО «ВЗПП-С» проводились на морально устаревшей зондовой станции выпуска 1980 годов. Имелись ощутимые проблемы с точностью установки зондов, с качеством контактирования и скоростью замены кристаллов при потоковом измерении. Все манипуляции выполнялись вручную.

При исследовании рынка выяснилось, что современные многозондовые станции не удовлетворяют требованиям скорости совмещения зондов с контактными площадками, оперативной регулировки силы прижима зондов к контактным площадкам, автоматизированного подъема-опускания столика с контактным устройством.

На основании технического задания, подготовленного АО «ВЗПП-С», специалистами ООО «Импри» была разработана, изготовлена и введена

в эксплуатацию установка АЗУ-01 (начало эксплуатации – 2015 г.). Позднее, после оценки эффективности и надежности зондовой станции, заказчиком была заказана разработка и изготовление двух экземпляров модифицированной версии. Новая разработка получила наименование АЗУ-01М, установка дополнена вакуумным прижимом кристалла с собственным источником вакуума и модулем гидравлического демпфирования столика в верхнем положении. Добавлен модуль регулировки положения микроскопа с возможностью наклона (осмотр кристалла и зондов сбоку требуется для более удобной и качественной регулировки зондов, контроля отпечатков).

Разработанная установка является составной частью программно-аппаратного комплекса и предназначена для испытания электрических параметров кристаллов диодов и транзисторов, находящихся по одному (выкладываются на столик контактного устройства). Так же имеется возможность производить измерения параметров корпусных изделий.

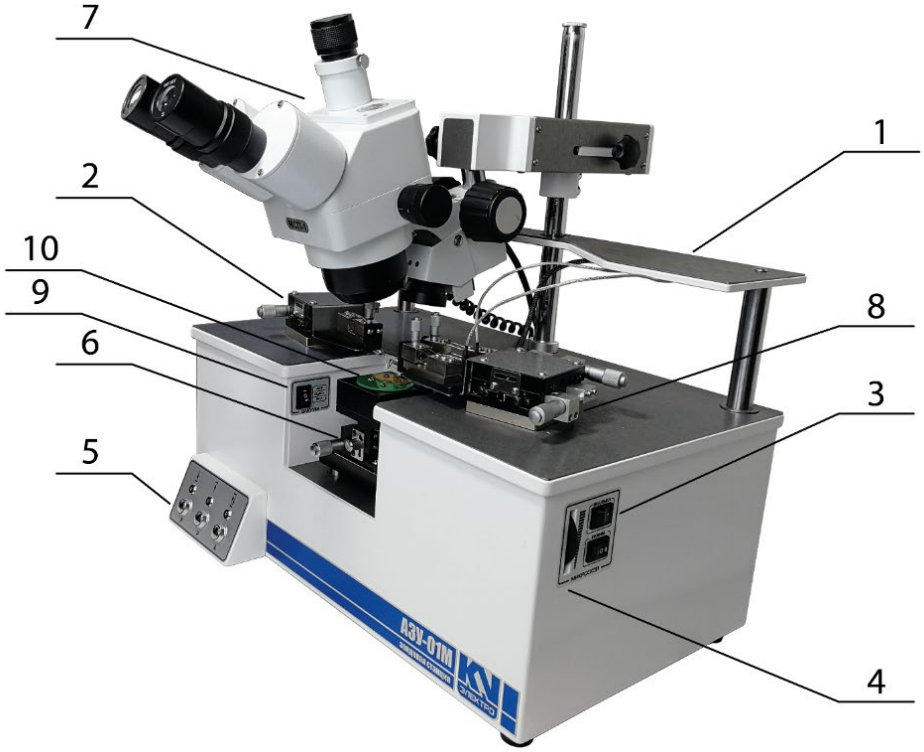


Рис. 1. Общий вид установки

На рисунке 1 показаны: рабочая полка (*1*), контактирующее устройство с однозондовым прецизионным манипулятором (*2*), выключатель осветителя микроскопа (*3*), ручка регулировки осветителя (*4*), пульт управления и задания режимов работы установки (*5*), блок регулировки прижима и высоты подъема (*6*), микроскоп МСП-1 (*7*), контактирующее устройство с двухзондовым

прецизионным манипулятором (*8*), предметный столик (*10*) с ручным микрометрическим перемещением по высоте (*6*), переключатель режима работы вакуумного насоса (*9*). На рабочем столике укреплена плата с позолоченными электрическими контактами и фиксаторами для проверяемых кристаллов.

На пульте управления (*5*) расположены кнопки «↓» «↑» «↑↓», используемые для управления перемещением рабочего столика установки, формирования сигнала автоматического измерения.

В установке АЗУ-01М применены инновационные решения в амортизации игольчатого контакта, что позволяет контактным иглам (зондам) при прижиме перемещаться вертикально (рис. 2, 3). Данное решение практически полностью исключает сдвиг кристалла при прижиме и контактировании.

Рис. 2. Одинарный зонд

Рис. 3. Сдвоенный зонд

Для обеспечения регулирования положения зондовой иглы по координатам *X*, *Y* использованы микрометрические головки с шагом резьбы 500 мкм, а по координате *Z* – прецизионный винт с шагом резьбы 250 мкм, что позволяет добиться разрешения устройства <5 мкм.

В установке используется пневматическая подача столика с кристаллом. Реализовано гидравлическое демпфирование столика в верхнем положении, что позволяет добиться высокой плавности хода и скорости перемещения рабочего столика в верхнее положение с минимальным воздействием сил инерции на кристалл, что очень важно при потоковом измерении с большой скоростью.

Разработана программа управления, позволяющая автоматизировать процесс тестирования. Контроль и управление установкой может быть произведен извне, используя разъем, расположенный на задней части прибора.

Использование разработанной установки позволяет решить проблемы скорости коммутации, удобства использования, позволяет производить тестирование как малыми, так и большими токами, а также решать многие другие проблемы при тестировании кристаллов в современном радиоэлектронном производстве.

В России отсутствуют предприятия, работающие над разработкой и изготовлением установок данного типа, в основном ассортимент зондовых установок представлен продукцией производства Белоруссии, Китая, США, а установки с такой скоростью тестирования одиночных кристаллов не представлены вовсе, что делает установку уникальной.

На данный момент специалистами ООО «Импри» рассматривается перспектива развития направления зондового тестирования в плане отказа от ручного труда по подаче кристаллов в рабочую область. Имеются предложения по использованию штабелируемых кассет с кристаллами, автоматизированной подачи кассет в установку тестирования, автоматической подачи кристаллов из кассет в зону тестирования с последующей маркировкой или сортировкой по определенным признакам и обратной загрузки в кассеты. В данном варианте практически полностью исключается ручной труд. Так же разрабатывается концепция разработки и использования универсальных блоков для автоматизации микроэлектронного производства, т.е. использования универсальных кассет, податчиков, сортировщиков и измерителей, с возможностью свободного взаимного комбинирования.

Библиографический список

1. Аронов, В. Л. Испытание и исследование полупроводниковых приборов : учебное пособие для специальностей полупроводниковой техники вузов / В. Л. Аронов, Я. А. Федотов. – М. : Высш. шк., 1975. – 325 с.

2. Кондусов, В. В. Автоматизированный тестовый контроль параметров полупроводниковых приборов / В. В. Кондусов, В. А. Кондусов // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2016. – Т. 12, № 6. – С. 104 – 106.

3. Васильев, И. Зондовые измерения параметров полупроводников: комплексные решения / И. Васильев // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – 2017. – № 2(00162). – С. 72 – 77.

НЕЙРОННЫЕ СЕТИ. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ АППАРАТНЫХ РЕШЕНИЙ

Н. В. Кузьмина, И. И. Савенков

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, Москва, Россия
(e-mail: kuzminanv@student.bmstu.ru, savenkovii@student.bmstu.ru)

Введение. Вопреки распространенному мнению, искусственный интеллект, как и нейронные сети, имеет очень долгую историю. Первые упоминания относятся еще к середине XX века – в 1943 году У. Маккалок и У. Питтс формализуют термин нейронной сети в фундаментальной статье о логическом исчислении идей и нервной активности. В 1949 году Д. Хеббом предложен первый алгоритм обучения, а к 2007 году Джеффри Хинтоном уже разработан алгоритм глубокого обучения многослойных нейронных сетей [1]. Стремительное развитие теории искусственного интеллекта вызвано в первую очередь потребностью в автоматизации человеческого труда. Главная цель – создание сложной системы, способной обучаться и принимать решения без участия человека.

Актуальность и необходимость исследований искусственных нейронных сетей на сегодняшний день неоспорима, достижения в данной области уже сейчас помогают крупнейшим мировым компаниям экономить миллиарды,

автоматизируя такие задачи, как интеллектуальная обработка больших массивов информации, анализ поведения пользователей и многое другое [2]. Вместе с перспективой развития искусственного интеллекта возникает потребность в достаточном объеме материала, представленном в виде книг, статей, научных журналов, подходящих для изучения как начинающими, так и более продвинутыми пользователями. Еще одной проблемой в изучении данного направления является высокая скорость развития технологий, требующая быстрой адаптации к новому материалу и постоянного контроля актуальности изучаемой информации.

В данной работе рассмотрены такие понятия, как нейрокомпьютер и нейропроцессор, их классификация, основные принципы функционирования и перспективы развития [1, 3, 4], а также приведен анализ ключевых аппаратных решений, представленных на мировом рынке на сегодняшний день [2, 5].

Нейропроцессор. В настоящее время наиболее широкое применение находят центральные процессоры CPU (central processing unit), являющиеся составляющей любого компьютера. Однако для реализации нейронных сетей данной составляющей недостаточно, для выполнения этой задачи необходима высокая скорость обработки данных, которая может быть реализована с помощью графического процессора GPU (graphical processing unit). Нейропроцессор обеспечивает повышение эффективности работы нейросетевых алгоритмов, поэтому является наиболее подходящим средством реализации нейронных сетей.

Нейропроцессор представляет собой кристалл, обеспечивающий выполнение нейросетевого алгоритма в реальном масштабе времени. Он относится к массово-параллельным системам, характерными чертами которых являются параллельные потоки одинаковых команд и параллельно обрабатываемые потоки данных. Классифицировать нейропроцессоры можно следующим образом [3]:

– специализированные нейрочипы;

– заказные кристаллы (ASIC);

– встраиваемые микроконтроллеры (mC);

– процессоры общего назначения (GPP);

– перепрограммируемые логические интегральные микросхемы (FPGA, ПЛИС);

– процессоры цифровой обработки сигналов (ПЦОС);

– транспьютеры.

Каждый из перечисленных типов аппаратной реализации имеет как свои достоинства, так и недостатки. Например, программируемые логические интегральные микросхемы (ПЛИС) имеют высокую стоимость и не приспособлены к использованию напрямую в силу неадаптированности к реализации нейронных сетей.

Еще одним из основных направлений является нейросетевой процессор на основе тензоров. В таких нейрочипах есть один центральный процессор и множество сопроцессоров, основанных на тензорных вычислениях и выполняющих операции матричного умножения и свертки. Область применения такого аппаратного решения – задачи машинного обучения.

В настоящее время исследование и разработка нейрочипов ведется во многих странах. Данное направление является приоритетным в современном мире, его главная задача – создание суперкомпьютера – нейрокомпьютера, способного автоматизировать человеческий труд и принимать решения без участия человека.

2. Нейрокомпьютер. Нейрокомпьютер – вычислительная система, в которой аппаратное и программное обеспечение оптимизировано для реализации алгоритмов решения задач на основе принципов работы *нейронных сетей* [4]. Основные преимущества нейрокомпьютеров – это параллелизм вычислений, обеспечивающий высокую скорость работы; низкие требования к стабильности и точности параметров элементарных узлов; устойчивость к помехам и разрушениям формальных нейронов при большой пространственной размерности системы.

Архитектура нейрокомпьютеров может заключаться в совокупности нейрочипов (аналоговых, цифровых и гибридных); встраиваемых блоков; классических рабочих станций или суперкомпьютеров различной архитектуры с программным обеспечением, реализующим нейросетевые алгоритмы решения задач.

С точки зрения конструктивной реализации нейрокомпьютеры можно классифицировать следующим образом:

– изделия, реализованные в виде карт и модулей;

– конструктивно-автономные системы.

Нейрокомпьютеры, изготовленные в виде карт (виртуальные нейрокомпьютеры), как правило, предназначены для установки в слот расширения стандартного компьютера. Обращая внимание на конструктивно-автономные системы,

следует отметить, что, несмотря на широкое распространение различных высокопараллельных ускорителей, число моделей полнофункциональных нейрокомпьютеров невелико в силу узкопрофильного применения большинства из них.

3. Анализ современных аппаратных решений. Нейронные сети могут быть реализованы двумя путями:

– программная модель;

– аппаратная модель.

В контексте данной работы мы остановимся на втором. Исследования в области разработки нейрочипов проводят по всему миру в университетах, лабораториях, научно-исследовательских центрах. Отдельно необходимо выделить российский научно-технический центр «Модуль», разработавший новый нейропроцессор NM6408, который уже запущен в серийное производство. 21-ядерный чип спроектирован по топологии 28 нм. Он предназначен для обработки больших потоков данных в реальном времени, позволяя решать самые разные задачи, не только нейросетевые. Наиболее перспективная сфера применения нового чипа – обработка нейросетевыми приложениями больших массивов видеоданных.

Еще одна крупная компания, занимающаяся разработкой нейросетевых вычислительный систем, – это Intel. Рассматривая варианты аппаратных решений, именно она является лидирующей. В 2018 году они представили программируемый с помощью Python чип Loihi. В его составе имеются 128 нейроморфных ядер, каждое из которых симулирует 1024 нейрона. Вслед за Intel разработкой процессоров заинтересовались и другие компании: Motorola, Echelon, IBM, Siemens, Fujitsu и другие.

Над нейроморфными чипами работают и инженеры из Манчестерского вуза. В недавнем времени они представили архитектуру SpiNNaker, состоящую из миллиона ядер, способных эмулировать работу ста миллионов нейронов. Потребляет такая установка 100 кВт. Программировать компьютер можно с помощью *языка PyNN*. На сегодняшний день машина используется для симуляции процессов, происходящих в мышином мозге [2].

Заключение. Подводя итог, конечно, нельзя утверждать, что в ближайшем будущем нейрокомпьютеры заменят собой обычные компьютеры, так как профиль задач, требующих «нейроподход», достаточно мал. Однако актуальность исследований в данном направлении на сегодняшний день неоспорима в силу постоянно возрастающих потребностей человека в развитии машинного мышления и автоматизации решения различных задач.

Библиографический список

1. Гафаров, Ф. М. Искусственные нейронные сети и приложения : учебное пособие / Ф. М. Гафаров, А. Ф. Галимянов. – Казань : Изд-во Казан. ун-та, 2018. – С. 10–11.

2. B-MAG [Электронный ресурс] // Интернет-журнал. – URL : https://b-mag.ru (дата обращения: 15.04.2021).

3. Круг, П. Г. Нейронные сети и нейрокомпьютеры : учебное пособие по курсу «Микропроцессоры» / П. Г. Круг. – М. : Изд-во МЭИ, 2002. – 96 с.

4. Галушкин, А. И. Нейрокомпьютер [Электронный ресурс] / А. И. Галушкин // Большая российская энциклопедия. – URL : https://bigenc.ru (дата обращения: 15.04.2021).

5. Хабр [Электронный ресурс] // Интернет-журнал. – URL : https://habr.com (дата обращения: 15.04.2021).

КОНТРОЛЬ СООТНОШЕНИЯ ТОЛЩИН СЛОЕВ МНОГОСЛОЙНЫХ МАТЕРИЛОВ

И. В. Кулешов, А. П. Пудовкин

Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов
(e-mail: kuleschov.ilja2017@yandex.ru)

Основной метод получения многослойных металлических композиций состоит в совместной пластической деформации входящих компонент с непрерывным контролем соотношения их толщин. Рассмотрим метод контроля толщины слоев многослойных композиций в процессе их прокатки [1, 2]. Для контроля толщины движущейся многослойной металлической композиции используют индуктивный микрометр. В микрометре отклонение толщины полосы преобразуется в изменение индуктивности преобразователя, сигнал с которого через усилитель поступает на микропроцессорное устройство. Для измерения толщины верхнего слоя многослойной полосы используют накладной вихретоковый преобразователь. Он установлен на подвижном ролике микрометра на фиксированном расстоянии от поверхности контролируемой полосы. Измерения осуществляют на частоте f, при которой глубина δ проникновения вихревых токов

в материал верхнего слоя была бы заведомо больше значения наибольшей контролируемой толщины $l_{1\max}$.

Тогда толщину второго слоя l_2 можно определить как разницу между толщиной многослойной полосы *h*, измеренной индуктивным микрометром, и толщиной верхнего слоя l_1, измеренной вихретоковым преобразователем:

$$l_2 = h - (l_1 + l_1) = h - 2l_1. \quad (1)$$

В состав измерительной системы для реализации метода (рис. 1) входит индуктивный микрометр *1* и вихретоковый преобразователь *7*. Индуктивный микрометр состоит из двух роликов *2*, между которыми движется многослойная полоса, один из роликов укреплен на подвижном сухаре *3*, опирающемся микрометрическим винтом *4* на конец рычага *5*, а второй конец рычага соединен с якорем индуктивного дифференциального преобразователя *6*. Микрометрический винт *4* используется для установки нулевого положения индуктивного преобразователя, обмотки которого включены в схему моста с выпрямителем *15*. Сигнал об отклонении толщины биметаллической полосы через усилитель *16* подается на микропроцессор *17*.

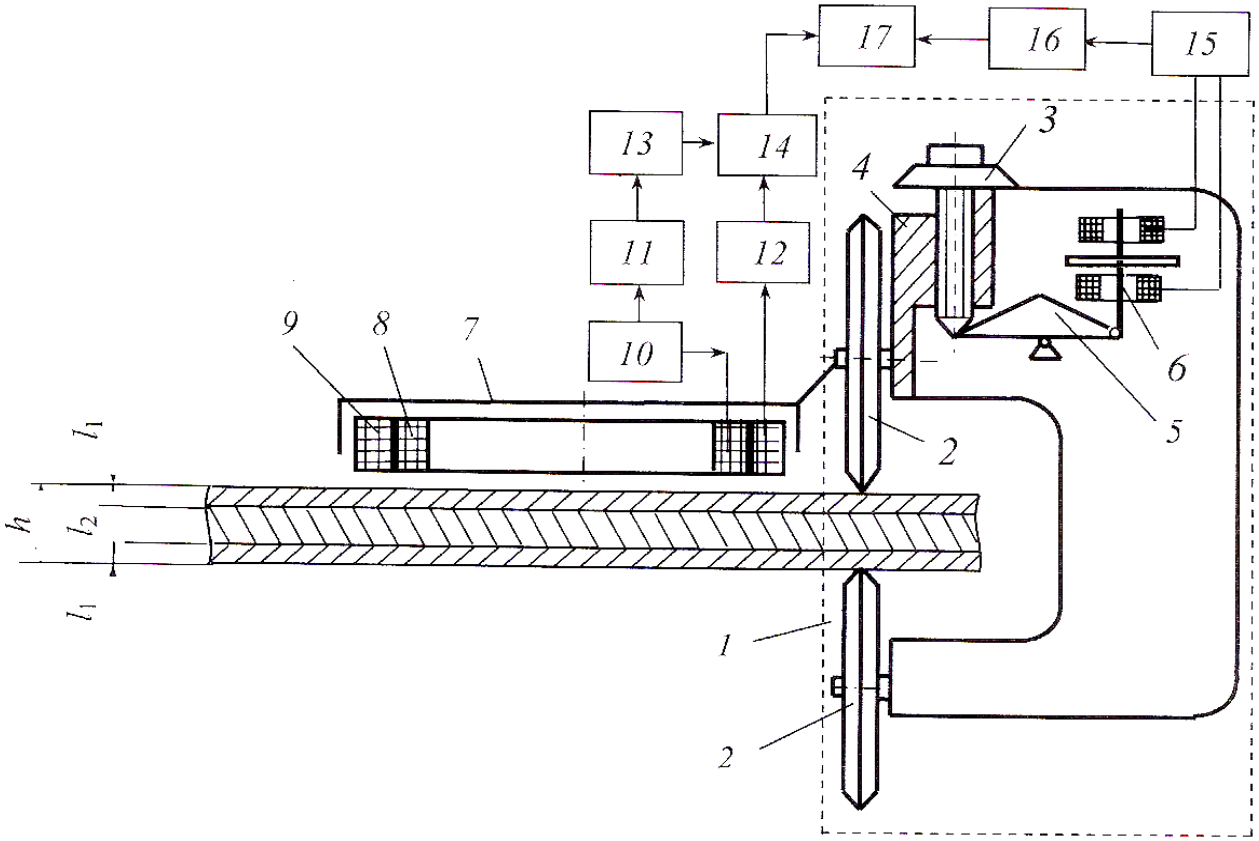


Рис. 1. Измерительная система контроля толщин слоев многослойных материалов

В состав вихретокового преобразователя *7* входят две катушки, одна из которых возбуждающая *8* соединена с генератором *10*, а измерительная *9* через усилитель *12* соединена с фазовым детектором *14*. Вихретоковый преобразователь в свою очередь жестко соединен с подвижным сухарем *3* индуктивного микрометра. Генератор *10* переменного тока соединен через фазовращатель *11* с усилителем опорного напряжения *13*. Напряжение, пропорциональное толщине верхнего слоя многослойной композиции, с выхода детектора *14* поступает в микропроцессорное устройство *17*.

Принцип работы измерительной системы состоит в следующим. Сигнал об отклонении толщины движущейся многослойной полосы через усилитель *16* поступает на микропроцессор *17*, а с генератора *10* на возбуждающую катушку *8* датчика *7* подается переменный ток частотой f и информация, снимаемая с измерительной катушки *9* через усилитель *12* поступает на фазовый детектор *14*, на второй вход которого через фазовращатель *11* и усилитель *13* поступает опорное напряжение с генератора *10*.

Напряжение с фазового детектора *14* поступает также на микропроцессор *17*, в котором по изменению фазы вносимого напряжения по градуировочной кривой определяется толщина верхнего слоя многослойного материала, которая равна толщине нижнего слоя (при прокатке симметричных пакетов). Толщину второго слоя d_2 определяют как разницу между толщиной биметаллической полосы h, измеренной индуктивным микрометром, и толщиной d_1 верхнего слоя, измеренного накладным вихретоковым преобразователем.

Таким образом, по информации, снимаемой с индуктивного микрометра *1* и вихретокового преобразователя *7*, можно непрерывно в процессе производства контролировать толщину слоев многослойных композиций.

Библиографический список

1. Устройство непрерывного контроля соотношения толщин слоев биметалла / С. В. Козлов, А. В. Колмаков, Ю. В. Плужников, А. П. Пудовкин // VIII науч. конф. – Тамбов : Изд-во ТГТУ, 2003 – С. 82.

2. Методы и измерительные системы контроля соотношения слоев биметаллов / Ю. В. Плужников, А. В. Колмаков, Ю. В. Плужников и др. // Тр. ТГТУ : сб. науч. ст. молодых ученых и студентов. – Тамбов : Изд-во ТГТУ, 2002. – Вып. 11. – С. 125.

ОБНАРУЖЕНИЕ РАЗЛАДКИ СЛУЧАЙНОГО ПРОЦЕССА

В. В. Маслина, С. Н. Данилов, М. В. Алексеев, В. С. Аистов

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(*e-mail: vika.maslina@gmail.com, plabz@mail.ru, alexeew41@gmail.com, Aistov.volk-vovan@mail.ru*)

В процессе создания новых средств передвижения возникает вопрос о точности их обнаружения. При отслеживании траектории движения транспортного средства (ТС), при определении местоположения беспилотных или космических аппаратов требуется иметь максимально точные данные об их местоположении. В наше время существует большое количество современных датчиков обнаружения и слежения, но говорить о достаточной точности измерения нельзя. Связано это с тем, что в процессе движения часто происходят не плавные, а скачкообразные изменения координат и их производных в случайные моменты времени.

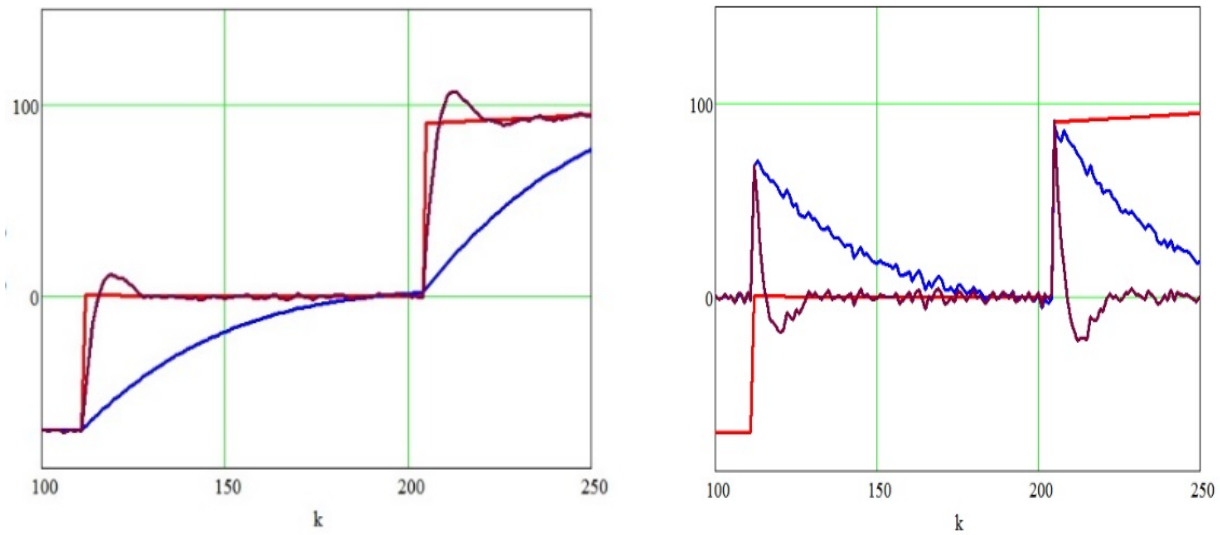
Достоверному обнаружению такого изменения препятствуют шумы, на фоне которых наблюдается сигнал, неисправности системы или самих средств передвижения. Поэтому самым рациональным способом будет являться фильтрация сигнала и применение измерителей с различной конфигурацией моделей состояния. Но даже здесь результат не будет идеальным, при всем стремлении к максимальной точности.

Для радиоэлектронных систем слежения возможная точность определяется величиной апостериорной дисперсии погрешностей фильтрации, которая в свою очередь зависит от условий применения. В любом случае в момент резкого изменения данных фильтр выдает невязку измерения (разладку случайного процесса) [1 – 3], по времени совпадающую с резким изменением координат ТС, космического или летательного аппарата. Обнаружение разладки случайных процессов помогает обнаружить момент времени начала резких изменений, что помогает увеличить надежность контроля процесса.

Разладкой случайного процесса называется скачкообразное изменение его свойств (обычно описываемых какими-либо параметрами), происходящее в неизвестный момент времени или не происходящее вовсе. Задачей обнаружения разладки является установление факта разладки, и если считается, что разладка произошла, то также оценка момента разладки.

Общая постановка задачи обнаружения разладки (изменения свойств) состоит в проверке гипотезы H_0 о том, что случайные величины в любой момент времени имеют одно и то же безусловное распределение вероятностей $p^{(0)}$

из некоторого множества распределений p_1. Альтернативой является гипотеза H_1 о кусочной стационарности, т.е. о существовании такого момента времени, что распределением случайных величин при $t < \tau$ станет $p^{(0)} \in P_1$, а при $t \geq \tau$ отличное от $p^{(0)}$ распределение $p^{(1)}$ из некоторого множества P_1. Кроме проверки указанных гипотез, обычно требуется также оценивать момент разладки (в случае, если будет принята гипотеза H_1 о наличии разладки). Разладка может быть однократной и многократной. На рисунке 1, *а* показан пример результатов оценивания параметров процесса (красная кривая – истинное поведение, коричневая и синяя кривые – оценки параметров широкополосным и узкополосным фильтрами соответственно); на рис. 1, *б* показаны соответствующие невязки.



а) *б*)

Рис. 1. Оценки параметров и соответствующие разладки

Пусть совокупность исходов после квантования невязки (y_1, ..., y_i, ..., y_N) представляет собой последовательность нулей и единиц, которая поступает на вход решающего устройства, где решается, чем порождена выборка: разладкой или шумом. Обозначим P_i – вероятность появления единицы на i-й позиции, а q_i – нуля. Вероятность получения любого из двух возможных исходов $P(y_i) = P_i^{y_i} q_i^{1-y_i}$; ($y_i$ = 1, 0). Будем считать выборки статистически независимыми, так как время корреляции шумов много меньше длительности отсчетов. Исходя из этого, можно записать условные вероятности появления конкретной комбинации при наличии и отсутствии сигнала:

$$p(y_1, y_2, ..., y_N / s \neq 0) = \prod_{i=1}^{N} p_{s_i}^{y_i} q_{s_i}^{1-y_i} \; ; \quad p(y_1, y_2, ..., y_N / s = 0) = \prod_{i=1}^{N} p_{N_0 i}^{y_i} q_{N_0 i}^{1-y_i} \; .$$

Эти вероятности фактически являются функциями правдоподобия. Будем считать, что имеется порог обнаружения $z_п$. Тогда условие обнаружения определится в виде отношения правдоподобия. Рассмотрим гипотезу наличия разладки, тогда

$$\frac{P(y_1, y_2, ..., y_N / s \neq 0)}{P(y_1, y_2, ..., y_N / s = 0)} = \prod_{i=1}^{N} \left(\frac{P_{s_i}}{P_{N_0}} \right)^{y_i} \left(\frac{q_{si}}{q_{N_0}} \right)^{1-y_i} \geq z_п .$$

Для удобства технической реализации алгоритма, применяя логарифмирование после некоторых преобразований [4, 5], получим

$$\sum_{i=1}^{N} y_i \eta_i \geq z .$$

Последовательность коэффициентов η_i учитывает вероятность появления нулей и единиц в области разладки и носит название весовой функции. Схема, реализующая алгоритм, приведена на рис. 2, где обозначено ЗУ – запоминающее устройство, ПУ – пороговое устройство.

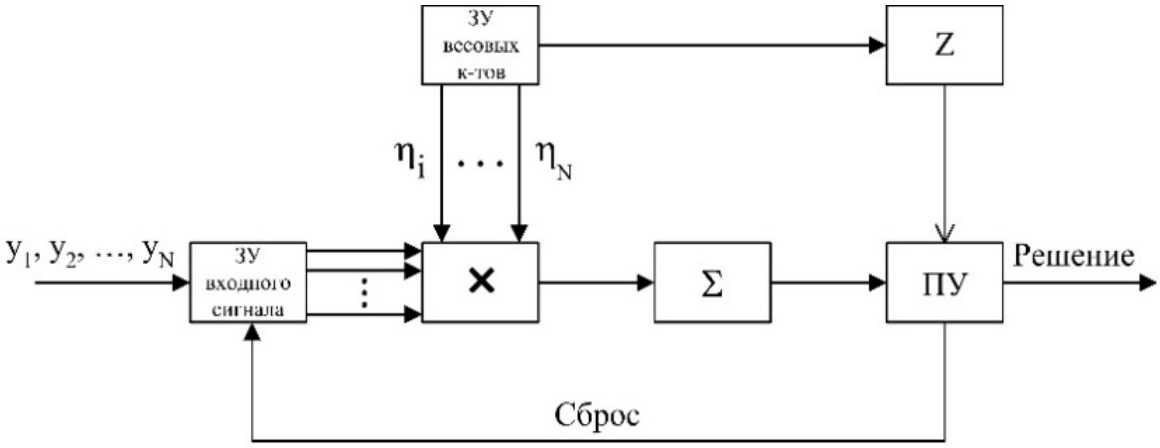


Рис. 2. Структура обнаружителя разладки

Вероятность появления нулей и единиц в области разладки обычно неизвестна, поэтому нужно принять, что пачка сигналов разладки имеет прямоугольную форму, т.е. $P_{s_i} = P_{s_1}$, тогда $\eta_i = \eta$; $\sum_{i=1}^{N} y_i \geq k, k = z/\eta$. Таким образом, процедура сводится к подсчету единиц в пределах пачки и сравнению с порогом k. Реализация таких схем основана на использовании счетчиков или схем совпадения.

Результаты моделирования работы такого обнаружителя представлены на рис. 3 и 4.

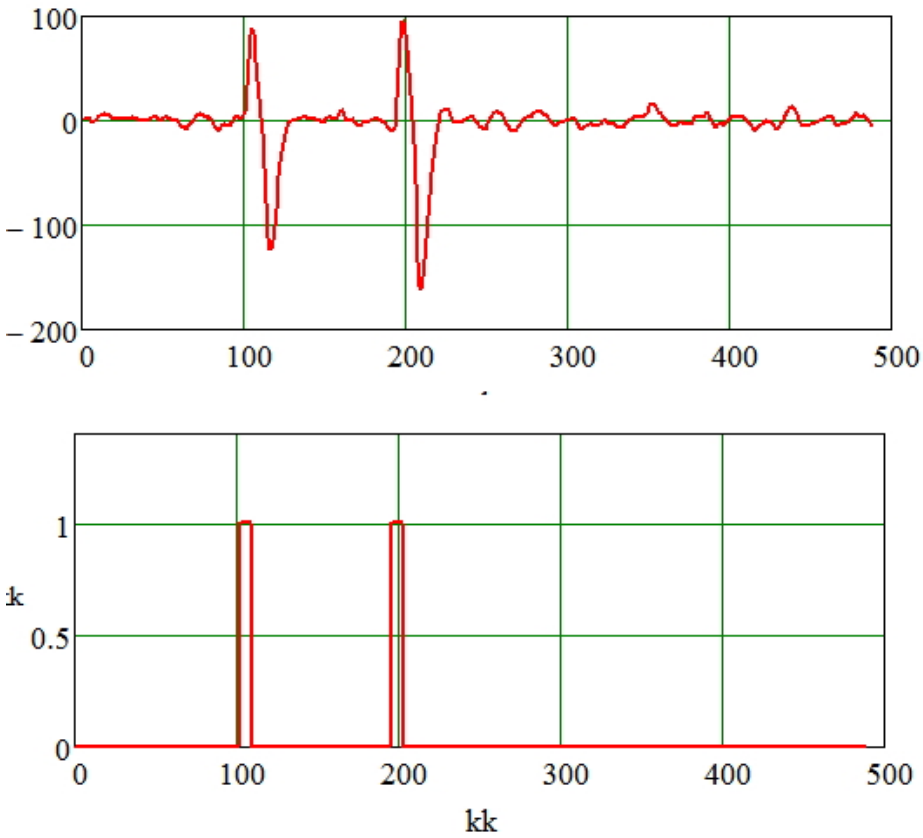


Рис. 3. Работа обнаружителя

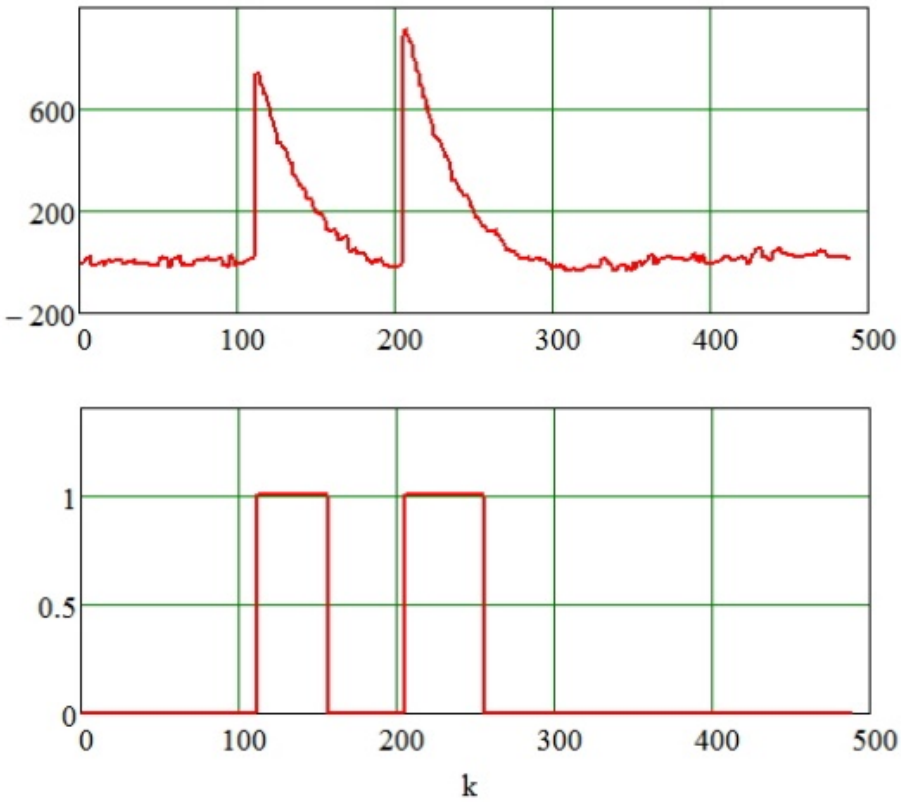


Рис. 4. Работа обнаружителя

На верхнем графике рис. 3 представлена невязка измерения для двух последовательных скачков измеряемых параметров для широкополосного фильтра. На нижнем графике рис. 3 представлен сигнал на выходе порогового устройства. Таким образом, разладка обнаруживается в прямоугольном окне обнаружителя для двух последовательных моментов (размер окна 5 тактов) практически мгновенно.

Следует учитывать, что оценка производилась при малой мощности шумов измерения. На верхнем графике рис. 4 представлена невязка измерения для узкополосного фильтра. На нижнем графике рис. 4 представлен сигнал на выходе порогового устройства. Обнаружение разладки происходит с некоторым запаздыванием (примерно 10 тактов поступления сигнала). Это обусловлено инерционностью фильтра. При повышении уровня флюктуационной составляющей невязки (повышение мощности шумов измерения) возможно появление ложных срабатываний ПУ, т.е. повышение вероятности ложных тревог.

Библиографический список

1. Жиглявский, А. А. Обнаружение разладки случайных процессов в задачах радиотехники / А. А. Жиглявский, А. Е. Красковский. – Л. : Изд-во Ленинградского университета, 1988. – 224 с.

2. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.

3. Панасюк, Ю. Н. Метод повышения точности третичной обработки информации с применением динамических весовых коэффициентов / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин, А. И. Рогачев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – № 4. – С. 595–596.

4. Synthesis of channel tracking for random process parameters under discontinuous variation / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк, С. Н. Данилов, С. П. Москвитин // Journal of Physics: Conference Series. Volume 1015, Issue 3, article id. 032112, pp. 1.

5. Данилов, С. Н. Алгоритм функционирования системы угловой коррекции наземной подвижной антенны, синтезированный на основе систем со случайным изменением структуры / С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 55 – 59.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИЗМЕРИТЕЛЯ ДАЛЬНОСТИ СО СЛУЧАЙНОЙ СТРУКТУРОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ СОПРОВОЖДЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

А. А. Мжельский, С. В. Панфилов, В. В. Евтеев, А. П. Пудовкин

Тамбовский государственный технический университет Тамбов, Россия
(e-mail: mzhelskiya@yandex.com, mich157a@gmail.com)

В связи с возрастающей сложностью автоматизированных систем управления воздушным движением (АС УВД), ростом требований, предъявляемых к ним, все более необходимой является разработка систем обработки информации путем решения задач синтеза на основе методов оптимальной линейной нестационарной фильтрации. В настоящее время в современных АС УВД при вторичной обработке информации широкое применение получают оптимальные алгоритмы фильтрации (оценивания), базирующиеся на основе методов калмановской фильтрации в пространстве состояния. При создании таких алгоритмов полагается, что модель системы и наблюдений не меняется со временем. Реальность такова, что данное условие соблюдать затруднительно. Динамика изменения воздушного судна (ВС), погодные условия, замирание сигнала и другие различные факторы приводят увеличению флюктационных и динамических ошибок. Для уменьшения ошибок фильтров калмановской фильтрации предлагается использование алгоритмов оценивания стохастических процессов со скачкообразно меняющейся в случайные моменты времени структурой. В этом случае используются несколько моделей ВС для измерителя дальности. Алгоритмы сопровождения, основанные на системах со случайной скачкообразной структурой. позволяют производить совместную оценку фазовых координат воздушных судов при использовании нескольких моделей ВС [1 – 3]. Для разработки алгоритмов со случайной скачкообразной структурой будем использовать трех- и двухмерную модели измерителя дальности.

Трехмерная зингеровская модель состояния системы измерителя дальности имеет вид

$$Д_1(k) = Д_1(k-1) + V_1(k-1)\tau + 0{,}5a_1(k-1)\tau^2; \quad (1)$$

$$V_1(k) = V_1(k-1) + a_1(k-1)\tau; \quad (2)$$

$$a_1(k) = (1 - \alpha_{ф1}\tau)a_1(k-1) + \xi_a(k-1), \tag{3}$$

где $Д_1$, V_1, a_1 – дальность, скорость, ускорение ВС относительно АС УВД 1-й модели системы; $\alpha_{ф1}$ – постоянная времени маневра; $\xi_a(k-1)$ – гауссовский шум с известной дисперсией D_a.

Двумерная модель состояния измерителя дальности имеет вид

$$Д_2(k) = Д_2(k-1) + V_2(k-1)\tau; \tag{4}$$

$$V_2(k) = (1 - \alpha_{ф2}\tau)V_2(k-1) + \xi_v(k-1), \tag{5}$$

где $Д_2$, V_2, – дальность, скорость ВС относительно АС УВД 2-й модели системы; $\alpha_{ф2}$ – постоянная времени маневра; $\xi_v(k-1)$ – гауссовский шум с известной дисперсией D_v.

Модель наблюдения системы измерителя дальности имеет вид

$$Д_и(k) = Д(k-1) + \xi_Д(k-1)\tau, \tag{6}$$

где $\xi_Д$ – шумы измерения; $Д_и$ – измеренное значение дальности.

Для получения алгоритмов измерителя дальности используется алгоритм калмановской фильтрации [1, 4, 5]:

$$x_о(k) = x_э(k) + K_у(k)[z_и(k) - H(k)x_э(k)]; \tag{7}$$

$$x_э(k) = \Phi(k)x_о(k-1),\ x_э(0) = x_о(0); \tag{8}$$

$$P_э(k) = \Phi(k)P_о(k-1)\Phi^т(k) + Q_x(k),\ P_э(0) = P_о(0); \tag{9}$$

$$K_ф(k) = P_э(k)H^т(k)\left\{H(k)P_э(k)H^т(k) + R(k)\right\}^{-1}; \tag{10}$$

$$P_о(k) = P_э(k) - K_ф(k)H(k)P_э(k), \tag{11}$$

где $x_э(k)$ – оценка прогноза (экстраполяция) вектора состояния $x(k)$; $K_ф(k)$ – матрица оптимальных коэффициентов передачи дискретного фильтра; $P_э(k)$ – апостериорная ковариационная матрица ошибок фильтрации; $P_о(k)$ – априорная ковариационная матрица ошибок фильтрации; $R(k)$ – матрица дисперсий измерения; $Q_x(k)$ – матрица дисперсий возмущений.

Используя модели состояния (1) – (3), модель наблюдения (6) и алгоритм калмановской фильтрации (7) – (11), получим алгоритм функционирования первого фильтра для оценки дальности, скорости и ускорения ВС относительно АС УВД:

$$Д_{о}(k+1) = Д_{э1}(k+1) + K_{у11}(k+1)\Delta Д_{1}(k+1); \quad (12)$$

$$V_{о1}(k+1) = V_{э1}(k+1) + K_{у21}(k+1)\Delta Д_{1}(k+1); \quad (13)$$

$$a_{о1}(k+1) = a_{э}(k+1) + K_{у31}(k+1)\Delta Д_{1}(k+1); \quad (14)$$

$$Д_{э1}(k+1) = Д_{о1}(k) + V_{о1}(k)\tau + 0{,}5a_{о}(k)\tau^{2}; \quad (15)$$

$$V_{э1}(k+1) = V_{о1}(k) + a_{о}(k)\tau; \quad (16)$$

$$a_{э}(k+1) = (1 - \alpha_{ф2}\tau)a_{о}(k); \quad (17)$$

$$\Delta Д_{1}(k+1) = Д_{и}(k+1) - Д_{э1}(k+1). \quad (18)$$

Используя модели состояния (4) и (5), модель наблюдения (6) и алгоритм калмановской фильтрации (7) – (11), получим алгоритм функционирования второго фильтра для оценки дальности, скорости ВС относительно АС УВД:

$$Д_{о2}(k+1) = Д_{э2}(k+1) + K_{у11}(k+1)\Delta Д_{2}(k+1); \quad (19)$$

$$V_{о2}(k+1) = V_{э2}(k+1) + K_{y21}(k+1)\Delta Д_{2}(k+1); \quad (20)$$

$$Д_{э2}(k+1) = Д_{о2}(k) + V_{о2}(k)\tau; \quad (21)$$

$$V_{э2}(k+1) = (1 - \alpha_{ф2}\tau)V_{о2}(k); \quad (22)$$

$$\Delta Д_{2}(k+1) = Д_{и}(k+1) - Д_{э2}(k+1). \quad (23)$$

Для совместной оценки дальности ВС относительно АС УВД со случайной скачкообразной структурой при использовании двух моделей используется выражение

$$Д_{о}(k) = \sum_{m=1}^{2} W_{m}(k-1)Д_{om}(k-1), \; m = 1, 2, \ldots , \quad (24)$$

где W_m – весовые коэффициенты оценок фильтрации 1-го и 2-го фильтров.

Для имитационного моделирования получена зависимость дальности от времени при совершении воздушным судном маневра «Большая коробочка» (рис. 1).

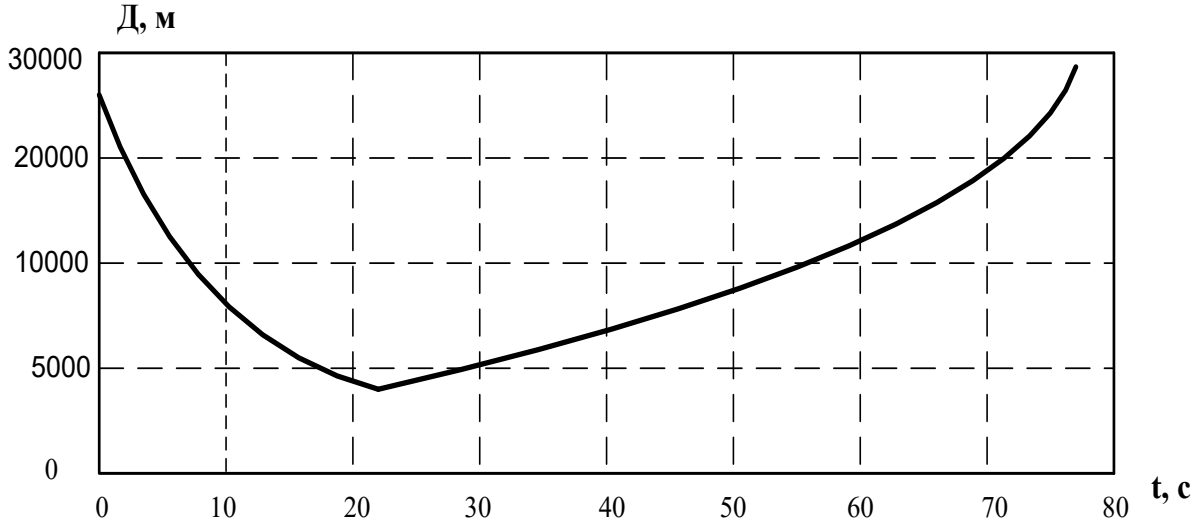


Рис. 1. Изменение дальности при совершении воздушным судном маневра «Большая коробочка»

Проведено имитационное моделирование: *1* – в дальномерном канале использовалась модель состояния (1) – (3) и алгоритм фильтрации (12) – (18); *2* – в дальномерном канале использовалась модель состояния (3), (4) и алгоритм фильтрации (19) – (23); *3* – в дальномерном канале использовался алгоритм совместной обработки двух фильтров (24). Результаты моделирования (зависимости среднеквадратического отклонения (СКО) дальности от времени) представлены на рис. 2.

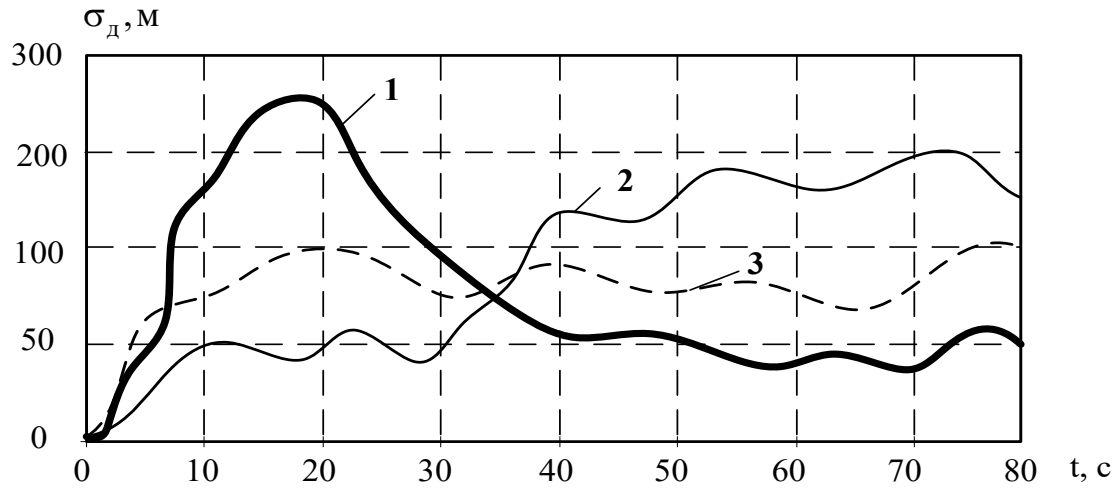


Рис. 2. Зависимости СКО дальности от времени

Таким образом, на примере маневра «Большая коробочка» можно сделать вывод, что использование двух фильтров измерителя дальности со случайной структурой позволяет повысить точность обработки системы сопровождения воздушных судов.

Библиографический список

1. Pudovkin, A. P., Panasyuk, Yu. N., Danilov, S. N., Moskvitin, S. P. Synthesis of channel tracking for random process parameters under discontinuous variation. – Journal of Physics: Conference Series, Volume 1015, Issue 3, article id. 032112 (2018).

2. Панасюк, Ю. Н. Обработка радиолокационной информации в радиотехнических системах : учебное пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2016. – 84 с.

3. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.

4. Данилов, С. Н. Алгоритм функционирования системы угловой коррекции наземной подвижной антенны, синтезированный на основе систем со случайным изменением структуры / С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 55 – 59.

5. Kurnosov R. Yu. Improving Metrological Reliability of Information-Measuring Systems Using Mathematical Modeling of Their Metrological Characteristics / R. Yu. Kurnosov, T. I. Chernyshova, V. N. Chernyshov // Journal of Physics : Conference Series – International Conference on Information Technologiess in Business and Industry 2018, ITBI 2018; Volume 1015, Issue 3, 22 May 2018.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ШИРОКОПОЛОСНОГО ТРАНСФОРМАТОРА ВОЛНОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

В. В. Миловский, В. В. Мещеряков

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Россия
(e-mail: milovvvsky9@yandex.ru, mescheryakov.v.v @gmail.com)

В связи с развитием международных стандартов все большую актуальность приобретают широкополосные устройства частотного диапазона 3…10 ГГц, однако согласование устройств в этой полосе частот является сложной инженерной задачей. Представленная модель симметрирующего трансформатора предназначена для трансформации входного волнового сопротивления 50 Ом в выходное сопротивление, равное 100 Ом. Данная конструкция (рис. 1) состоит из перехода с микрополосковой линии на щелевую линию с последующим переходом с щелевой линии на сбалансированную копланарную полосковую линию [1].

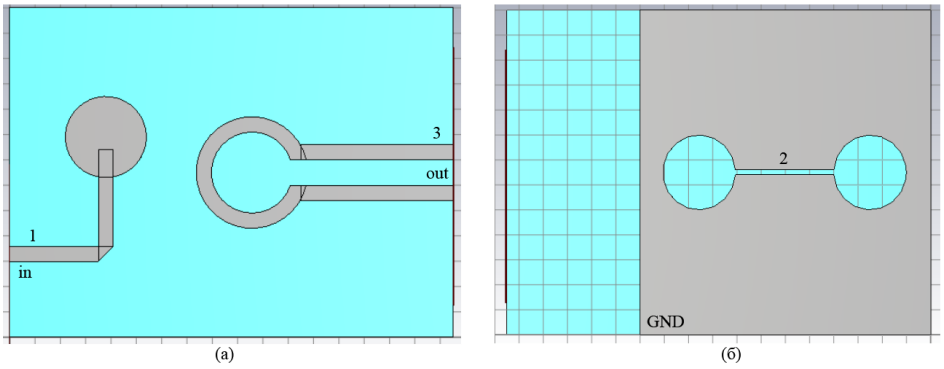


Рис. 1. Модель структуры: фронтальная сторона (*а*) и задняя сторона (*б*):
1 – микрополосковая линия питания; *2* – переходное щелевое отверстие;
3 – выходная симметричная копланарная линия

Трансформаторы применяются во многих радиочастотных и микроволновых электронных системах и используются, например, для питания антенн. Однако множество таких структур имеют либо большие геометрические размеры, либо являются узкополосными. Целью данного исследования является создание перехода со следующими параметрами: рабочая полоса частот 3…10 ГГц, согласование входных портов не более –10 дБ с возможным превышением этого параметра на краях рабочей полосы частот и коэффициент передачи не менее –2 дБ. За основу модели была взята структура из статьи [2], которая является достаточно компактной, планарной и широкополосной.

Результатами моделирования являются графики зависимости возвратных потерь S11, S22, вносимых потерь S12, S21 и волнового сопротивления Zin, Zout от частоты (рис. 2).

Данная конструкция позволяет получить трансформирование входного волнового сопротивления с 47 Ом в выходное 110 Ом, при этом характеристики коэффициента отражения более –10 дБ и коэффициента передачи менее –2 дБ в диапазоне частот 3…8 ГГц. Таким образом, была достигнута цель работы. Следующим шагом является производство устройства.

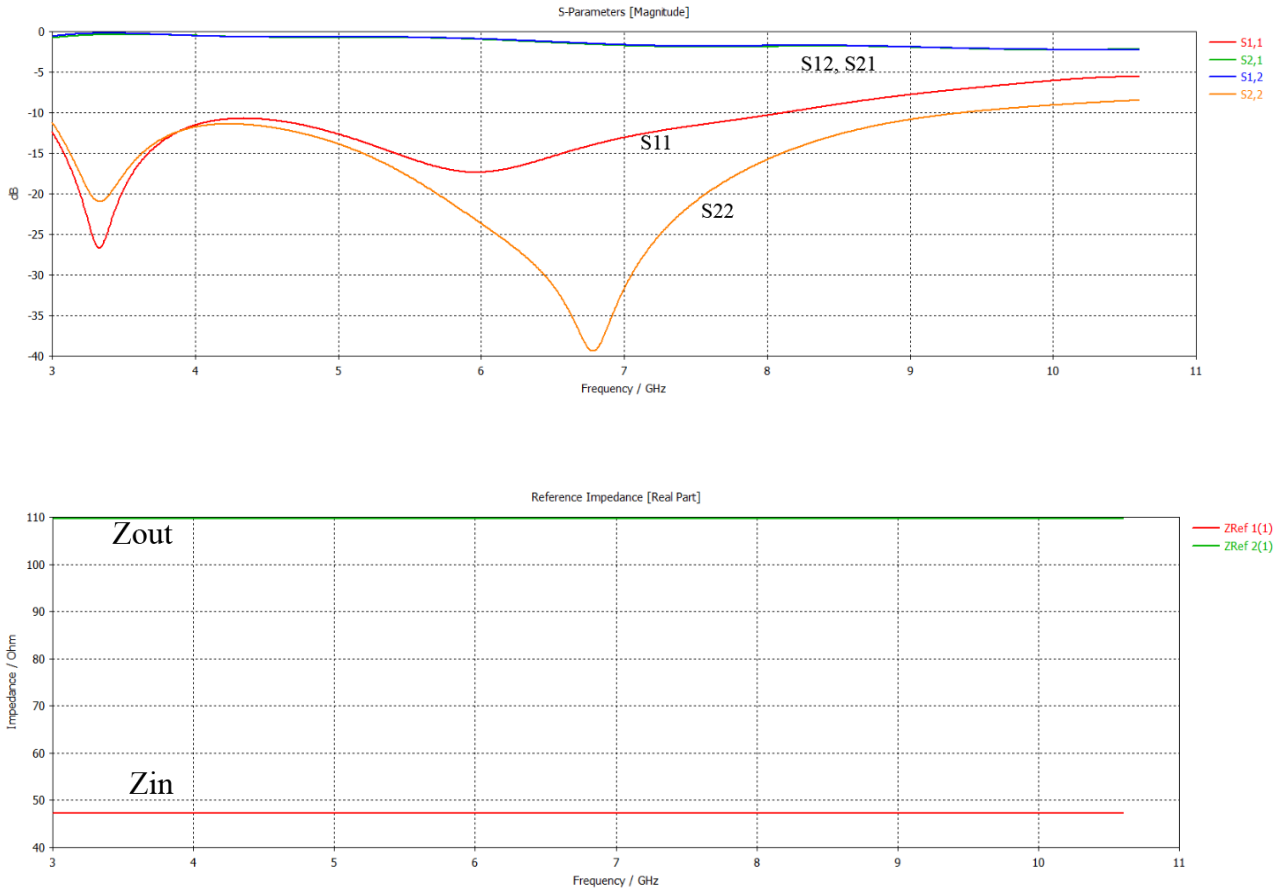


Рис. 2. Зависимости потерь (сверху) и волнового сопротивления (снизу) от частоты

Библиографический список

1. Конструирование и расчет полосковых устройств / под ред. Е. П. Котова и В. Д. Каплуна. – М. : Сов. радио, 1979. – 243 с.

2. Bialkowski M. E., Abbosh A. M. Design of a compact UWB Out-of-Phase Power Divider // IEEE MICROWAVE AND WIRELESS COMPONENTS LETTERS, Vol. 17, No. 4, APRIL 2007.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ РЕЛЬСОТРОНА В ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ SIMULINK

Д. К. Нгуен[1], В. Ф. Нгуен[1], Т. Ю. Дорохова[2]

[1]*Военно-промышленный колледж, Вьетнам,*
[2]*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия*

Рельсотрон – электромагнитный ускоритель масс, разгоняющий токопроводящий снаряд вдоль двух металлических направляющих с помощью силы Лоренца. Рельсотрон состоит из двух параллельных электродов, называемых рельсами, подключенных к источнику мощного постоянного тока V_C. Разгоняемая электропроводная масса располагается между рельсами, замыкая электрическую цепь, и приобретает ускорение вследствие силы Лоренца, действующей на замкнутый проводник с током в его собственном магнитном поле. Сила Лоренца формулируется по формуле

$$dF = dI_L \cdot l \cdot B, \tag{1}$$

где F – сила, действующая на пулю; I_L – ток, протекающий через пулю; l – длина пули; B – магнитное поле, создаваемое током.

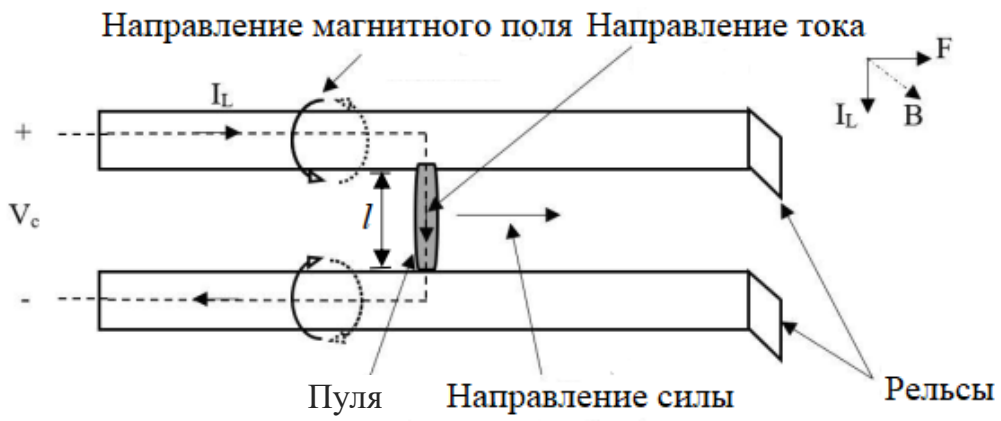


Рис. 1. Иллюстрация силы Лоренца в рельсотроне

Сила, действующая на пулю, также определяется по формуле

$$F_п = \frac{1}{2} L' I_L^2, \tag{2}$$

где L' – индуктивность рельсы на единицу длины.

При полете пули вперед трение будет с обеих сторон рельса. Следовательно, будем учитывать силу трения, оказывающую сопротивление силы, как показано на рис. 1.

Сила трения определяется по формуле

$$F_{\text{тр}} = mg\sin\theta. \tag{3}$$

Сила, действующая на пулю с учетом трения, определяется по формуле

$$F = F_{\text{п}} - \mu_s F_{\text{тр}} = \frac{1}{2} L' I_L^2 - \mu_s mg\sin\theta, \tag{4}$$

где θ – угол, при котором рельсотрон перемещается; m – масса пули.

Таким образом, ускорение силы определяется как

$$\text{a} = \frac{F}{m} = \frac{1}{m}\left[\frac{1}{2} L' I_L^2 - \mu_s mg\sin\theta\right]. \tag{5}$$

Проводим моделирование процесса работы пули в программе Simulink. Результат работы представлен на рис. 2, 3.

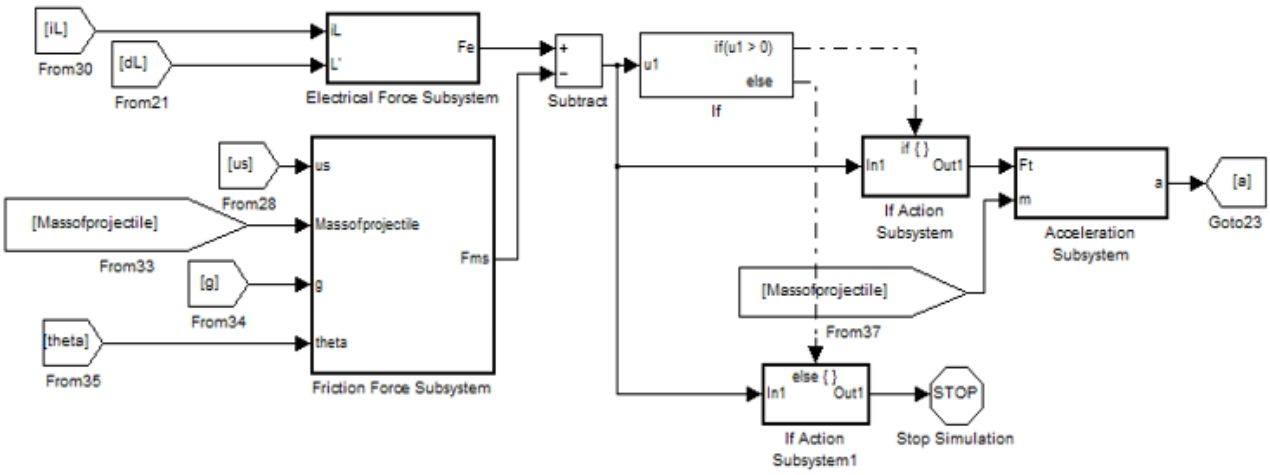


Рис. 2. Моделирование ускорения пули в программе Simulink

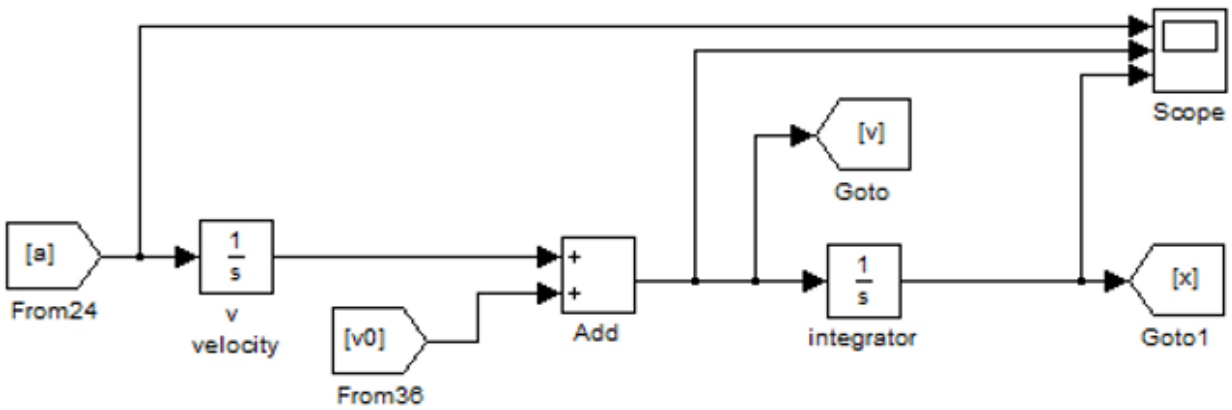


Рис. 3. Моделирование скорости и положения пули в программе Simulink

В программе Simulink выполняется моделирование стрельбы пулями с использованием схемы пусковой установки электромагнитной пушки. Для стрельбы пулями конденсатор заряжали до 75 В, а электромагнитную пушку держали под углом 30 градусов.

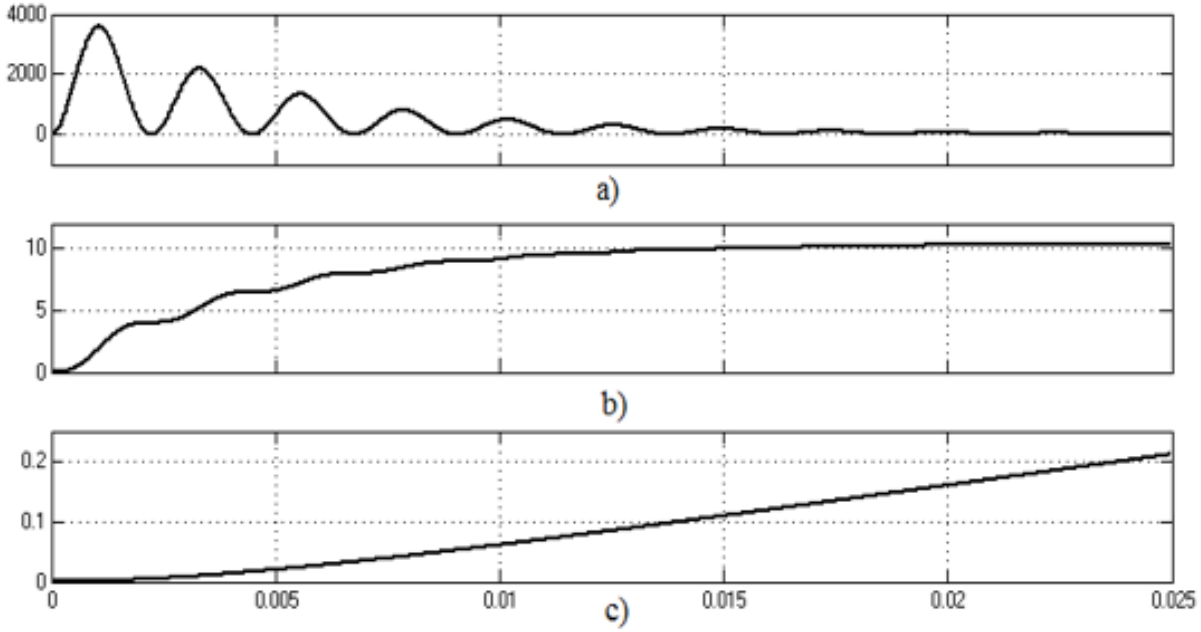


Рис. 4. Иллюстрация ускорение (*а*), скорость (*б*) и положение (*в*) пули на рельсе

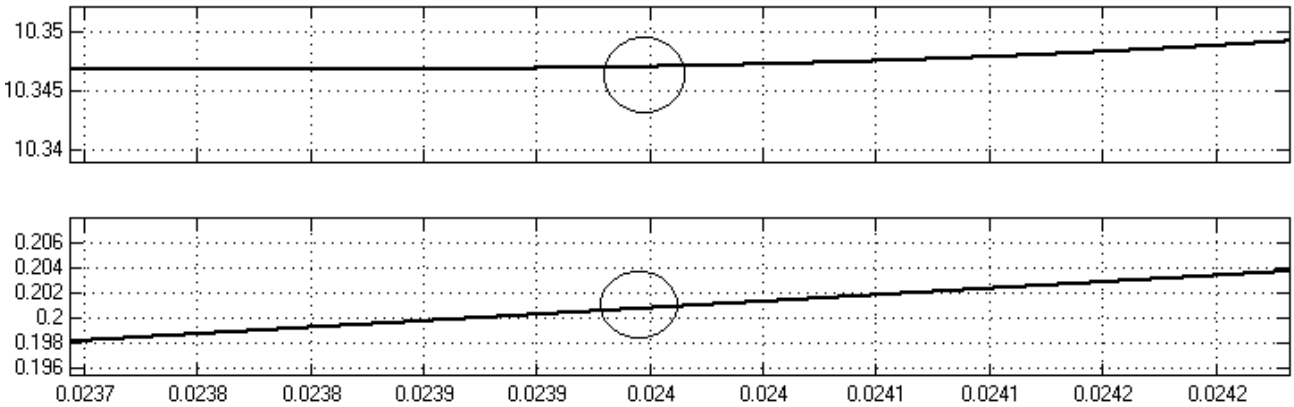


Рис. 5. Скорость и положение пули на рельсе в коротком времени

При графическом моделировании видно, что что пулям требуется всего 0,024 секунды, чтобы покинуть рельсы (x = 0,2 м). И скорость выстрела пули составляет до 10,35 (м/с) всего за 0,024 секунды (как показано на рис. 5).

Библиографический список

1. Kin Chan, Gradeigh Clark, Daniel Helmlinger and Denny Ng, “Electromagnetic Coil Gun Final Report”, Department of Electrical and Computer Engineering, Rutgers School of Engineering, May 2013.

2. Jeff Holzgrafe, Nathan Lintz, Nick Eyre & Jay Patterson of Franklin W. “Effect of Projectile Design on Coil Gun performance”. Olin College of Engineering, December 14, 2012.

ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМЕ СВЯЗИ АВИАЦИОННОГО ФОРМИРОВАНИЯ ВОЕННО-ТРАНСПОРТНОЙ АВИАЦИИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

А. А. Першин, Е. В. Головченко

ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Россия
(e-mail: a.pershiny@mail.ru)

Создавшееся международное положение, военно-политическая обстановка вокруг Российской Федерации, анализ боевых действий группировки Российских войск в Сирийской Арабской Республике, а также проводимых Министерством обороны РФ стратегических учений свидетельствуют о повышении роли авиации в современной войне, возрастающей зависимости цели войны от эффективности применения Воздушно-космических сил, в достижении которой немаловажную роль, с учетом выполняемых задач, играет военно-транспортная авиация (ВТА) [1]. К основным задачам ВТА следует отнести:

– доставку материальных средств и грузов на значительные расстояния;

– десантирование подразделений воздушно-десантных войск из состава оперативных воздушных десантов;

– доставку вооружения и боеприпасов, техники;

– перевозку войск;

– эвакуацию раненых и больных на территории страны и за ее пределами.

Одной из сложнейших из вышеперечисленных задач является задача десантирования, выполняемая в условиях активного радиоэлектронного и огневого воздействия и сопряженная с одновременным наличием в воздухе большого количества воздушных судов. Анализ ожидаемого характера действий противоборствующих сторон позволил определить, что авиационное соединение ВТА будет выполнять задачи в сложных условиях помеховой обстановки, с учетом необходимости преодоления противодействия сохранившихся средств противовоздушной обороны противника, выполнения полетов днем и ночью, в простых и сложных метеоусловиях. Одним из важнейших требований к выполнению задачи в данных условиях является оперативность, что требует увеличения интенсивности полетов и сокращения минимумов эшелонирования при сохранении требуемого уровня безопасности выполнения полетов. С усложнением метеоусловий выполнение данного требования является довольно проблематичным. Эти обстоятельства, в свою очередь, предъявляют высокие требования к управлению авиационным соединением ВТА и качеству информационного обмена. При этом успешное выполнение такой сложнейшей задачи экипажами

воздушных судов ВТА возможно лишь при существовании устойчивых каналов связи, обеспечивающих требуемую пропускную способность между наземными пунктами управления и воздушными судами. Процесс планирования и выполнения полетных заданий экипажами воздушных судов ВТА с учетом задействования большого количества сил и средств, а также обеспечивающий необходимое взаимодействие с другими видами и родами Вооруженных сил РФ, является весьма динамичным, и наличие устойчивой системы связи в системе управления воздушными судами является обязательным условием. Опыт боевой подготовки частей и подразделений связи, радиотехнического обеспечения (РТО) и автоматизированных систем управления (АСУ) ВКС позволяет сделать вывод о том, что выполняемые мероприятия по обеспечению требуемого уровня пропускной способности подсистемы связи не всегда способны достичь поставленных целей, особенно сильно это проявляется в условиях активного радиоэлектронного воздействия. В первую очередь это обусловлено наличием достаточно большого количества различного типа неопределенностей, вызванных скоротечностью выполнения боевых задач и развитием средств разведки, и активного противодействия противника [2].

Главными задачами связи и РТО при десантировании являются обеспечение управления экипажами воздушных судов в воздухе, обеспечение безопасности полетов, обмен информацией с вышестоящими, подчиненными и взаимодействующими пунктами управления. Это возможно только при широком применении современных информационных технологий, цифровых методов приема, передачи и обработки информации, применении автоматизированных систем управления различного уровня и целевого назначения. Внедрение автоматизированных систем управления, построение и функционирование единого информационного пространства предъявляют высокие требования к технической основе системы управления военно-транспортной авиационной дивизии (ВТАД) – системе связи и, в первую очередь, к ее устойчивому функционированию и обеспечиваемой пропускной способности в условиях активного радиоэлектронного противодействия.

Библиографический список

1. Информационные, специальные, воздушно-десантные и аэромобильные операции армий ведущих зарубежных государств : Информационно-аналитический сборник / А. Н. Сидорин, И. А. Рябченко и др. – М. : Воениздат, 2001. – 344 с.

2. Костарев, С. В. Современные подходы к обеспечению разведывательной защищенности и живучести системы связи объединения в операциях (боевых действиях) / С. В. Костарев, И. Г. Воробьев // Военная мысль. – 2019. – № 11. – С. 58 – 68.

СИСТЕМА СВЯЗИ АВИАЦИОННОГО ФОРМИРОВАНИЯ ВОЕННО-ТРАНСПОРТНОЙ АВИАЦИИ И ОЦЕНКА ЕЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ В УСЛОВИЯХ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ

А. А. Першин, В. А. Дьяченко

ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Россия
(e-mail: a.pershiny@mail.ru)

Система связи военно-транспортной авиационной дивизии (ВТАД), основу которой составляет информационная телекоммуникационная система (ИТКС), является сложной целенаправленной организационно-технической системой, включающей в себя множество разнородных и не всегда взаимосвязанных элементов. Основная цель ее функционирования – обеспечение качественного управления силами и средствами соединения путем решения ряда задач. При этом функционирование ИТКС происходит в условиях воздействия внешних и внутренних дестабилизирующих факторов различной природы. В качестве внешних воздействий может выступать непреднамеренное и преднамеренное радиоэлектронное и огневое воздействие, а в качестве внутренних – надежность элементов сети и информационная нагрузка на нее [1]. Данные особенности необходимо учитывать при обосновании показателей и методики оценки пропускной способности ВТАД. Помимо этого, необходимо учитывать следующие аспекты функционирования ИТКС:

– целевую направленность сети – производительность – результат ее функционирования, заключающийся в предоставлении требуемого количества видов и услуг связи;

– качество результата функционирования – своевременность доставки информации, что определяет качество предоставляемых видов и услуг связи;

– степень достижения результата – вероятность нахождения сети в состоянии, обеспечивающем заданную производительность.

Для учета целенаправленности и качества функционирования ИТКС ВТАД разрабатываемая методика должна учитывать:

– топологию сети и маршруты передачи, в динамике – методы маршрутизации;

– методы множественного доступа к каналам с общим ресурсом передачи;

– энергетические соотношения в радиоканалах, позволяющие учесть влияние преднамеренных и непреднамеренных помех.

Для оценки степени достижения результата функционирования ИТКС ВТАД при расчете вероятностей нахождения системы связи в различных состояниях необходим учет как общепринятого показателя устойчивости – коэффициента оперативной готовности [2], характеризующего влияние дестабилизирующих факторов, так и показателя, характеризующего степень влияния величины информационной нагрузки на систему связи.

Кроме того, прежде чем приступать непосредственно к разработке методики оценки пропускной способности ИТКС ВТАД, необходимо обосновать показатель, который учитывал бы способность сети сохранять требуемую пропускную способность при радиоэлектронном воздействии и подход к оценке качества информационного обмена в сети.

Таким образом, задача разработки методики оценки пропускной способности системы связи ВТАД включает в себя определение требуемых пропускных способностей информационных направлений, в первую очередь для воздушных сетей радиосвязи, и впоследствии оценку их устойчивости к воздействию к внешним дестабилизирующим воздействиям.

Библиографический список

1. Ермишян, А. Г. Теоретические основы построения систем военной связи в объединениях и соединениях : учебник. Часть 1. Методологические основы построения организационно-технических систем военной связи / А. Г. Ермишян. – СПб. : ВАС, 2005. – 740 с.

2. ГОСТ Р 53111–2008. Устойчивость функционирования сети связи общего пользования. Требования и методы проверки. – М. : Стандартинформ, 2009. – 19 с.

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА СОПРОВОЖДЕНИЯ ОБЪЕКТОВ НА БАЗЕ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

А. Ю. Печенкин, А. В. Гаврилов

Ижевский государственный технический университет
имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия
(e-mail: alexpu81@gmail.com, anton_gavrilov.1997@mail.ru)

Визуальное отслеживание – одна из основных проблем в области компьютерного зрения. Определение местоположения целевого объекта усложняется из-за возникновения препятствий, размытия изображения в движении, окклюзий, изменений освещения и сложного фона. Стандартные алгоритмы отслеживания, несмотря на их высокую вычислительную эффективность, по-прежнему оказываются бессильными перед вышеупомянутыми препятствиями.

В последние годы появилось большое число нейронных сетей, не уступающих в производительности алгоритмам, но при этом лишенных присущих им недостатков.

Целью работы является разработка устройства сопровождения объектов. В ходе разработки решены следующие задачи: подготовка комплекта конструкторской документации устройства; оптимизация структуры нейронной сети для работы на аппаратной платформе разработанного устройства.

Искусственные нейронные сети, созданные для визуального отслеживания, можно условно разделить на те, что обучаются в режиме реального времени, и предварительно обученные. Первые обладают высокой точностью и адаптивностью к новым условиям. Наиболее яркими представителями являются трекеры *MDnet* и *Adnet*. Однако они способны обеспечить производительность на уровне 1 – 3 кадров в секунду, что делает невозможным их применение в реальных условиях. Предварительно обученные нейронные сети, напротив, обладают меньшей точностью, но способны выдавать более 100 кадров в секунду. Среди подобных решений в числе лидеров по производительности трекер *GOTURN.*

В качестве аппаратной платформы для реализации устройства выбрана программируемая логическая интегральная схема от компании *Xilinx*. Разработка программного обеспечения для схем этой компании ведется в среде *Vitis AI*. Архитектура нейронной сети *GOTURN* содержит в себе слои *LRN*, которые данной средой не поддерживаются. Необходимо провести их замену на поддерживаемые слои *BatchNorm+Scale* и заново обучить нейронную сеть. Схематично архитектура *GOTURN* изображена на рис. 1.

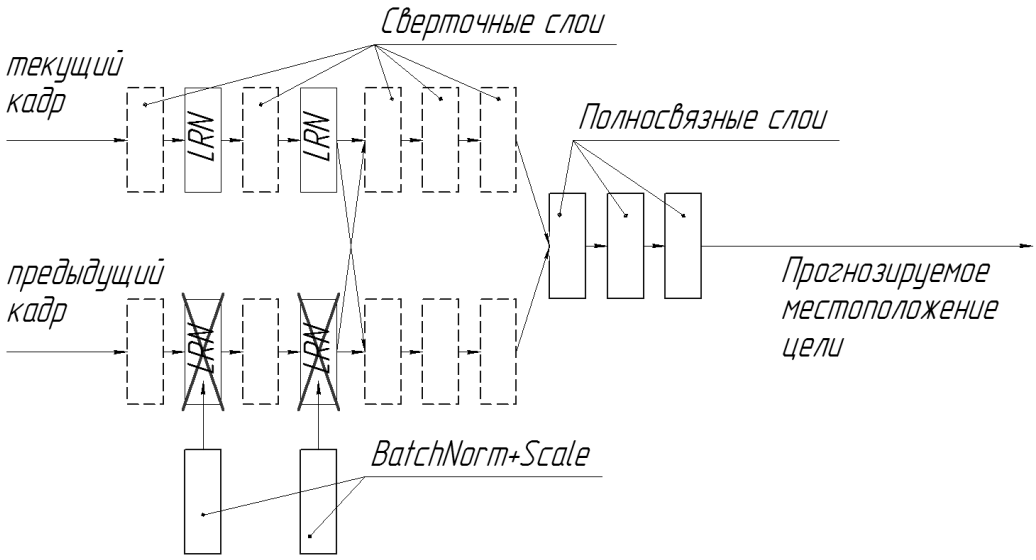


Рис. 1. Архитектура нейронной сети *GOTURN* и заменяемые слои

После замены слоев необходимо убедиться, как данная процедура повлияла на качество работы нейронной сети. Для этого будут сравниваться параметры *accuracy* оригинальной *GOTURN* и нейросети с замененными слоями.

В результате получили следующие значения параметров *accuracy*: для оригинальной сети – 0,57042, для сети с замененными слоями – 0,54852. Разница в точности составила 2,2%. Следует отметить, что показатель *accuracy* оригинальной сети был вычислен при реализации сети на компьютере с использованием арифметики с плавающей точкой, а для сети с замененными слоями веса и вычисления были квантованы, вычисления производились на чипе *Xilinx* и использовалась целочисленная арфметика с разрядностью 8 бит.

Библиографический список

1. H. Nam, and B. Han. Learning Multi-Domain Convolutional Neural Networks for Visual Tracking. arXiv preprint arXiv: 1510.07945, 2016.

2. S. Yun, J. Choi, Y. Yoo, K. Yun. and J. Young Choi. Action-Decision Networks for Visual Tracking with Deep Reinforcement learning. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2017, pp. 2711 – 2720.

3. A. Moudgil and V. Gandhi. Extending Visual Object Tracking for Long Time Horizons. arXiv preprint arXiv: 1712.01358, 2017.

4. D. Held, S. Thrun, and S. Savarese. Learning to track at 100 fps with deep regression networks. arXiv preprint arXiv: 1604.01802, 2016.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ВЕЛИЧИНЫ ОШИБКИ ОТ ПАРАМЕТРОВ НЕЛИНЕЙНОГО УСИЛИТЕЛЯ ПЕРЕДАТЧИКА

К. Д. Раев, Е. А. Антонов

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: faleot1998@gmail.com, e.a-nov98@mail.ru)

Многие виды сигналов, использующиеся в радиосвязи, требуют линейного усиления по мощности в передатчике из-за наличия амплитудной модуляции, например сигналы с квадратурной амплитудно-фазовой модуляцией или сигналы на выходе OFDM-модулятора. В данном случае исследовался передатчик с нелинейным усилителем и обратной связью. Структурная схема передатчика показана на рис. 1.

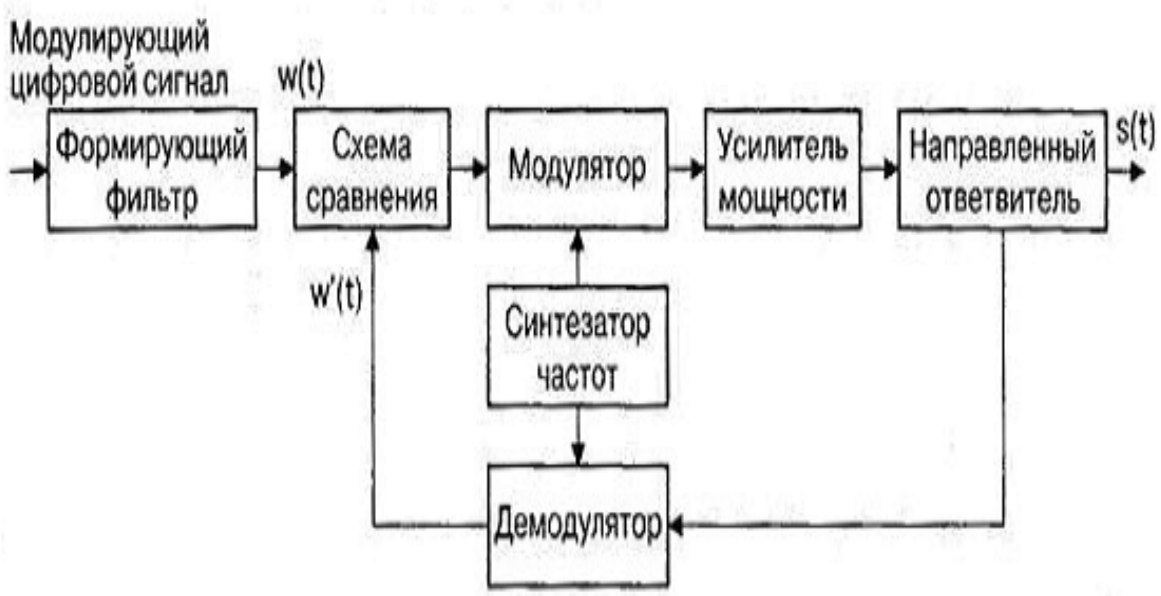


Рис. 1. Модель передатчика с нелинейным усилителем и обратной связью

Для проверки работы передатчика был программно сформирован сигнал на выходе OFDM-модулятора и с помощью оператора READPRN (“…”) передан в программу, моделирующую передатчик. Одна из квадратур сигнала представлена в нормированном виде на рис. 2.

Для линейного усиления использовался программный блок, представленный на рис. 3.

Программный блок линейного усиления представляет собой цикл, в котором для каждого значения амплитуды устанавливается коэффициент усиления K.

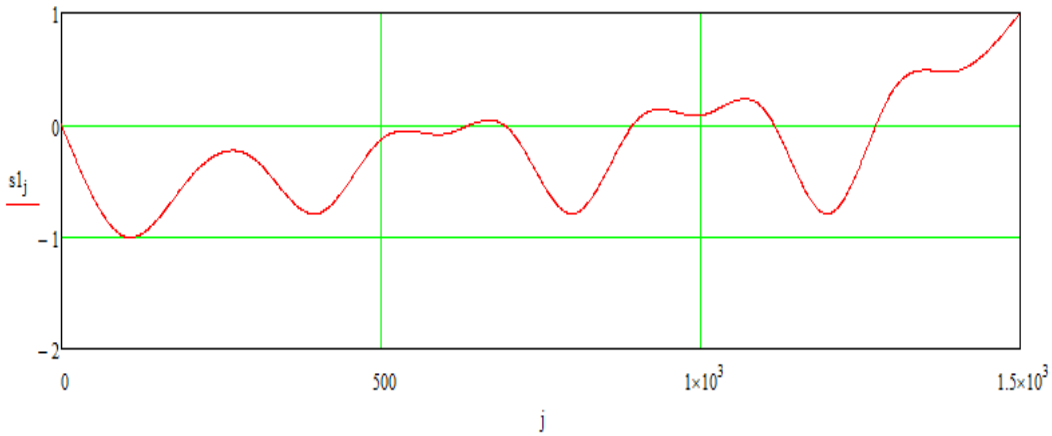


Рис. 2. Квадратура сигнала

```
U := | v ← 0
     | for i ∈ 1..N − 1
     |   U_i ← | del ← y1_i − v
     |         | sm ← (1 + m·del)·sin(w·i)
     |         | K ← 150
     |         | smm ← sm·K
     |         | v1 ← 0.01·smm·sin(w·i)
     |         | v ← a01·v1 + b1·v
     |         | v
     | U
```

Рис. 3. Блок линейного усиления

Результат такого усиления представлен на рис. 4. Для наглядности усиленный сигнал был приподнят относительно вертикальной оси. Средняя ошибка передачи сигнала данного блока усиления составляет 21,1%.

Для нелинейного усиления сигнала используется программный блок, представленный на рис. 5.

Программный блок представляет цикл, в котором для каждого значения амплитуды сигнала Uw1 на выходе нелинейного усилителя устанавливается коэффициент усиления либо K1, либо K2 в зависимости от амплитуды входного сигнала.

Например, для части входного сигнала, значения амплитуды которого находятся между пороговыми значениями, применяется коэффициент усиления K1 – коэффициент усилителя, для части сигнала больше верхнего порогового значения и меньше нижнего – коэффициент K2.

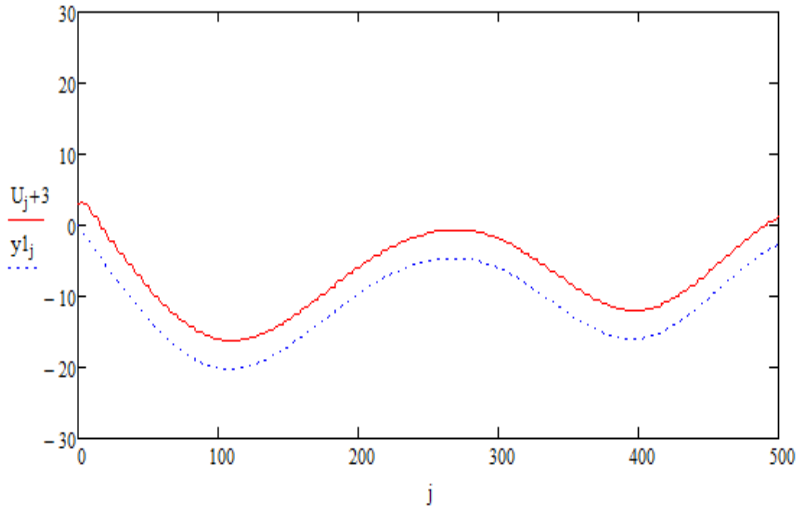


Рис. 4. Результат линейного усиления сигнала

```
Uw1 := | v ← 0
       | for i ∈ 1..N − 1
       |   U_i ← | del ← y1_i − v
       |         | Sout ← (1 + m·del)·sin(w·i)
       |         | smm ← | K1·Sout  if −PR ≤ Sout ≤ PR
       |         |       | K1·PR + K2·(Sout − PR)  if PR < Sout
       |         |       | −K1·PR + K2·(Sout + PR)  if Sout < −PR
       |         | v1 ← kdemod·smm·sin(w·i)
       |         | v ← a01·v1 + b1·v
       |         | d ← smm·sin(w·i)
       |         | v2 ← a01·d + b1·v2
       |         | smm
       | U
```

Рис. 5. Блок нелинейного усиления

Амплитудная характеристика нелинейного усилителя представлена на рис. 6.

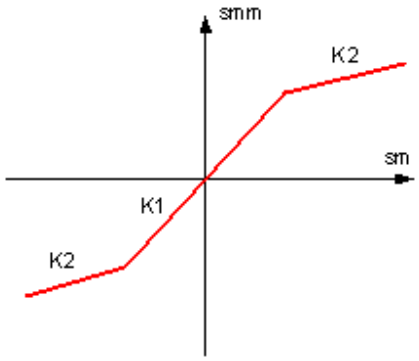


Рис. 6. Амплитудная характеристика нелинейного усилителя

Изменение значений коэффициента K2 и пороговых значений верхней и нижней границ PR при неизменных коэффициентах демодуляции kdemod = 1 и усиления K1 = 5 приводит к уменьшению средней величины ошибки при условии, что K2 ≤ K1, а PR ≤ 0,5. В таблице 1 представлены результаты оценки средних величин погрешностей при постоянных значениях K1, kdemod и PR и при разных значениях коэффициента K2, а в табл. 2 – при постоянных K1, kdemod и K2 и при разных значениях PR. Изменения усиленного модулированного сигнала Uw1 относительно модулированного сигнала на входе усилителя Uw2 представлены на рис. 7 – 12. Для более наглядного сравнения искажений входной сигнал умножается на величину коэффициента K1.

1. Результаты средних величин ошибок при изменении K2

№	K1	kdemod	K2	PR	m_1 U_j	m_2 Uw_j
1	5	1	1	0,1	0,211	0,267
2			2			0,122
3			3			0,062
4			4			0,028
5			5			$5{,}021\times10^{-4}$

2. Результаты средних величин ошибок при изменении PR

№	K1	kdemod	K2	PR	m_1 U_j	m_2 Uw_j
1	5	1	1	0,1	0,211	0,267
2				0,2		0,065
3				0,3		0,017
4				0,4		$3{,}243\times10^{-3}$
5				0,5		$6{,}609\times10^{-4}$

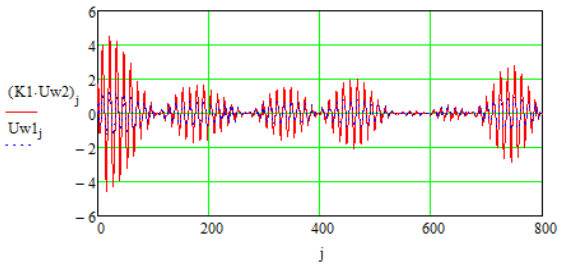


Рис. 7. Выходной сигнал при K2 = 1

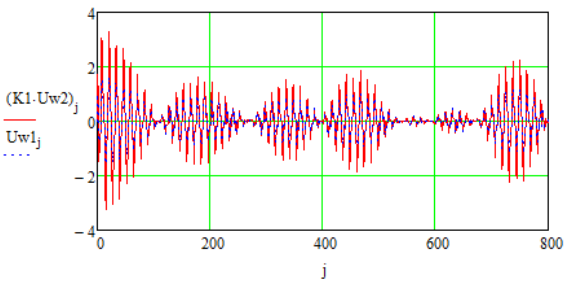


Рис. 8. Выходной сигнал при K2 = 2

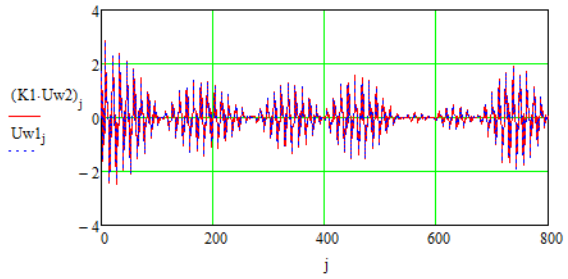


Рис. 9. Выходной сигнал при K2 = 5

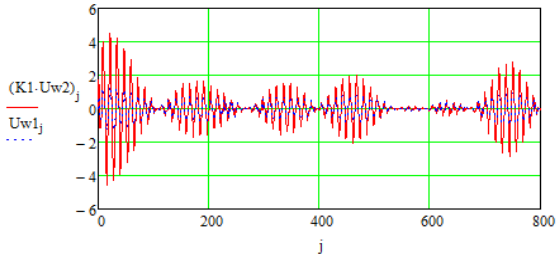


Рис. 10. Выходной сигнал при PR = 0,1

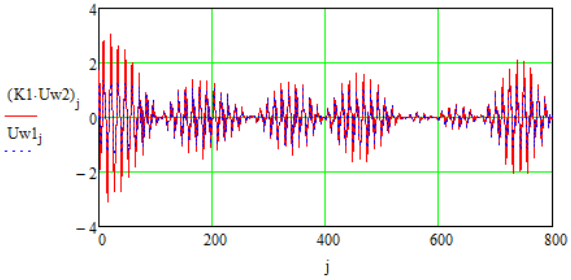


Рис. 11 Выходной сигнал при PR = 0,2

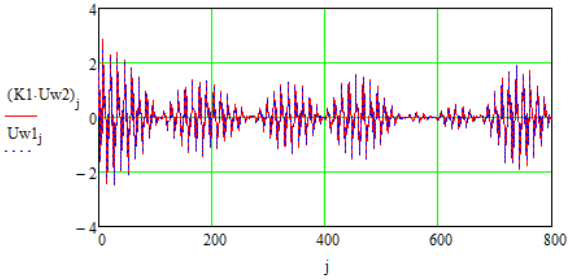


Рис. 12 Выходной сигнал при PR = 0,5

Исследования показали, что при увеличении значений коэффициента K2 или верхних и нижних пороговых значений PR (рис. 13, 14) средняя величина искажений снижается с 26,7 до 0,05…0,06%.

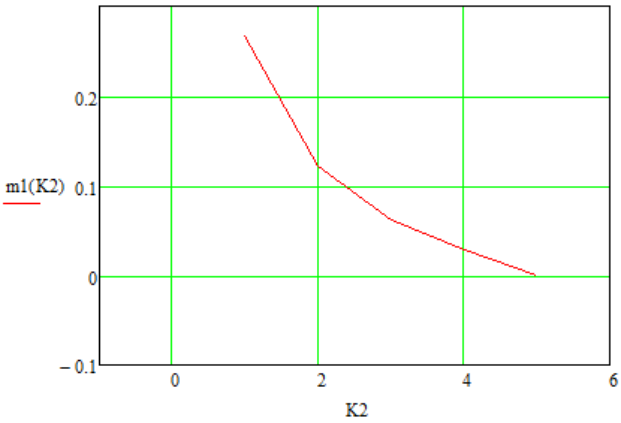


Рис. 13. Зависимость средней величины ошибки передачи при усилении сигналов от значения K2

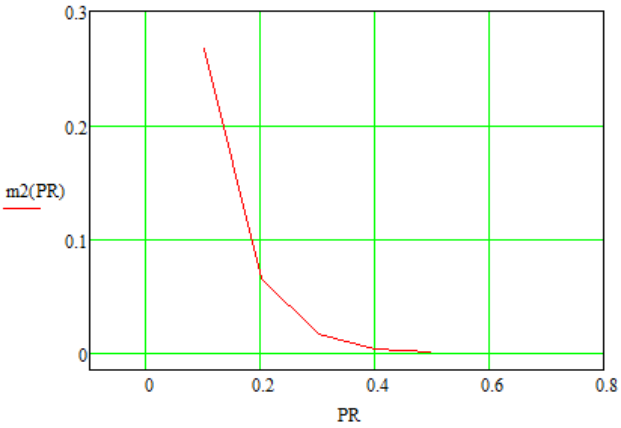


Рис. 14. Зависимость средней величины ошибки передачи при усилении сигналов от значения PR

В сравнении с линейным усилителем при оптимальных значениях параметров разница средних искажений составляет около 21%.

Библиографический список

1. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.

2. Панасюк, Ю. Н. Метод повышения точности третичной обработки информации с применением динамических весовых коэффициентов / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин, А. И. Рогачев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – № 4. – С. 595 – 596.

3. Synthesis of channel tracking for random process parameters under discontinuous variation / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк, С. Н. Данилов, С. П. Москвитин // Journal of Physics: Conference Series. Volume 1015, Issue 3, article id. 032112, pp. 1.

4. Алгоритм дальномерного канала с учетом информации бортовых датчиков воздушных судов / Ю. Н. Панасюк, С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, И. В. Князев // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 60 – 63.

5. Прогнозирование квазигармонического сигнала в пространстве состояний / С. Н. Данилов, Н. А. Кольтюков, Т. И. Чернышова, С. В. Петров // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2016. – № 3. – . 374 – 380.

6. Данилов, С. Н. Алгоритм функционирования системы угловой коррекции наземной подвижной антенны, синтезированный на основе систем со случайным изменением структуры / С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 55 – 59.

ЛЕТНАЯ ПРОВЕРКА РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЛЕКСА С БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ

М. В. Самсонов, Е. А. Богословский

ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Россия

Точная аэронавигация воздушных судов (ВС) невозможна без применения радиотехнических средств (РТС). Проверка параметров и характеристик наземных средств радиотехнического обеспечения (РТО) является важнейшей составляющей обеспечения безопасности полетов ВС. Радиомаячные системы (РМС)

инструментального захода ВС на посадку и радиотехнические системы ближней навигации (РСБН) в обязательном порядке должны проходить процедуру летных проверок (облета). Облет выполняется специализированными воздушными судами – лабораториями (ВСЛ), которые оборудованы аппаратурой летного контроля. Виды летных проверок средств связи и РТО полетов и средства их выполнения представлены в табл. 1 [1].

1. Виды летных проверок средств связи и РТО полетов

Средства связи и РТО полетов, подлежащие летной проверке	Виды летных проверок				
	первичные	периодические	предполетные	контрольные	специальные
Приводные аэродромные радиостанции	ВС	–	ВС	ВС	ВС (ВСЛ)
Средства авиационной радиосвязи	ВС	–	ВС	ВС	ВС (ВСЛ)
Радиолокационные системы посадки	ВС	–	ВС	ВС	ВС (ВСЛ)
РЛС обнаружения и наведения, радиолокационные высотомеры	ВС	–	ВС	ВС	ВС
Радиомаячные системы инструментального захода ВС на посадку	ВСЛ	ВСЛ	ВС	ВСЛ (ВС)	ВСЛ (ВС)
Радиотехнические системы ближней навигации	ВСЛ	–	ВС	ВС (ВСЛ)	ВСЛ (ВС)

В настоящие время существует противоречие между реальным и требуемым состоянием специализированных ВСЛ, решающих задачи облета радиотехнических средств, заключающиеся с одной стороны в:

– отсутствии ВСЛ Ан-26 в достаточном количестве;
– моральном и физическом устаревании ВСЛ на базе самолета Ан-26;
– противоречии в штатной принадлежности ВСЛ Ан-26.

А с другой стороны, требуется:

– разработка практических рекомендаций по применению КБЛА (комплекса с беспилотным летательным аппаратом) в системе связи и РТО;

– возможность проведения летных проверок средств РТО с применением КБЛА;

– необходимость осуществления подготовки аэродромов государственной авиации в радиотехническом отношении скрытно и в кратчайшие сроки.

При решении задач облета радиотехнических систем обеспечения полетов авиации с применением КБЛА возникает вопрос о выборе БЛА и его оптимальной целевой нагрузки (ЦН). Массогабаритные размеры и вид ЦН зависят от летно-технических характеристик БЛА и характера решаемых задач. Для решения задач в интересах облета целесообразно использовать БЛА самолетного типа среднего класса (взлетная масса 100…300 кг, ЦН до 40 кг). Может использоваться беспилотный вертолет легкого класса (взлетная масса 150 кг, ЦН до 35 кг) [2].

При этом в качестве ЦН БЛА используются:

– телеметрическая аппаратура;
– аппаратура радиоретронсляции;
– аппаратура приема радиотехнических сигналов;
– система передачи данных;
– система навигации БЛА;
– спецвычеслитель;
– система управления БЛА;
– система технического зрения;
– антенные устройства.

Пункт обработки информации, поступающей от БЛА, размещается на наземной станции управления (НСУ), где помимо обработки и отображения информации, поступающей от радиотехнических средств, осуществляется также управление БЛА. Современные телекоммукационные технологии позволяют организовать канал связи с пропускной способностью, достаточной для обмена данными между БЛА и НСУ. Перенос функций управления носителем и аппаратурой летного контроля на «землю» позволяет значительно сократить массу ЦН БЛА [3].

ЦН может применяться как в модульном варианте, так и жестко связанной с конкретным БЛА. В зависимости от летно-технических характеристик БЛА может использоваться комбинированная ЦН [4]. На рисунке 1 показаны варианты ЦН.

Рис. 1. Целевая нагрузка БЛА

Выбор ЦН БЛА для решения задач в интересах облета радиотехнических систем должен определятся следующими параметрами:

– летно-техническими характеристиками БЛА;

– минимально возможными массогабаритными размерами бортовой аппаратуры;

– модульностью конструкции целевой нагрузки;

– возможностью комбинирования целевой нагрузки.

Таким образом, использование КБЛА для проведения летных проверок средств связи и РТО полетов, непосредственно применяемых для управления полетами, обеспечения навигации и посадки ВС, позволит повысить эффективность летных проверок и, как следствие, уровень безопасности полетов в целом.

Библиографический список

1. Федеральные авиационные правила радиотехнического обеспечения полетов государственной авиации. – М. : Воениздат, 2008. – 150 с.

2. Виноградов, А. Д. Принципы построения и состояние разработки беспилотного вертолета легкого класса / А. Д. Виноградов, Д. А. Дьяконов, В. И. Евсеев // Беспилотная авиация: состояние и перспективы развития : сб. пленарных докл. II Всерос. НПК. 11−12 марта 2020 года. – Воронеж : ВУНЦ ВВС ВВА, 2020. – С. 63 – 85.

3. Богословский, Е. А. Перспективы применения беспилотных летательных аппаратов в качестве использования их для облета средств радиотехнического обеспечения полетов / Е. А. Богословский, Е. В. Макеев, В. Д. Попов // VII научные чтения имени А. С. Попова : сб. науч. ст. VII Междунар НТК. 24−25 октября 2018 года. – Воронеж : ВУНЦ ВВС ВВА, 2018. – С. 98 – 100.

4. Богословский Е.А. Проблемные вопросы при выборе целевой нагрузки беспилотных летательных аппаратов для решения задач в интересах связи и радиотехнического обеспечения / Е. А. Богословский, М. В. Самсонов // V Всерос. молодежной конф., посвященной Дню радио и 75-летию Победы в Великой Отечественной войне : сб. тр. – Тамбов : ГБО ВО «ТГТУ», 2020. – С. 91–92.

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МЕТОДА СИНТЕЗА АЛГОРИТМОВ ФИЛЬТРАЦИИ ДАЛЬНОМЕРНОГО КАНАЛА

Р. А. Сарычев, Д. А. Сторожев, Ю. Н. Панасюк

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(Sarychefff@yandex.ru, StorozhevD@yandex.ru, pyunikol@mail.ru)

Задачей синтеза является получение алгоритмов функционирования систем радиоуправления, наилучших (оптимальных) в том или ином смысле. Наилучшими являются алгоритмы, обеспечивающие высокую точность и устойчивость радиоэлектронных следящих систем (РЭСС), низкую чувствительность к изменению условий функционирования при наличии информационных, вычислительных и энергетических ограничений.

Информационные ограничения обусловлены [1]:

– неполнотой сведений о процессах и условиях функционирования РЭСС, приводящей к неточному их математическому описанию; невозможностью использовать достаточное число измерителей;

– неполнотой сведений о законах распределений и статистических характеристиках возмущений.

Вычислительные ограничения определяются недостаточными быстродействием и объемом памяти бортовых цифровых вычислительных машин (ЦВМ).

В практике разработки РЭСС можно выделить три группы методов синтеза [2]:

– эмпирические, основанные на опыте и интуиции проектировщиков;

– классические, оперирующие с преобразованиями Лапласа и z-преобразованиями, передаточными функциями, структурными схемами и частотными характеристиками, и современные, использующие описание и моделирование систем в пространстве состояния.

Эмпирический путь практически никогда не обеспечивает получение оптимальных алгоритмов, поскольку проектировщик не располагает информацией, достаточной для оптимальных решений во всех ситуациях, которые могут иметь место в процессе эксплуатации систем.

Для классических методов синтеза также чрезвычайно трудно получить алгоритмы, оптимальные по сложным критериям, учитывающим противоречивые требования точности, устойчивости, чувствительности, особенно для многомерных систем управления, к которым относится РЭСС.

Описание процессов и систем в пространстве состояний основано на представлении их эволюции в виде элементов x множества X возможных состояний. При таком представлении каждый элемент множества x в X должен однозначно и по возможности полнее характеризовать мгновенное состояние рассматриваемой системы или процесса. Обычно элементы x представляют набор $x_1, x_2, ..., x_n$ упорядоченной совокупности действительных чисел, который удобно отображать вектором $x = [x_1, x_2, ..., x_n]^T$, называемым вектором состояния. При рассмотрении эволюций процессов или систем в пространстве состояний этот вектор, в общем случае является функцией непрерывного или дискретного времени [3]:

$$x(t) = [x_1(t), x_2(t), ..., x_n(t)]^T; \quad (1)$$

$$x(k) = [x_1(k), x_2(k), ..., x_n(k)]^T, \quad (2)$$

где t – текущее время, а $k = 1, 2\ldots$ – номер дискрета времени.

Фазовые траектории непрерывных (1) и дискретных (2) процессов и систем представляются в виде дифференциальных и разностных уравнений. Это позволяет получить естественные, физически наглядные модели в форме, удобной для применения в ЭВМ. Модели (1) и (2) дают возможность на основе векторно-матричных представлений унифицировать описание одномерных, многомерных, стационарных, нестационарных и широкого круга нелинейных процессов и систем. Кроме того, такие модели пригодны для описания как замкнутых (автономных) систем и процессов, не взаимодействующих с другими системами и процессами, так и систем, в которых указанные взаимодействия имеют место.

В последнем случае вводятся сигналы управления u, возмущения ξ и измерения (наблюдения) z:

$$u = [u_1, u_2, ..., u_r]^T; \quad \xi = [\xi_1, \xi_2, ..., \xi_n]^T; \quad z = [z_1, z_2, ..., z_m]^T.$$

В такой ситуации элементы пространственного состояния для непрерывных и дискретных процессов и систем можно представить в виде моделей [4]:

$$\dot{x}(t) = f[x(t), u(t), \xi_x(t), t]; \tag{3}$$

$$z(t) = h[x(t), \xi_u(t), t]; \tag{4}$$

$$x(k) = f[x(k-1), u(k-1), \xi_x(k-1), k]; \tag{5}$$

$$z(k) = h[x(k), \xi_u(k), k], \tag{6}$$

где f и h – в общем случае нелинейные вектор-функции; ξ_x и ξ_u – векторы возмущений процессов и систем, а также шумов измерений.

Для получения оптимальных оценок необходимо располагать определенным объемом априорных сведений. К этим сведениям относятся: модели оцениваемого процесса и измерителей, законы распределения и статистические характеристики возмущений оцениваемого и наблюдаемого процессов и начальных значений оцениваемых фазовых координат. При гауссовском законе распределений достаточно знать лишь математические ожидания и дисперсии. Математический аппарат теории оценивания позволяет сформировать оценки, оптимальные по различным критериям: наименьших квадратов, минимума средней квадратичной ошибки (СКО) погрешности, максимального правдоподобия и максимальной апостериорной вероятности. Выбор критерия оптимизации зависит от полноты имеющейся информации и допустимой сложности устройства оценки фазовых координат. Развитие нелинейной фильтрации весьма важно для формирования радиолокационных алгоритмов сопровождения воздушных целей.

Поскольку во многих случаях фазовые координаты (дальность, скорость и ускорение) имеют нелинейный характер, то их можно описать нелинейными непрерывными или дискретными уравнениями. В этом случае оптимальные фильтры имеют сложную структуру,

Следует отметить, что алгоритмы формирования оптимальной оценки фазовых координат по критерию минимума средней квадратичной дисперсии ошибок фильтрации в дискретном виде базируются на использовании исходных моделей состояния и наблюдения (5) и (6) в многомерном пространстве состояний [2, 4]:

$$x_{es}(k) = x_e(k) + K_F(k)[z_i(k) - H(k)x_e(k)]; \quad (7)$$

$$x_e(k) = F(k)x_{es}(k-1),\ x_e(0) = x_{es}(0); \quad (8)$$

$$P_e(k) = F(k)P_{es}(k-1)F^T(k) + Q_x(k),\ P_e(0) = P_{es}(0); \quad (9)$$

$$K_F(k) = P_e(k)H^T(k)\left\{H(k)P_e(k)H^T(k) + R(k)\right\}^{-1}; \quad (10)$$

$$P_{es}(k) = P_e(k) - K_F(k)H(k)P_e(k), \quad (11)$$

где $x_{es}(k)$ – оценочные значения фазовых координат; $x_e(k)$ – экстраполированные значения фазовых координат вектора состояния $x(k)$; $K_F(k)$ – матрица оптимальных коэффициентов передачи (усиления) дискретного фильтра; $F(k)$ – матрица перехода, которая характеризует связь между переменными вектора состояния $x(k)$; $P_e(k)$ – апостериорная ковариационная матрица дисперсии ошибок фильтрации; $P_{es}(k)$ – априорная ковариационная матрица дисперсии ошибок фильтрации; $R(k)$ – матрица дисперсий измерения; $Q(k)$ – матрица дисперсий возмущений, которая характеризует случайные факторы движения объекта; $H(k)$ – матрица измерений, которая связывает переменные состояния $x(k)$ и измерения (наблюдения) $z_и(k)$.

Оптимальные алгоритмы калмановской фильтрации обладают рядом достоинств:

– реализуют структуру системы, обеспечивающую несмещенные оценки фазовых координат;

– удобная реализация в ЭВМ рекуррентных (повторяющих) выражений;

– данные измерений обрабатываются по мере их получения в реальном масштабе.

Таким образом, в процессе синтеза оптимальных алгоритмов фильтрации измерителей координат, используемых в РЭСС для отслеживания воздушных целей, целесообразно использование современных методов, базирующихся на представлении системы в пространстве состояний ввиду ряда преимуществ по сравнению с эмпирическим и классическим методами.

Библиографический список

1. Glistin V. N., Pudovkin A. P., Panasyuk Yu. N., Danilov S. N., Belyaev P. S., Belyaev M. P., Varepo L. G. The theta-theta channel functioning algorithm synthesis of the data measuring system for the maneuvering aircraft with consideration to its dynamic and kinematic characteristics // J. Phys.: Conf. Ser. 1441 (2020).

2. Pudovkin, A. P., Panasyuk, Yu. N., Danilov, S. N., Moskvitin, S. P. Synthesis of channel tracking for random process parameters under discontinuous variation. – Journal of Physics: Conference Series, Volume 1015, Issue 3, article id. 032112 (2018).

3. Pudovkin, A. P., Panasyuk, Yu. N., Danilov, S.N. Synthesis of an Algorithm for Angle Measurement Channel of the Information-Measuring System of a Maneuvering Aircraft Given its Dynamic and Kinematic Characteristics. Proceedings – 2019 1st International Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2019, 2019, – С. 73 – 76.

Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.

МИКРОКОНТРОЛЛЕРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОСВЕЩЕНИЕМ

М. П. Свиридов, А. С. Самохин, В. А. Кондусов

Воронежский государственный технический университет, Россия, Воронеж
(e-mail: xenof0rm@outlook.com)

В здания, отвечающие современным стандартам, повсеместно внедряются системы автоматизации и диспетчеризации. Задача исследования – автоматизация светодиодного освещения. Данное изделие решает спектр задач, связанных с автоматическим освещением помещений или отдельных конструкций. Контроллер рассчитан на 32 выходных независимых канала, в своем составе содержит основную плату управления, два ультразвуковых датчика движения (или другие совместимые) и датчик освещенности (структурная схема представлена на рис. 1).

Частный случай, для которого применим проект, – автоматическая подсветка лестничных пролетов. Датчики движения размещаются на подъеме и спуске лестницы. Регулируемая дальность срабатывания от 0,1 до 2,0 м. При пересечении зоны действия датчика контроллер получает сигнал к включению. Светодиодное освещение с заданными настройками анимации, скорости и яркости включения начинает подсвечивать ступени лестницы одну за другой. Датчик освещенности помещения обеспечивает автоматическое включение в темное время суток и не позволяет включаться в светлое. Принципиальная схема основной платы представлена на рис. 2.

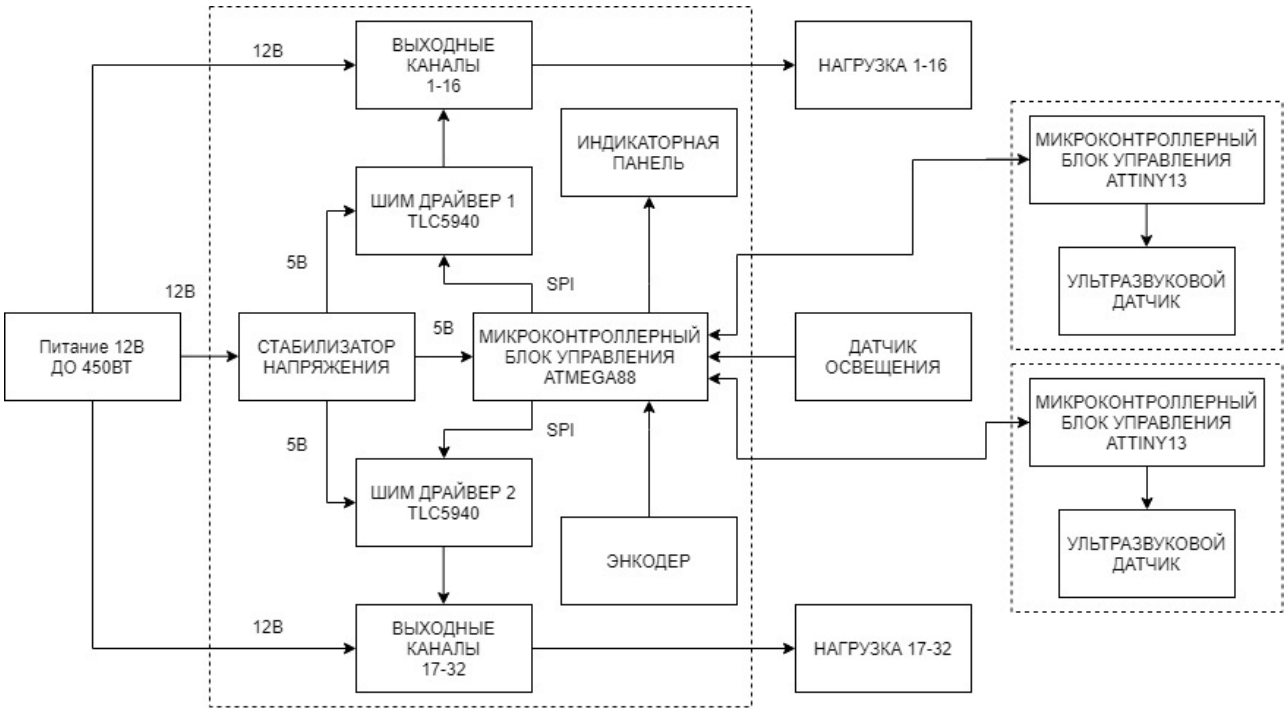


Рис. 1. Структурная схема устройства

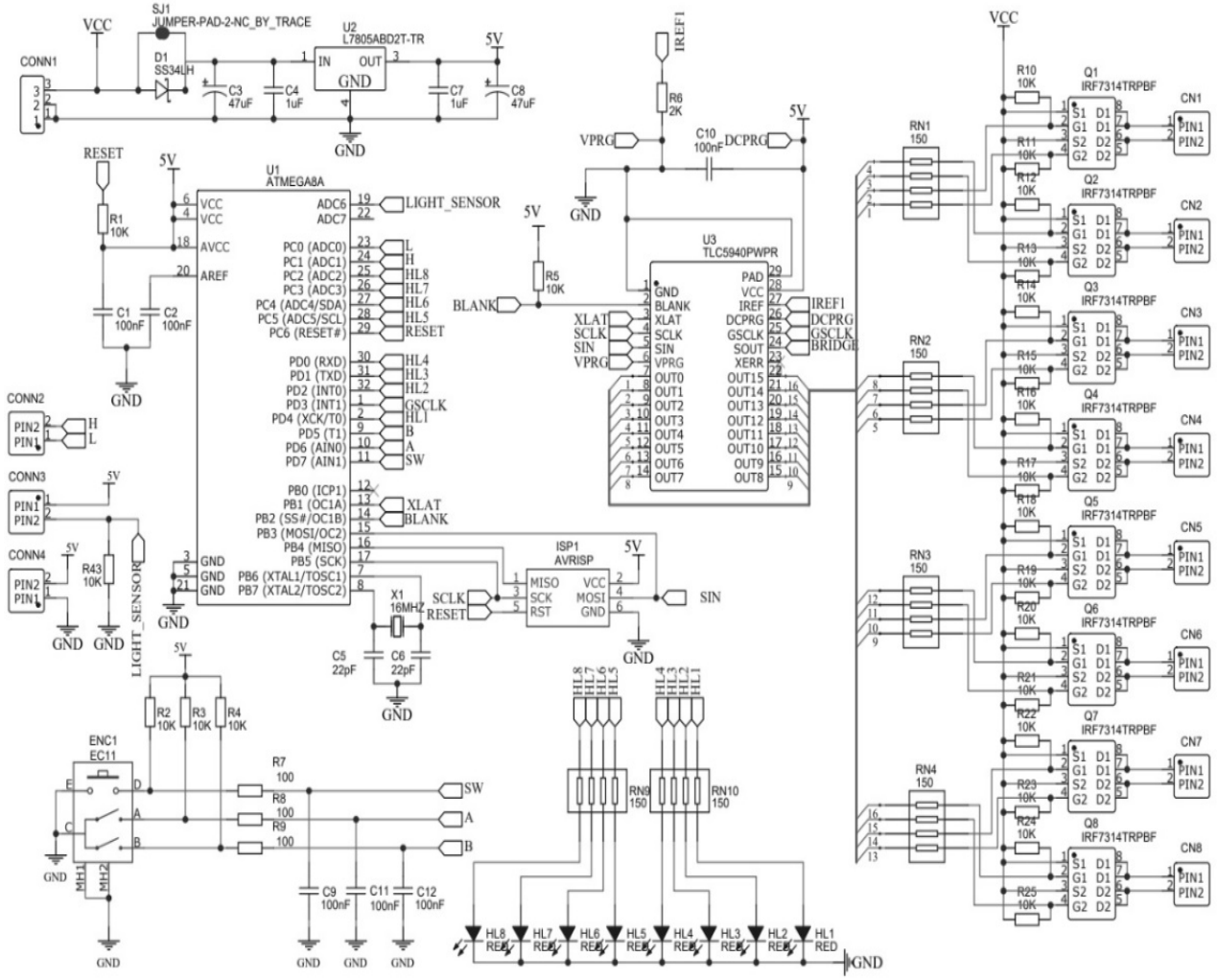


Рис. 2. Принципиальная схема устройства

Основная плата управления построена на МК Atmega88 и двух 16-канальных светодиодных драйверах TLC5940, имеющих 12-битный ШИМ на канал. На схеме отображен только один драйвер с 16 каналами. Управление контроллером осуществляется инкрементальным энкодером ENC1. Текущее значение каждой из настроек выводится на линейку индикаторных светодиодов HL1-HL8 и выходные каналы CN1-CN8. Это позволяет в любое время наглядно и удобно настраивать режимы работы: яркость, количество рабочих каналов, время отключения и прочие параметры. Заданные настройки не сбрасываются после выключения питания контроллера, благодаря записи значений настроек в EEPROM.

Библиографический список

1. Стивенс, С. С. Психология ощущений и восприятия : хрестоматия по психологии / С. С. Стивенс. – М., 1999. – С. 283 – 291.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКОЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА СЕЛЕКЦИИ ДВИЖУЩИХСЯ ЦЕЛЕЙ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

М. В. Сизов, И. А. Некрылов, С. П. Москвитин

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: maks.sizov.01@mail.ru, nekrylov.ilya@mail.ru)

В радиолокации одной из наиболее важных задач является обнаружение движущихся целей. Поэтому в процессе усовершенствования и разработки первых образцов радиолокационной техники исследователи неоднократно пытались использовать изменение частоты отраженных электромагнитных сигналов обнаруживаемых объектов [1, 2]. Так называемый эффект Допплера, лежащий в основе этого изменения частоты сигналов, исследовался в начале 1930 годов в СССР группами ученых под руководством Ю. К. Коровина, П. К. Ощепкова и Б. К. Шембеля. Работы этих коллективов показали возможность обнаружения самолетов методом непрерывного излучения с учетом эффекта Допплера [2]. Устройства обработки, осуществляющие разделение сигналов от движущихся целей и от мешающих отражений с учетом различия их спектральных характеристик, получили название устройств селекции движущихся целей (СДЦ). Наиболее распространенным видом помех для РЛС являются пассивные помехи.

Улучшение качества радиолокационного наблюдения на фоне пассивных помех достигается главным образом за счет применения устройств СДЦ. Главной характеристикой пассивных помех является их спектральная плотность [1, 4]

$$S(f) = S_0 e^{-f^2/2\Delta f_{\text{по}}^2};\ \Delta f_{\text{по}} = 0{,}5\Delta f_{\text{п}}, \tag{1}$$

где $\Delta f_{\text{п}}$ – ширина спектра мешающих отражений:

$$\Delta f_{\text{п}} = \sqrt{\Delta f_{\text{А}}^2 + \Delta f_v^2 + \Delta f_{\text{н}}^2}, \tag{2}$$

здесь $\Delta f_{\text{А}}$ – учитывает влияние вращения антенны; Δf_v – учитывает хаотическое движение пассивных отражателей; $\Delta f_{\text{н}}$ – учитывает влияние нестабильностей ухода частоты.

Учет влияния вращения антенны [1, 4]

$$\Delta f_{\text{А}} = 0{,}265\frac{\Omega_{\text{А}}}{\theta_{0,5}}, \tag{3}$$

где $\Omega_{\text{А}}$ – скорость вращения антенны; $\theta_{0,5}$ – ширина диаграммы направленности.

Учет хаотического движения пассивных отражателей [1, 4]

$$\Delta f_v = \frac{2\sigma_v}{\lambda}, \tag{4}$$

где σ_v – СКО скорости движения пассивных отражателей.

Учет влияния нестабильностей ухода частоты [5]

$$\Delta f_{\text{н}} = \sqrt{\sigma_{\text{мг}}^2 + \sigma_{\text{кг}}^2 + \sigma_{\text{прд}}^2}, \tag{5}$$

где $\sigma_{\text{мг}}$, $\sigma_{\text{кг}}$, $\sigma_{\text{прд}}$ – среднеквадратические значения ухода частоты местного гетеродина, когерентного гетеродина и передатчика соответственно [1, 5]:

$$\sigma_{\text{мг}} = f_{\text{мг}}\delta_{\text{мг}}t_{\text{з}}/T_{\text{и}};\ \sigma_{\text{кг}} = f_{\text{кг}}\delta_{\text{кг}}t_{\text{з}}/T_{\text{и}};\ \sigma_{\text{прд}} = f_{\text{о}}\delta_{\text{ПРД}}\tau_{\text{и}}/T_{\text{и}}, \tag{6}$$

где $\delta_{\text{мг}}$, $\delta_{\text{кг}}$, $\delta_{\text{прд}}$ – относительные нестабильности местного гетеродина, когерентного гетеродина, передатчика; $\tau_{\text{и}}$ и $T_{\text{и}}$ – длительность и период повторения импульса устройства СДЦ; $t_{\text{з}}$ – время задержки излучаемого импульса:

$$t_{\text{з}} \le 0{,}85T_{\text{и}}. \tag{7}$$

Одной из разновидностей систем СДЦ являются устройства чересперио-дной компенсации (ЧПК), которые могут быть однократными и двукратными. ЧПК основана на методе выделения отраженных от цели радиосигналов на фоне пассивных *радиолокационных помех*, где использованы различия скоростей движения цели и источника помех. Указанное различие скоростей позволяет при воздействии полезного сигнала и помехи на систему СДЦ, в которой используется ЧПК, скомпенсировать или значительно уменьшить помеху, сохранив при этом на выходе полезный сигнал.

К показателям эффективности СДЦ относятся коэффициенты передачи, подавления и качества подавления. Показатели эффективности СДЦ зависят от ширины спектра (2) пассивных помех и от частоты (периода) повторения импульсов РЛС.

Показатели эффективности СДЦ однократной ЧПК:

– модуль коэффициента передачи

$$\text{К}_{\text{ЧПК1}}(F_{\text{дп}}) = \frac{U_{m.\text{вых}}}{U_{m.\text{вх}}} = 2\left|\sin \pi F_{\text{дп}} T_{\text{и}}\right| = 2\left|\sin \frac{\pi F_{\text{дп}}}{F_{\text{и}}}\right|; \tag{8}$$

– коэффициент подавления

$$\text{К}_{\text{п1}} = \frac{0{,}5}{1 - \exp\left(-2\pi^2 T_{\text{и}}^2 \Delta f_{\text{по}}^2\right)}; \tag{9}$$

– коэффициент качества

$$\text{К}_{\text{к1}} = \text{К}_{\text{ЧПК1}}\text{К}_{\text{п1}} = 2\left|\sin \frac{\pi F_{\text{дп}}}{F_{\text{и}}}\right| \frac{0{,}5}{1 - \exp\left(-2\pi^2 T_{\text{и}}^2 \Delta f_{\text{по}}^2\right)}. \tag{10}$$

Показатели эффективности СДЦ двукратной ЧПК:

– модуль коэффициента передачи

$$\text{К}_{\text{чпк}2} = \text{К}_{\text{чпк}}^2(F_{\text{дп}}) = 4\sin^2 \pi F_{\text{дп}} T_{\text{и}}; \tag{11}$$

– коэффициент подавления

$$\text{К}_{\text{п2}} = \frac{0{,}5}{3 + \exp\left(-8\pi^2 T_{\text{и}}^2 \Delta f_{\text{по}}^2\right) - 4\exp\left(-2\pi^2 T_{\text{и}}^2 \Delta f_{\text{по}}^2\right)}; \tag{12}$$

– коэффициент качества

$$К_{к2} = К_{ЧПК2} К_{п2} = 4\sin^2 \pi F_{дп} T_и \frac{0{,}5}{3 + \exp\left(-8\pi^2 T_и^2 \Delta f_{по}^2\right) - 4\exp\left(-2\pi^2 T_и^2 \Delta f_{по}^2\right)}. \quad (13)$$

На основании выражений (9) и (12) проведены исследования зависимости коэффициентов подавления $К_{п1}$ и $К_{п2}$ от ширины спектра мешающих отражений $\Delta f_{по}$ для однократной и двукратной ЧПК. Результаты исследования представлены на рис. 1, 2.

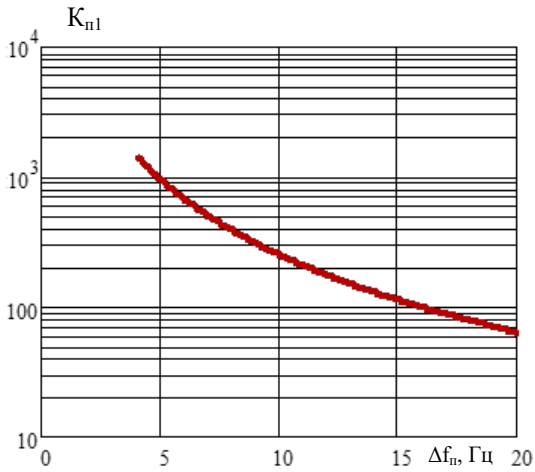


Рис. 1. Зависимость коэффициента подавления от ширины спектра помехи однократной ЧПК

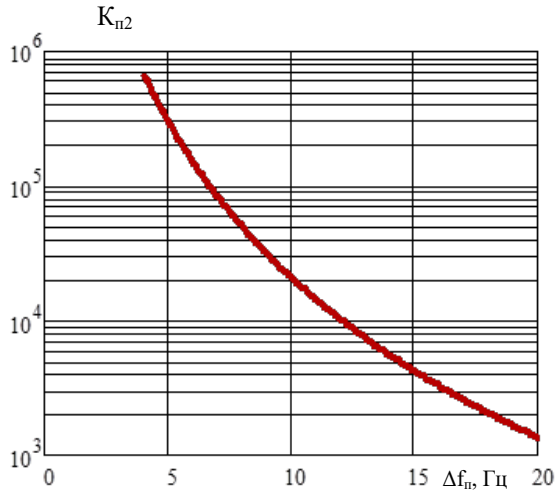


Рис. 2. Зависимость коэффициента подавления от ширины спектра помехи двукратной ЧПК

Из графиков (рис. 1 и 2) видно, что в двукратной ЧПК коэффициент подавления больше, чем однократной. Это связано с тем, что полоса пропускания режекторного фильтра двукратной ЧПК является более узкой по сравнению с полосой пропускания однократной ЧПК. На рисунках 1 и 2 видно, что с увеличением ширины спектра помехи коэффициент подавления уменьшается для двух схем ЧПК.

На основании выражений (8) и (11) проведены исследования зависимости коэффициентов передачи $К_{п1}$ и $К_{п2}$ от допплеровской частоты, которая характеризует скорость цели. Результаты исследования представлены на рис. 3, 4. В результате исследований можно сделать вывод, что коэффициент передачи характеризует амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) фильтра СДЦ. На рисунках 3 и 4 видно, что АЧХ двукратной ЧПК имеет более узкую полосу пропускания по сравнению с однократной ЧПК. Чем уже полоса пропускания схемы ЧПК, тем лучше эффективность подавления пассивных помех.

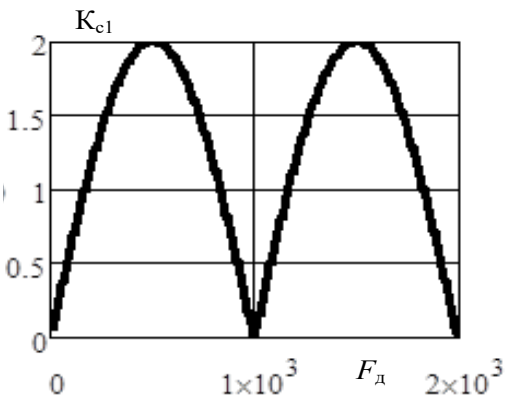


Рис. 3. Зависимость коэффициента передачи от допплеровской частоты для однократной ЧПК

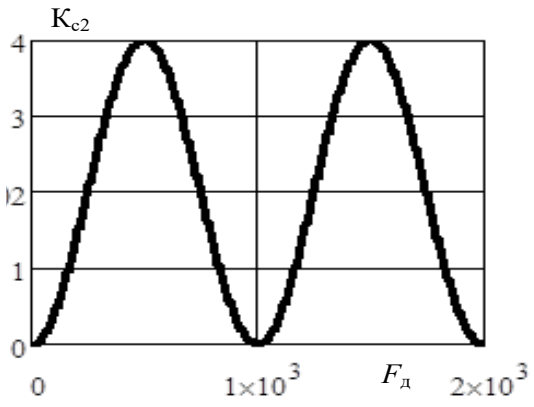


Рис. 4. Зависимость коэффициента передачи от допплеровской частоты для двукратной ЧПК

Таким образом, показатели эффективности СДЦ зависят от влияния вращения антенны, хаотического движения пассивных отражателей, нестабильности ухода частоты и использования метода чересперiодной компенсации.

Библиографический список

1. Пудовкин, А. П. Электромагнитная совместимость и помехозащищенность РЭС [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк, Т. И. Чернышова. – Тамбов : ТГТУ, 2013. – 92 с.

2. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.

3. Pudovkin, A. P., Panasyuk, Yu. N., Danilov, S. N., Moskvitin, S. P. Synthesis of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters. – Journal of Physics: Conference Series, Volume 1015, Issue 3, article id. 032111 (2018).

4. Панасюк, Ю. Н. Устройства сверхвысоких частот : учебное пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : ТГТУ, 2015. – 80 с.

5. Панасюк, Ю. Н. Основы автоматизации проектирования устройств СВЧ и антенн [Электронный ресурс, мультимедиа] : учебное пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – 270 с.

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУШНОГО СУДНА В ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТРЕТИЧНОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

А. И. Сустин, А. П. Пудовкин

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: resbn@jesby.tstu.ru)

Оценка параметров движения воздушного судна (ВС) в информационно-измерительных системах управления воздушным движением (ИИС УВД) является важным этапом третичной обработки информации (ТОИ) – обработки радиолокационной информации о ВС, полученной от двух радиолокационных станций (РЛС). Оценка параметров движения ВС в ИИС УВД с ТОИ возможна различными методами [1, 3]:

– мозаичная обработка радиолокационной информации в ИИС УВД, в которой в качестве значения оцененного параметра движения ВС принимаются данные от одной из РЛС, принимая ее как более точную для слежения за ВС на определенной территории без учета данных другой РЛС;

– математическое усреднение, заключающееся в нахождении среднего арифметического данных от двух РЛС в каждый момент времени;

– весовая обработка радиолокационной информации в ИИС УВД с ТОИ.

Наиболее точным из перечисленных методов является весовая обработка радиолокационной информации. Оценка методом весовой обработки производится согласно выражению [1]

$$X_{\text{ТОИ}}(k) = b_1(k)X_1(k) + b_2(k)X_2(k), \qquad (1)$$

где $X_{\text{ТОИ}}(k)$ – значения параметров движения ВС на выходе системы ТОИ; $X_1(k)$, $X_2(k)$ – значения параметров движения ВС, передаваемые в центр УВД, где производится ТОИ от РЛС1 и РЛС2 соответственно; $b_1(k), b_2(k)$ – значения весовых коэффициентов РЛС1 и РЛС2, которые формируются в центре УВД соответственно.

Весовые коэффициенты влияют на точность ТОИ от РЛС1 и РЛС2 [3, 4].

Известны способы весовой обработки радиолокационной информации, в которых при определении весовых коэффициентов для оценки параметров движения ВС используются статические параметры движения ВС. В качестве

статических параметров движения ВС используются дисперсия невязки, дисперсия ошибок измерения, т.е. параметры, которые задаются изначально и не изменяются в процессе слежения за ВС. Такие весовые коэффициенты принято называть статическими весовыми коэффициентами.

Одним из способов весовой обработки радиолокационной информации от двух РЛС в ИИС УВД с ТОИ с применением статических весовых коэффициентов является использование информации о дисперсии невязок для РЛС1 – σ_1^2 и РЛС2 – σ_2^2. В этом случае оценка параметров движения ВС производится согласно выражениям:

$$X_{\text{ТОИ}}(k) = \frac{\frac{1}{\sigma_1^2} X_1(k) + \frac{1}{\sigma_2^2} X_2(k)}{\frac{1}{\sigma_1^2} + \frac{1}{\sigma_2^2}}; \tag{2}$$

$$b_1(k) = \frac{\frac{1}{\sigma_1^2}}{\frac{1}{\sigma_1^2} + \frac{1}{\sigma_2^2}}; \quad b_2(k) = \frac{\frac{1}{\sigma_2^2}}{\frac{1}{\sigma_1^2} + \frac{1}{\sigma_2^2}}, \tag{3}$$

где σ_1, σ_2 – среднеквадратические погрешности фазовых координат ВС, переданные от РЛС1 и РЛС2 соответственно; $b_1(k)$, $b_2(k)$ – значения весовых коэффициентов, определяемые для РЛС1 и РЛС2 соответственно.

Существует способ весовой обработки радиолокационной информации в ИИС УВД с ТОИ с применением статических весовых коэффициентов, для определения которых используются дисперсии ошибок измерения для РЛС1 – σ_{z1}^2 и РЛС2 – σ_{z2}^2. Оценка параметров движения ВС относительно РЛС1 и РЛС2 в данном случае производится согласно выражениям:

$$X_{\text{ТОИ}}(k) = \frac{\sigma_{z2}^2}{\sigma_{z1}^2 + \sigma_{z2}^2} X_1(k) + \frac{\sigma_{z1}^2}{\sigma_{z1}^2 + \sigma_{z2}^2} X_2(k); \tag{4}$$

$$b_1(k) = \frac{\sigma_{z2}^2}{\sigma_{z1}^2 + \sigma_{z2}^2}; \quad b_2(k) = \frac{\sigma_{z1}^2}{\sigma_{z1}^2 + \sigma_{z2}^2}. \tag{5}$$

Недостатком способов весовой обработки с использованием статических весовых коэффициентов является низкая точность оценки параметров движения методом весовой обработки информации ввиду неиспользования информации о движении воздушного судна в процессе маневрирования. Это происходит потому, что статические весовые коэффициенты задаются изначально

и не зависят ни от вида маневра, ни от динамики движения ВС в процессе маневрирования.

Для улучшения точностных характеристик ИИС УВД при оценке параметров движения ВС (дальность, угловые координаты, скорость ВС относительно РЛС) необходимо применять динамические весовые коэффициенты.

Динамические весовые коэффициенты зависят от вида маневра ВС и от пространственного расположения РЛС1 и РЛС2. Динамические весовые коэффициенты являются переменными, т.е. обновляются на каждом обзоре РЛС1 и РЛС2 в процессе сопровождения маневрирующего ВС. Динамические весовые коэффициенты позволяют улучшить точностные параметры движения ВС за счет изменения дисперсии невязок в ИИС УВД, которые зависят от динамических ошибок РЛС1 и РЛС2. Динамические ошибки РЛС1 и РЛС2 зависят, прежде всего, от расположения их относительно ВС.

Следует учитывать необходимость постоянного обновления весовых коэффициентов в ИИС УВД с ТОИ, поскольку динамические весовые коэффициенты изменяются в процессе маневрирования. Для этого в центре УВД необходим модуль, отвечающий за определение и обновление значений весовых коэффициентов на основании данных, поступающих от РЛС.

Перспективными для оценки параметров движения ВС являются динамические весовые коэффициенты, которые используют невязки калмановских фильтров при оценке фазовых координат ВС. Поскольку невязка определяется как разность оцененного и экстраполированного значений [1, 5] фазовых координат движения ВС, определенные таким способом весовые коэффициенты зависят от динамики движения ВС при маневрировании. Точность определения динамических весовых коэффициентов зависит также от применяемой в системе с ТОИ модели состояния ВС и модели наблюдения ВС, которые используются в калмановской фильтрации для оценки и экстраполяции значений фазовых координат движения ВС.

Таким образом, использование статических весовых коэффициентов в третичной обработке информации приводит к увеличению динамических ошибок оценки фазовых координат при маневрировании ВС.

Применение динамических весовых коэффициентов в третичной обработке информации позволит повысить точностные характеристики определения фазовых координат ВС за счет использования информации о динамических ошибках, которые зависят от невязок калмановской фильтрации при маневрировании ВС относительно РЛС1 и РЛС2.

Библиографический список

1. Pudovkin A. P., Panasyuk Yu. N., Varepo L. G., Sustin A. I., Danilov S. N., Trapeznikova O. V. Algorithm synthesis for tertiary information processing of distance measuring channel in information and measurement system of air traffic control – Journal of Physics: Conference Series, 2020, 1546(1), 012026.

2. Glistin V. N., Pudovkin A. P., Panasyuk Yu. N., Danilov S. N., Belyaev P. S., Belyaev M. P., Varepo L. G. The theta-theta channel functioning algorithm synthesis of the data measuring system for the maneuvering aircraft with consideration to its dynamic and kinematic characteristics // J. Phys.: Conf. Ser. 1441 (2020).

3. Pudovkin, A. P., Panasyuk, Yu. N., Danilov, S. N., Moskvitin, S. P. Synthesis of channel tracking for random process parameters under discontinuous variation. – Journal of Physics: Conference Series, Volume 1015, Issue 3, article id. 032112 (2018).

4. Pudovkin, A. P., Panasyuk, Yu. N., Danilov, S.N. Synthesis of an Algorithm for Angle Measurement Channel of the Information-Measuring System of a Maneuvering Aircraft Given its Dynamic and Kinematic Characteristics. Proceedings – 2019 1st International Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2019, 2019. – P. 73 – 76.

5. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ПОДСИСТЕМЫ НАЗЕМНОЙ СВЯЗИ АВИАЦИОННОГО ФОРМИРОВАНИЯ ВОЕННО-ТРАНСПОРТНОЙ АВИАЦИИ

А. Н. Татаринов, М. А. Данилин

ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Россия
(e-mail: 79854221149@yandex.ru, maxxxl78@mail.ru)

Применение авиации в современных условиях характеризуется выполнением широкого спектра боевых и специальных задач. Особое значение приобретают транспортные задачи и обеспечение демонстративных действий войск. При этом наибольшую актуальность приобретают вопросы обеспечения управления при увеличении пространственного размаха применения военно-транспортной авиации (ВТА).

Анализ построения системы связи формирования ВТА показывает, что она основывается на традиционных способах организации связи с применением большого количества морально устаревших средств связи, в то же время противник постоянно наращивает возможности сил и средств разведки и радиоэлектронной борьбы (РЭБ). В условиях повышения масштабов и динамики применения формирований ВТА информационный обмен будет осуществляться преимущественно в декаметровом диапазоне длин волн (ДКМВ) [1]. Преимущества ДКМВ-диапазона по дальности связи ограничиваются недостатками по его занятости и прогнозированию распространения радиоволн. При прогнозируемом воздействии группировки разведки и РЭБ противника на систему связи соединения ВТА вести беспоисковую и бесподстроечную радиосвязь в радиолиниях ДКМВ-диапазона без организации на узлах связи (УС) ВТА частотно-диспетчерской службы (ЧДС) будет невозможно.

При организации радиосвязи в ДКМВ-диапазоне одной из основных задач ЧДС будет подбор рабочей частоты или группы частот, которая будет занимать значительное время.

Расчет времени установления радиосвязи выполняется по формуле

$$T_{\text{ур/св}} = T_{\text{пч}} + T_{\text{настр}} + T_{\text{вх р/св}}, \qquad (1)$$

где $T_{\text{ур/св}}$ – время установления радиосвязи; $T_{\text{пч}}$ – время подбора рабочей частоты (группы); $T_{\text{настр}}$ – время настройки радиостанции; $T_{\text{вх р/св}}$ – время вхождения в связь с корреспондентом.

Для сокращения времени установления радиосвязи предлагается применение Software-Defined Radio (SDR) или программно-ориентированного радио (ПОР). ПОР является радиооборудованием, в котором все или большинство функций физического уровня выполняются в программном виде.

Одним из преимуществ ПОР является то, что совместное применение ПОР радиоприемника с ЭВМ позволяет визуализировать на мониторе широкий участок радио спектра в режиме времени, близком к реальному. ПОР-приемник позволяет обнаруживать излучение радиосигналов, их параметры, выполнять фильтрацию, выбирать вид модуляции без внесения изменений в аппаратную часть и другие преимущества [2, 3].

Однако следует учитывать тот факт, что помимо отсутствия на узлах связи ВТА специальной аппаратуры, позволяющей осуществлять подбор рабочих частот и осуществлять прогнозирование по их использованию, радиотелефонисту (телеграфисту), будет почти невозможно по встроенным приборам радиоприемника и на слух определить наличие преднамеренных помех, наличие радиоэлектронного подавления противником (РЭП) или неисправность аппаратуры.

ПОР-приемник со средствами индикации позволяет визуально определить наличие преднамеренных помех на рабочих частотах и соответственно принимать меры по радиоэлектронной защите радиолиний (рис. 1, 2).

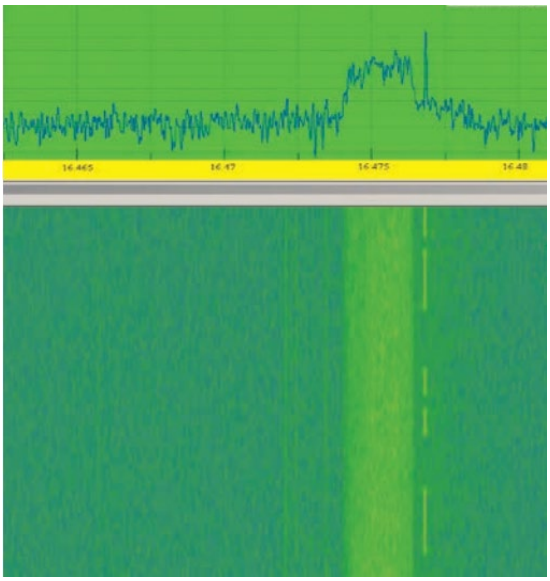


Рис. 1. Визуальный прием азбуки Морзе

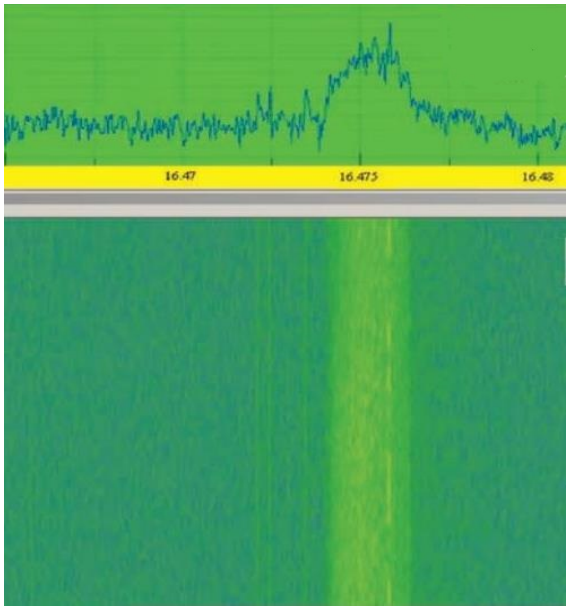


Рис. 2. Визуальный прием азбуки Морзе на фоне радиопомехи

Таким образом, применение программно-ориентированного радио при организации частотно-диспетчерской службы на узлах связи формирования военно-транспортной авиации позволяет сократить время на установление радиосвязи в декаметровом диапазоне длин волн, что позволяет повысить вероятность своевременного доведения сообщений подсистемой наземной связи авиационного формирования военно-транспортной авиации.

Библиографический список

1. Николашин, Ю. Л. Эффективность использования когнитивной радиосвязи в декаметровом диапазоне частот / Ю. Л. Николашин, П. А. Будко, Г. А. Жуков // Техника средств связи. – СПб. : ПАО «Интелтех», 2018. – № 2(142). – С. 6 – 20.

2. Сидоркин, А. Н. Информационные, специальные, воздушно-десантные и аэромобильные операции армий ведущих зарубежных государств : информационно-аналитический сборник / А. Н. Сидоркин. – 2011. – С. 73 – 132.

3. Фокин, Г. А. Технологии программно-конфигурируемого радио / Г. А. Фокин. – М. : Горячая линия – Телеком, 2019. – 316 с.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ АДАПТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

В. В. Терехов, Д. О. Жалнин, Ю. Н. Панасюк

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: Vladimir98.98@mail.ru, zhalnin10@mail.ru)

В автоматизированных системах управления воздушным движением информация о параметрах воздушного судна (ВС), которую получает измерительная система, не должна существенно отличаться от истинной, но влияние шумов усложняет задачу. Решением этой проблемы является применение различных алгоритмов фильтрации. В оценке координат ВС широкое практическое применение получил алгоритм фильтрации Калмана. Он позволяет реализовать наилучшее байесовское решение при условии, что модели динамической системы и наблюдений линейны, а статистические характеристики шумов гауссовские [1, 2]. В настоящее время на основе калмановской фильтрации строят более сложные алгоритмы для решения различного типа поставленных задач. При создании таких алгоритмов полагается, что модель системы и наблюдений не меняется со временем. Реальность такова, что данное условие соблюдать практически невозможно. Динамика изменения ВС, погодные условия, замирание сигнала и другие различные факторы приводят к серьезным изменениям отношения сигнал/шум, а соответственно, и изменениям ковариационной матрицы наблюдения [3]. Поэтому появляется важная задача – адаптировать

фильтр к нестандартным воздействиям, которые могут повлиять на результат фильтрации.

Алгоритм без адаптации формирования оптимальной оценки фазовых координат по критерию минимума дисперсии ошибок фильтрации имеет вид [1, 4, 5]:

$$x_{\text{о}}(k) = x_{\text{э}}(k) + K_{\text{ф}}(k)[z_{\text{и}}(k) - H(k)x_{\text{э}}(k)]; \quad (1)$$

$$x_{\text{э}}(k) = \Phi(k)x_{\text{о}}(k-1),\ x_{\text{э}}(0) = x_{\text{о}}(0); \quad (2)$$

$$P_{\text{э}}(k) = \Phi(k)P_{\text{о}}(k-1)\Phi^{\text{т}}(k) + Q_x(k),\ P_{\text{э}}(0) = P_{\text{о}}(0); \quad (3)$$

$$K_{\text{ф}}(k) = P_{\text{э}}(k)H^{\text{т}}(k)\left\{H(k)P_{\text{э}}(k)H^{\text{т}}(k) + R(k)\right\}^{-1}; \quad (4)$$

$$P_{\text{о}}(k) = P_{\text{э}}(k) - K_{\text{ф}}(k)H(k)P_{\text{э}}(k), \quad (5)$$

где $x_{\text{э}}(k)$ – оценка прогноза (экстраполяция) вектора состояния $x(k)$; $K_{\text{ф}}(k)$ – матрица оптимальных коэффициентов передачи дискретного фильтра; $P_{\text{э}}(k)$ – апостериорная ковариационная матрица ошибок фильтрации; $P_{\text{о}}(k)$ – априорная ковариационная матрица ошибок фильтрации; $R(k)$ – матрица дисперсий измерения; $Q_x(k)$ – матрица дисперсий возмущений.

Основные свойствами линейного фильтра Калмана без адаптации:

– матрицы дисперсий измерения $R(k)$, дисперсий возмущений $Q_x(k)$, перехода состояния $\Phi(k)$, наблюдения $H(k)$ не зависят от времени ($R(k) = R$, $Q_x(k) = Q_x$, $\Phi(k) = \Phi$, $H(k) = H$);

– коэффициенты $K_{\text{ф}}(k)$ могут быть рассчитаны заранее (не в реальном масштабе времени) путем решения разностных уравнений (3) – (5);

– ковариационные матрицы $P_{\text{о}}(k)$ и $P_{\text{э}}(k)$ не зависят от оценки состояния $x_{\text{о}}(k)$ и результатов измерения $z_{\text{и}}(k)$, а определяются только ковариациями формирующего шума Q_x, шума измерения R и матрицами моделей Φ и H.

При анализе линейного фильтра Калмана без адаптации видно, что матрицы дисперсий измерения $R(k)$ и матрицы дисперсий возмущений $Q_x(k)$ не изменяются во времени и задаются единожды на протяжении всего алгоритма. Это приводит к отклонению реальных ошибок фильтра от расчетных. Для решения данной проблемы в фильтр необходимо добавить устройство адаптации, которое и будет улучшать параметры калмановского фильтра к изменениям отношения сигнал/шум и динамической ситуации ВС. Структурная схема такого фильтра представлена на рис. 1.

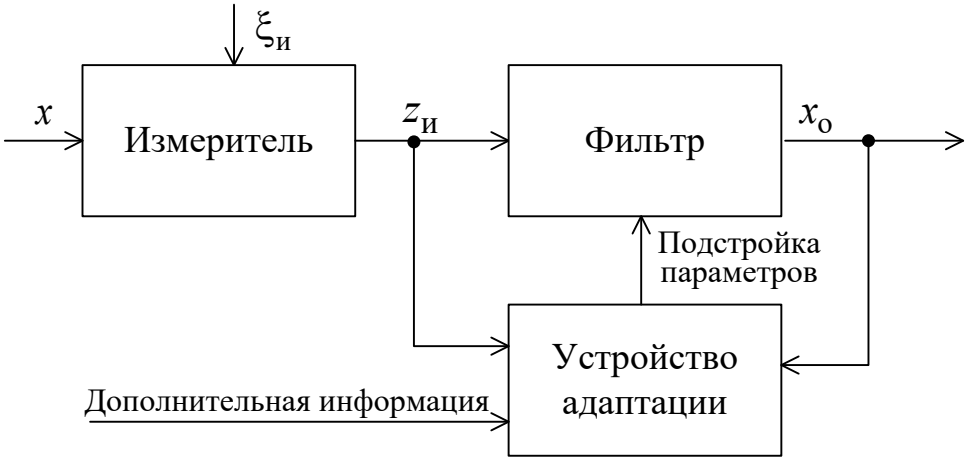


Рис. 1. Адаптивный фильтр

Существует несколько основных методов адаптивной фильтрации, получивших широкое распространение на практике.

1. Метод уточнения ковариации по обновляющему процессу. Данный подход основан на идее, что ковариационную матрицу шума наблюдения возможно оценить по ковариационной матрице невязок:

$$R_{\text{о}}(k) = \frac{1}{N}\sum_{i=i_0}^{k} \Delta z(k)\Delta z^{\text{т}}(k) - HP_{\text{э}}(k)H^{\text{т}}. \qquad (6)$$

где $\Delta z(k) = z_{\text{и}}(k) - z_{\text{пр}}(k)$ – невязка между поступающим измерением и его прогнозируемым значением; N – количество тактов усреднения в скользящем окне для формирования достаточной статистики; $i_0 = k - N + 1$ – начальное положение скользящего окна; $P_{\text{э}}(k)$ – прогнозируемое значение ковариационной матрицы ошибок вектора состояния. Длина скользящего окна выбирается обычно в пределах 10 – 50 отсчетов.

Этот метод реализации адаптивного фильтра улучшает точностные характеристики при условии, если изменяется ковариация невязки шума наблюдения, а не шума вектора состояния или изменения модели динамической системы (маневрирование ВС).

2. Адаптивный алгоритм с плавной подстройкой. Данный метод предназначен для адаптации к изменениям модели системы. Смысл данного алгоритма в том, чтобы в случае изменения ковариации невязки наблюдений регулировать апостериорную ковариационную матрицу ошибок фильтрации $P_{\text{э}}(k)$:

$$P_{\text{э}}(k) = \lambda(k)\Phi(k)P_{\text{о}}(k-1)\Phi^{\text{т}}(k) + Q_x(k), \qquad (7)$$

где $\lambda(k)$ – весовой коэффициент, который рассчитывается по формуле

$$\lambda(k) = \max\left\{1, \frac{\mathrm{tr}\left[C_0(k) - R(k) - HQ_x(k)(k)H^{\mathrm{T}}\right]}{\mathrm{tr}\left[H\Phi P_{\mathrm{o}}(k)\Phi^{\mathrm{T}}H\right]}\right\}, \quad (8)$$

где $\mathrm{tr}[\cdot]$ – операция нахождения следа матрицы; C_0 – коэффициент, который определяется выражением

$$C_0(k) = \frac{\lambda(k-1)\Delta z(k-1)\Delta z^{\mathrm{T}}(k-1)}{1+\lambda(k-1)}. \quad (9)$$

3. Гибридный алгоритм. Данный метод объединяет два предыдущих метода для одновременной адаптации к изменению ковариации шума наблюдений и шума системы. Это возможно за счет параллельного анализа обновляющей последовательности первого метода (6) и регулировки ковариационной матрицы ошибки вектора состояний второго метода (7) – (9).

Таким образом, метод уточнения ковариации по обновляющему процессу улучшает точностные характеристики фильтра при условии, если изменяется ковариация невязки шума наблюдения. Метод адаптивнго алгоритма с плавной подстройкой улучшает точностные характеристики фильтра, если изменяются динамические параметры модели системы.

В условиях неопределенности, когда неизвестны изменения шума наблюдения или динамических параметров модели системы, целесообразно использовать гибридный алгоритм.

Библиографический список

Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.

2. Glistin V. N., Pudovkin A. P., Panasyuk Yu. N., Danilov S. N., Belyaev P. S., Belyaev M. P., Varepo L. G. The theta-theta channel functioning algorithm synthesis of the data measuring system for the maneuvering aircraft with consideration to its dynamic and kinematic characteristics // J. Phys.: Conf. Ser. 1441 (2020).

3. Pudovkin, A. P., Panasyuk, Yu. N., Danilov, S. N., Moskvitin, S. P. Synthesis of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters. – Journal of Physics: Conference Series, Volume 1015, Issue 3, article id. 032111 (2018).

4. Pudovkin, A. P., Panasyuk, Yu. N., Danilov, S. N., Moskvitin, S. P. Synthesis of channel tracking for random process parameters under discontinuous variation. – Journal of Physics: Conference Series, Volume 1015, Issue 3, article id. 032112 (2018).

5. Kurnosov R. Yu. Improving Metrological Reliability of Information-Measuring Systems Using Mathematical Modeling of Their Metrological Characteristics / R. Yu. Kurnosov, T. I. Chernyshova, V. N. Chernyshov // Journal of Physics: Conference Series – International Conference on Information Technologiess in Business and Industry 2018, ITBI 2018;Volume 1015, Issue 3, 22 May 2018.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В КОНСТРУКЦИЯХ РЭС АНАЛИТИЧЕСКИМИ И ЧИСЛЕННЫМИ МЕТОДАМИ

А. В. Хвостов, О. Ю. Макаров

Воронежский государственный технический университет,
Воронеж, Россия
(e-mail: rectorat@vgasu.vrn.ru)

В ходе разработки конструкций радиоэлектронных средств (РЭС), в частности бортовых, постоянно возникает задача расчета и анализа тепловыделения, на основании которого производится выбор конструктивных решений при проектировании систем. Новые РЭС характеризуются все более высокой плотностью упаковки, в результате уменьшения габаритов сокращаются площади рассеивания тепла, образующегося при работе электронного прибора. В связи с этим процесс повышения уровня надежности связан с повышением эффективности систем отвода тепла и разработкой конструкций, позволяющих обеспечить оптимальный температурный режим. Исходя из вышеперечисленного, задача обеспечения оптимального теплового режима остается важной и приоритетной для дальнейшего развития отечественной радиоэлектроники.

Численное моделирование и аналитические методы широко используются при анализе тепловых процессов в конструкциях РЭС. Целью данной работы является сравнение численного и аналитического метода моделирования, выявление расхождений в результатах и выбор наиболее оптимального варианта моделирования.

Для моделирования тепловых процессов в качестве примеров были использованы типичные конструкции теплоотводящих устройств (тепловой шины, пластинчатого радиатора) и узла на печатной плате с применением тепловых моделей в виде стержня и пластины. Соответственно рассматривались

одномерные и двумерные температурные поля. Особенностью таких моделей является то, что для тепловых процессов в них существуют аналитические и численные математические модели температурных полей.

Аналитические модели получены методом конечных интегральных преобразований [1, 2] и методом Г. А. Гринберга [3] для двумерной модели однослойной пластины с локальным источником тепла. Решения на базе численных моделей получены при использовании Pro/ENGINEER (Creo). Расчет по аналитическим моделям был выполнен в программе MathCAD. Результаты моделирования представлены в табл. 2 и 3 и на рис. 1. Исходные данные представлены в табл. 3.

После получения численной и аналитической моделей исследуемых стержня и пластины было решено выполнить сравнение различия полученных результатов в процентном эквиваленте. В данном сравнении примем, что аналитическая модель является эталоном в связи с точным математическим решением. Отличительной особенностью исследования пластины является аналитическое решение двумя методами.

1. Исходные данные для одно- и двумерной модели

Модель стержня	Модель пластины
– площадь поперечного сечения $f = 0{,}0025$ м^2; – периметр сечения $U = 0{,}02$ м; – длина $L = 0{,}3$ м; – полный коэффициент теплоотдачи с поверхности и торца стержня $\alpha = 13{,}1$ Вт/(м^2·К); – мощность источника $P = 10$ Вт; – коэффициент теплопроводности меди $\lambda = 401$ Вт/(м·К)	– мощность источника $P = 5$ Вт; – толщина пластины $\delta = 0{,}0051$ м; – размеры пластины 0,076×0,076 м; – размеры источника тепла 0,025×0,025 м; – эффективные теплопроводности пластины в направление осей λx, $\lambda z = 0{,}59$ Вт/(м·К); – коэффициент теплоотдачи для эпоксидной смолы $\alpha = 5$ Вт/(м^2·К)

2. Результаты численного и аналитического моделирования стержня

Координаты точки, мм	Значение температуры в Pro/ENGINEER, К	Значение температуры в MathCAD, К
0	312,7	307,128
150	309,3	304,733
300	308,1	303,92

3. Результаты численного и аналитического моделирования пластины

Координаты точки, м	Значение температуры при численном моделировании, К	Значение температуры при первом методе аналитического моделирования, К	Значение температуры при втором методе аналитического моделирования, К
0	316	421,4	429,4
0,019	375	480	480,3
0,038	550	585	578,3
0,0506	375	480	480,3
0,076	316	421,4	429,4

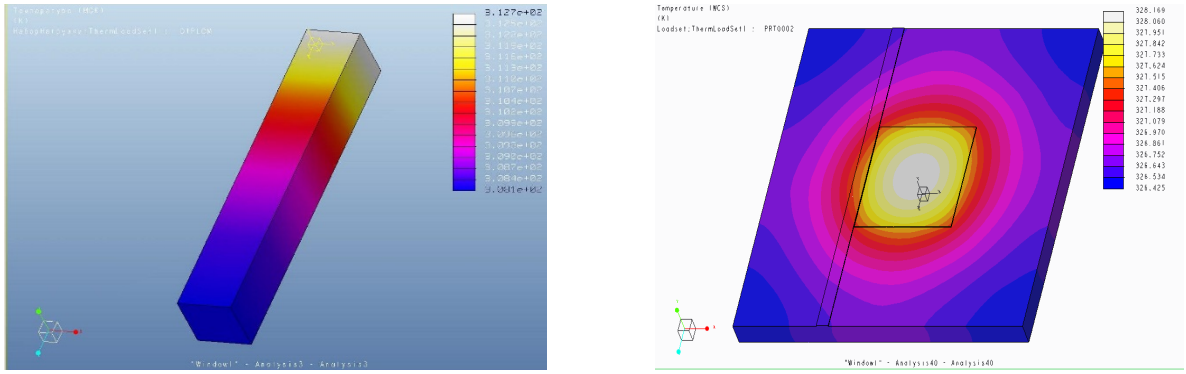


Рис. 1. Тепловые модели стержня и пластины, полученные в программе Pro/ENGINEER

Сравнительный анализ итогов моделирования показал, что различие в результатах для осредненной модели радиатора (одномерное поле) составляет порядка 2%. Для осредненной модели платы (двумерное поле) отличие результатов моделирования составило до 25%. В то же самое время различие результатов для такой же модели платы, полученной при использовании двух разных аналитических методов, составляет около 2%. Графический анализ результатов исследований представлен на рис. 2.

В ходе анализа полученных данных была установлена закономерность, что различие в результатах аналитического и численного моделирования возрастает с увеличением размерности и сложности исследуемой тепловой и соответствующей ей математической модели. При многократном моделировании, связанном с параметрической оптимизацией, эффективным оказывается применение аналитических методов моделирования, позволяющих вводить буквенные обозначения варьируемых параметров и получать конечные аналитические выражения для выходных переменных, использованных нами в MathCAD.

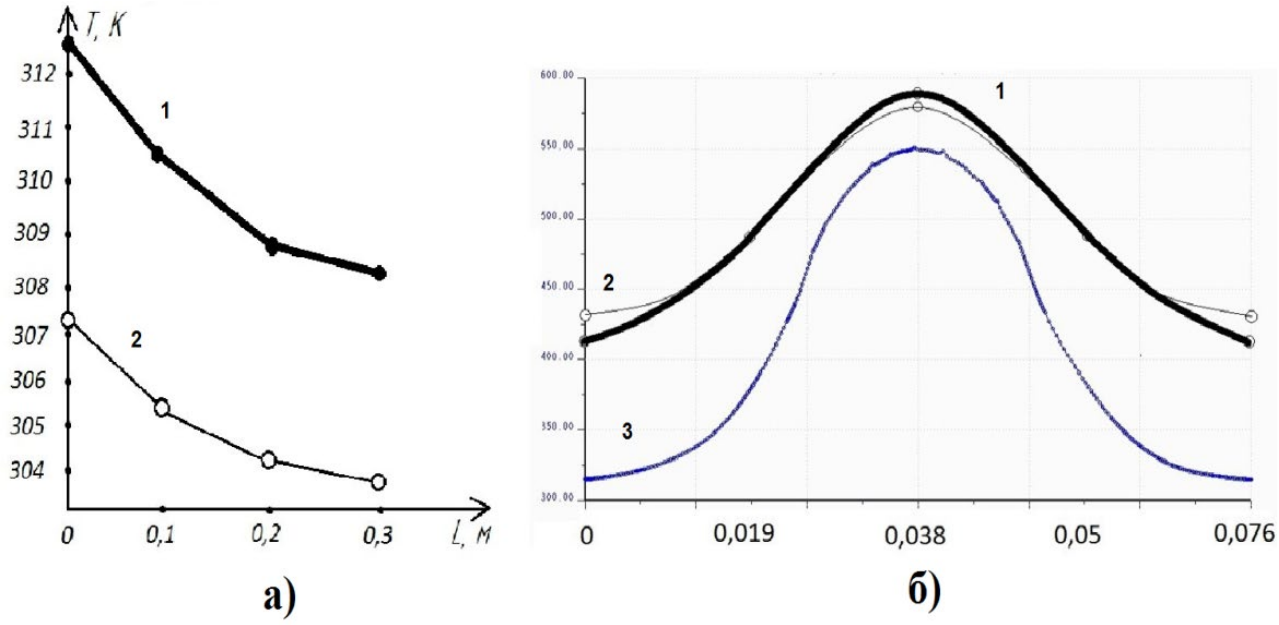


Рис. 2. Итоговый график распределения температуры для модели стержня (*а*) и модели платы (*б*):

1 – применение численного моделирования; *2* – применение аналитического моделирования; *1*, *2* – применение аналитического моделирования; *3* – применение численного моделирования

Для изучения одномерных тепловых моделей в равной степени подходят как численные, так и аналитические методы. В то же время различия в результатах для модели платы (двумерное поле) более серьезны. Для повышения точности численного моделирования существует возможность использования многопроходной адаптации, однако этот способ упирается в ограниченные машинные ресурсы ПК. В ходе исследования было выяснено, что аналитические методы, использованные нами в MathCAD, в основе которых лежит теория теплопроводности, даже при принятии ряда упрощений, таких как простая форма тел и несложные начальные и граничные условия, обладают достаточной достоверностью. Однако при увеличении сложности модели кратно увеличивается сложность их применения. Для выбора наилучшего метода моделирования различных физических моделей необходимо провести анализ размерности и сложности задачи, а в некоторых случаях провести дополнительные натурные эксперименты. Наибольшей эффективности моделирования можно достичь при использовании численного и аналитического метода в рамках единого программного комплекса уже на начальных этапах проектирования.

Библиографический список

1. Дульнев, Г. Н. Теплообмен в радиоэлектронных аппаратах / Г. Н. Дульнев, Э. М. Семяшкин. – Л. : Энергия, 1968. – 360 с.

2. Дульнев, Г. Н. Методы расчета теплового режима приборов / Г. Н. Дульнев, В. Г. Парфенов, А. В. Сигалов. – М. : Радио и связь, 1990. – 312 с.

3. Гринберг, Г. А. Избранные вопросы математической теории электрических магнитных явлений: Физика / Г. А. Гринберг – М. : Книга по Требованию, 2012. – 732 с.

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ РЭС

Н. Е. Ходырева, В. А. Кондусов

Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия
(e-mail: khodyreva@internet.ru)

Задача прогнозирования состояния ЭМС РЭС на практике возникает всякий раз, когда решаются вопросы об изменении частотных, временных режимов работы РЭС, размещенных в некотором территориальном районе, или о размещении нового РЭС в этом районе. Цель решения такой задачи состоит в том, чтобы априори определить, будет ли обеспечиваться ЭМС рассматриваемой совокупности (группы) РЭС, если для некоторых РЭС (хотя бы для одного) будут изменены режимы (частотные, пространственные, временные) работы или в пределах этого территориального района будет размещено новое РЭС.

Рассмотрим порядок решения этой задачи ЭМС на примере размещения нового РЭС. Задача формулируется следующим образом. Считается заданной (известной) некоторая совокупность РЭС, т.е. состав, размещение, пространственные, частотные и временные режимы работы РЭС и их технические характеристики в некотором ограниченном районе (рис. 1).

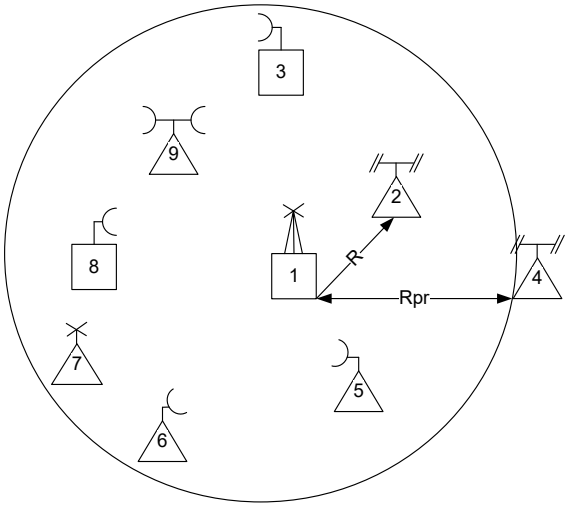


Рис. 1. Пример размещения РЭС в заданном районе

Если в результате прогнозирования окажется, что взаимного мешающего влияния между ранее размещенными и вновь размещаемыми РЭС не предвидится, то, естественно, принимается положительное решение о возможности размещения и эксплуатации нового РЭС в рассматриваемом районе. В противном случае вновь размещаемому РЭС назначается другая позиция или другие режимы работы (если это возможно) и производится повторная оценка ЭМС. Если в результате ее окажется, что ЭМС совокупности РЭС в рассматриваемом районе не обеспечивается, то делается вывод о невозможности размещения нового РЭС в рассматриваемом районе.

В указанной постановке задача прогнозирования ЭМС РЭС решается при следующих основных ограничениях и допущениях:

– ЭМС ранее размещенных РЭС апостериори проверена и считается обеспеченной;

– ограничения значений рабочих частот, направлений (секторов) и временных режимов работы накладываются только на вновь размещаемое РЭС;

– рассматриваются РЭС, находящиеся в дальней зоне формирования диаграмм направленности антенн.

Содержание прогнозирования ЭМС заключается в выявлении (отборе) потенциально несовместимых РЭС в рассматриваемом районе, т.е. таких РЭС, которые при одновременной работе могут оказывать мешающее влияние либо взаимно друг на друга, либо одно из них на другое. Потенциально несовместимые РЭС отбираются на основе следующих трех критериев: временного, частотного, энергетического.

Для сокращения времени прогнозирования ЭМС, особенно в значительных совокупностях РЭС, прогнозирование целесообразно проводить последовательно (поэтапно) в соответствии с алгоритмом, представленным на рис. 2.

В блоках *1* и *2* производится анализ временных режимов работы РЭС, на основе которого выявляются потенциально несовместимые РЭС по временному критерию, математически определяемому выражением $T_1 \cup T_i \neq \emptyset$, где T_1 – временной интервал работы вновь размещаемого типа РЭС; T_i – временные интервалы работы всех ранее размещенных типов РЭС в рассматриваемом районе (1 = 2, 3, 4, ...); $\emptyset$ – пустое множество (т.е. отсутствие пересекающихся временных интервалов работы РЭС).

Потенциально несовместимые по временному критерию РЭС выявляют при наложении на общую временную ось графиков (как правило, суточных) работы РЭС, т.е. из последовательно рассматриваемых ранее размещенных РЭС,

временные интервалы работы которых хотя бы частично перекрываются (совпадают) с интервалами работы вновь размещаемых РЭС, считаются потенциально несовместимыми и подлежат дальнейшему анализу. Пример выявления потенциально несовместимых по временному критерию РЭС иллюстрируется на рис. 3, из которого следует, что РЭС *2*, *4*, *6*, *8* и *9* являются потенциально несовместимыми с вновь размещаемым РЭС *1* (номера РЭС соответствуют рис. 1). Средства временных графиков, которые жестко не установлены (случайная работа в любой момент времени), рассматриваются и относятся к числу потенциально несовместимых с любым другим РЭС в рассматриваемом районе.

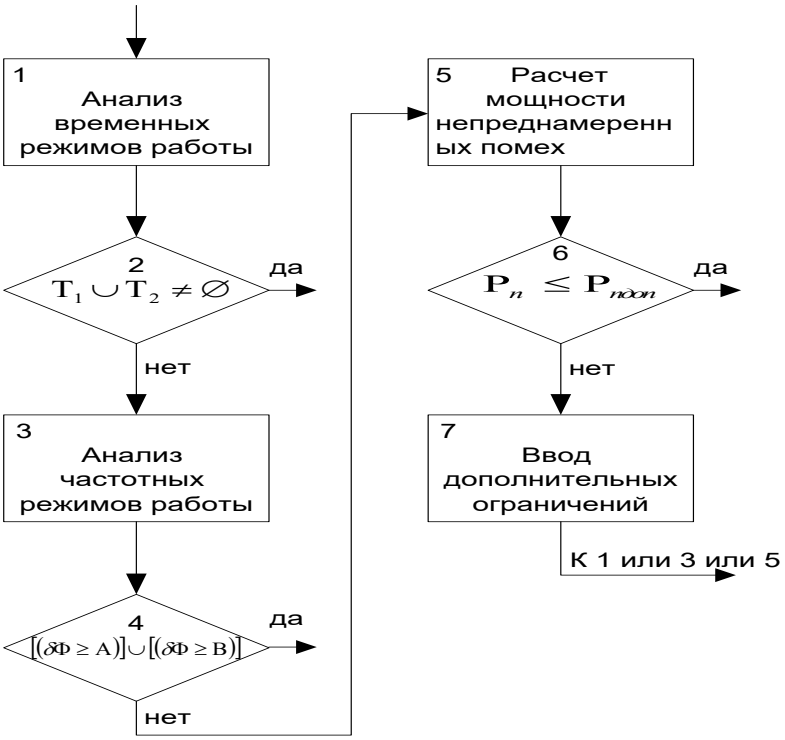


Рис. 2. Алгоритм прогнозирования ЭМС РЭС

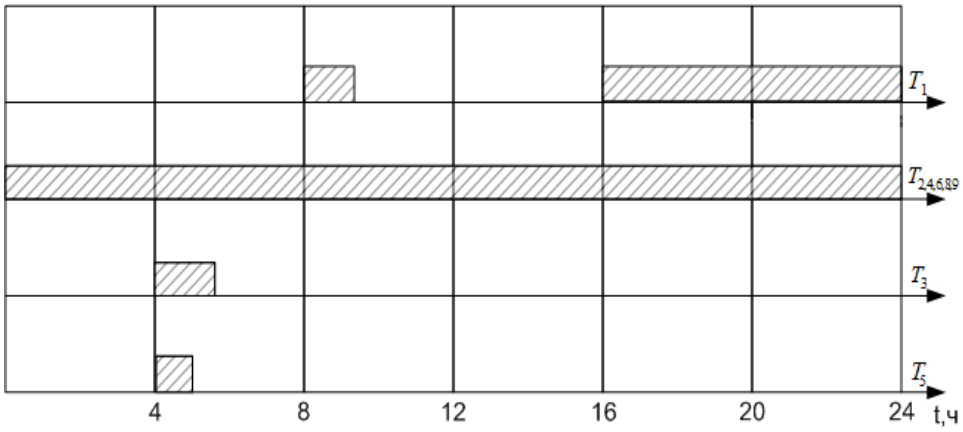


Рис. 3. Совмещение временных графиков работы РЭС

Таким образом, если в результате анализа окажется, что временные интервалы работы РЭС не перекрываются, то ЭМС РЭС по этому признаку в рассматриваемом районе считается обеспеченной и принимается соответствующее решение (например, о возможности размещения нового РЭС или изменения режимов работы ранее размещенных РЭС) [2].

Библиографический список

1. Уайт, Д. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи / Д. Уайт ; под ред. А. И. Сапгира ; пер. с англ. − М. : Сов. радио, 1977. – Вып. 1. – 348 с.

2. Уайт, Д. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи / Д. Уайт ; под ред. А. Д. Князева ; пер. с англ. − М. : Сов. радио, 1979. – Вып. 3. – 464 с.

3. Иванов, В. А. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств / В. А. Иванов, Л. Я. Ильницкий, М. И. Фузик. – Киев : Техника, 1983. – 118 с.

МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ И ОЦЕНКИ КООРДИНАТ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

А. Р. Хребтов, С. Н. Данилов

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: plabz@mail.ru)

Хороший метод моделирования должен давать исследователю набор правил и алгоритмов, выполнение которых неизбежно приведет к построению модели, адекватной заданному процессу. При этом должна гарантироваться определенная степень правдоподобия.

Если некоторый сложный объект обладает интересующим нас свойством H_0, то для получения математической модели, описывающей данное свойство, необходимо:

1. Определить показатель этого свойства, т.е. определить меру свойства в некоторой системе измерения. В нашем случае это максимально допустимая ошибка оценивания координат подвижных объектов.

2. Установить перечень свойств H_1, ..., H_m, с которыми свойство H_0 связано некоторыми отношениями. Это могут быть внутренние свойства объекта и свойства внешней среды. В нашем случае это все начальные параметры систем и подсистем модели.

3. Описать свойства внешней среды, как внешние факторы (помеховые сигналы, шумы), влияющие на искомый показатель, внутренние свойства объекта, как параметры и константы блоков и подсистем, а неучтенные свойства отнести к группе факторов (w_1, ..., w_p).

4. Выяснить закономерные отношения между H_0 и всеми учитываемыми факторами и составить математическую модель.

При моделировании систем часто возникает необходимость создания различных вариантов построения отдельных моделей подсистем. Это, как правило, объясняется желанием найти наилучшую реализацию подсистемы или использовать несколько моделей, каждая из которых в отдельности отражает лишь некоторые свойства моделируемой системы, но которые в совокупности дают необходимую информацию.

В настоящее время существует множество систем графической визуализации. В рассматриваемой задаче удобны для моделирования Simulink пакета Matlab [1].

В качестве объекта моделирования будем рассматривать систему наведения ракеты на самолет-цель, который в качестве защиты применяет отстреливаемую ловушку с ретранслятором, и построим ее Simulink-модель (рис. 1).

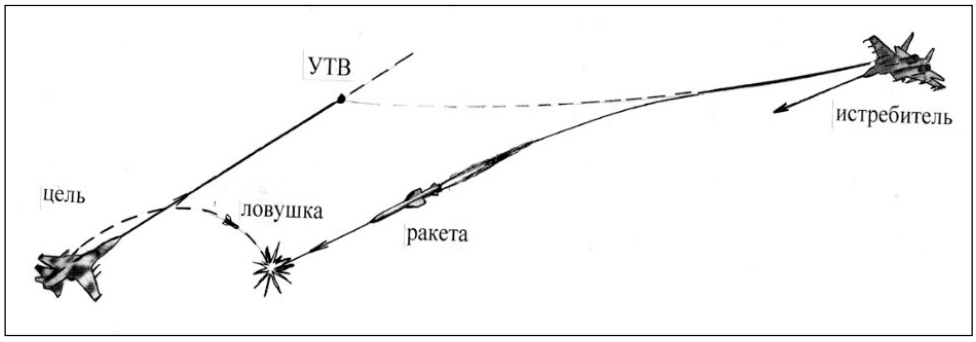


Рис. 1. Траектории движения объектов

Перед тем как приступить к построению модели, необходимо иметь некоторую исходную информацию, например функциональную или структурную схему объекта моделирования и его частей; уравнения, описывающие моделируемую систему и ее части [2].

В самом общем виде такая система может иметь структуру, показанную на рис. 2.

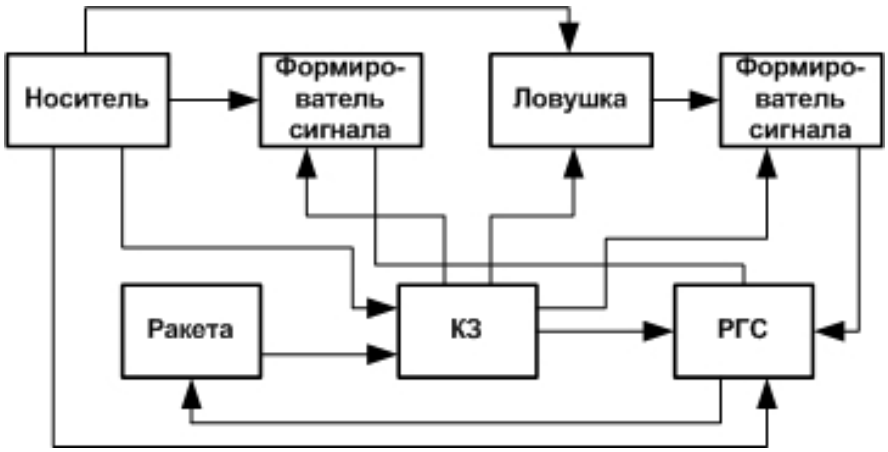


Рис. 2. Общий вид структуры системы

Для построения модели системы наведения, показанной на рис. 2, строятся модели подсистем. Полученные модели подсистем объединяются вместе в соответствии со структурой исходного объекта [3].

Параметры относительного движения объектов рассчитываются в подсистеме кинематического звена. В качестве входных параметров используются данные о координатах подвижных объектов в земной системе координат [4].

На рисунке 3, *а* показано изменение величины промаха по цели при выключенном сигнале ловушки. Промах по цели в течение десятой секунды принимает нулевое значение, что соответствует поражению цели. При включении ловушки промах в заданной ситуации возрастает до величины примерно в 250 м, это видно на рис. 3, *б* [5].

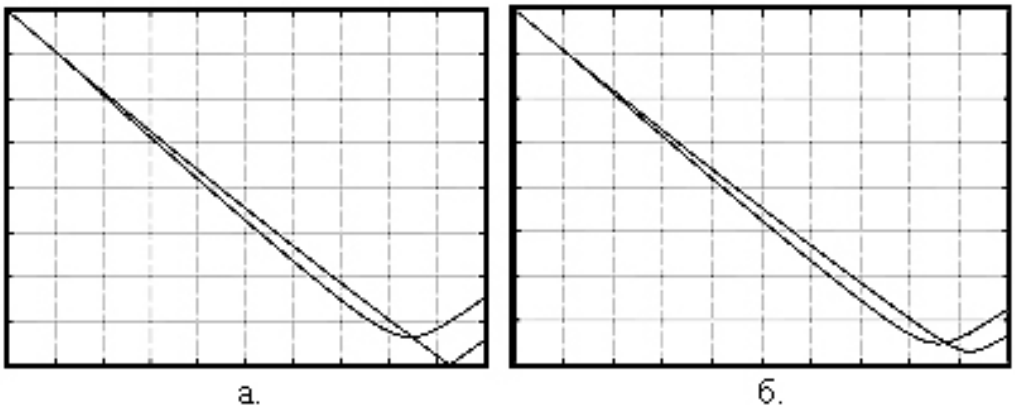


Рис. 3. Измерение величины промаха по цели без ловушки (*а*) и с ловушкой (*б*)

Модель работает во времени, близком к реальному. Все выходные данные (координаты перемещения цели, ловушки и ракеты) записываются в рабочем пространстве Matlab, а также преобразуются в файлы с расширением *.dat для дальнейшего использования [6].

Таким образом, в качестве примера рассмотрена относительно простая модель системы наведения и оценивания координат, позволяющая определять влияние применения ловушек-ретрансляторов, на процесс наведения и промах. Модель удобна в применении и наглядна. Кроме того, она имеет некоторые скрытые резервы, связанные с возможностями по изменению и усложнению структуры модели и ее внутренних связей. Использование средств визуализации позволяет даже начинающему исследователю избежать некоторых ошибок и сложностей, связанных с моделированием при применении стандартных средств и методов.

Библиографический список

1. Дэбни Дж. Simulink-4. Секреты мастерства / Дж. Дэбни, Т. Харман. – М. : Бином, 2003. – 404 с.

2. Pudovkin, A. P., Panasyuk, Yu. N., Danilov, S. N., Moskvitin, S. P. Synthesis of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kine-matic Parameters/ Journal of Physics: Conference Series, Volume 1015, Issue 3, article id. 032111 (2018).

3. Pudovkin, A. P., Panasyuk, Yu. N., Danilov, S. N., Moskvitin, S. P. Synthesis of channel tracking for random process parameters under discontinuous variation/ 2018 Journal of Physics: Conference Series, Volume 1015, Issue 3, article id. 032112

4. Panasyuk, Yu. N., Pudovkin A. P., Danilov, S. N. Synthesis of an Algorithm for Angle Measurement Channel of the Information-Measuring System of a Maneuvering Aircraft Given its Dynamic and Kinematic Characteristics/ 1st International Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2019, pp. 73-76.

5. Estimation of location coordinates in the system of vehicle control to ensure traffic safety / Пудовкин А. П., Данилов С. Н., Иванов А. В., Панасюк Ю. Н. International Conference on Recent Advanced in Engineering, Technology and Applied Sciens. 2017, pp. 32-49.

6. Реконфигурируемый канал слежения за параметрами случайного скачкообразно изменяющегося процесса / П. С. Беляев, С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин и др. // Южно-Сибирский научный вестник. – 2020. – С. 87 – 92.

Секция 2

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ, ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ И СВЯЗИ

ИНФОКОММУНИКАЦИОННАЯ СЕТЬ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОТИВОВОЗДУШНОЙ ОБОРОНЫ

К. С. Баев, А. Д. Афанасьев

ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Россия
(e-mail: vaiu@mil.ru)

В современных условиях ведения военных действий борьба в воздушно-космической сфере становится неотъемлемой, а в большинстве случаев, и основной частью любого из этапов конфликта и вооруженной борьбы в целом.

Формирование противовоздушной обороны в системе воздушно-космической обороны страны обеспечивает прикрытие от ударов с воздуха наиболее важных направлений, районов и объектов, а также объектов и группировок Вооруженных сил. Задачи выполняются путем уничтожения средств воздушного нападения противника при их полете к обороняемым объектам. Формирование противовоздушной обороны представляет собой сложное организационно-техническое образование, включающее множество подсистем, компонентов и элементов, в том числе, и инфокоммуникационную сеть.

Структура действующей инфокоммуникационной сети повторяет структуру системы управления формирования противовоздушной обороны и является иерархической, инфокоммуникационная сеть включает в себя узлы связи пунктов управления, радио, радиорэлейные, тропосферные и проводные линии связи.

Особенности построения и функционирования системы управления формирования противовоздушной обороны определяют и особенности функционирования ИКС формирования, которыми являются:

организация информационного обмена между большим количеством узлов связи на большом пространственном размахе;

организация информационного обмена по радиоканалам как в наземных, так и в воздушных радиосетях и радионаправлениях;

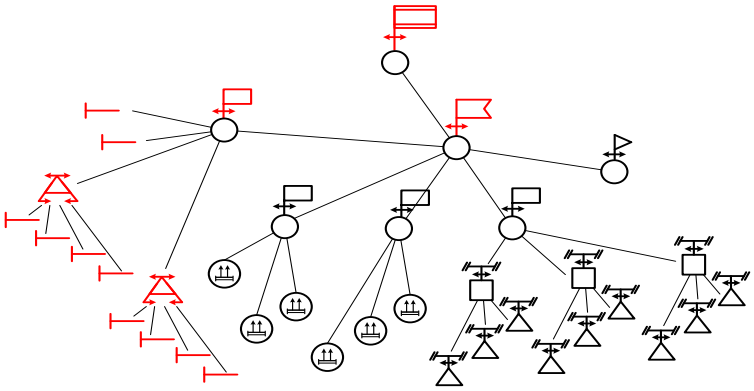


Рис. 1. Вариант структуры ИКС соединения ПВО

необходимость распределения ресурсов связи с учетом приоритетов использования более качественных и надежных в интересах информационного обмена между комплексами средств автоматизации;

обеспечение гибкости системы информационного обмена для оперативного перенаправления потоков информации в сжатые временны́е интервалы в соответствии с ожидаемым началом применения и планируемым маневром подразделений радиотехнических и зенитных ракетных формирований;

создание и одновременное использование нескольких разнородных (проводных, радиорэлейных, тропосферных, спутниковых, радио-КВ и -УКВ) основных и резервных каналов связи в одном информационном направлении.

Таким образом, инфокоммуникационная сеть формирования противовоздушной обороны представляет собой сложное организационно-техническое объединение сил и средств, основным предназначением которой являются передача и прием команд управления, предоставление должностным лицам органов управления услуг (видов) связи с требуемым качеством, обеспечение информационного взаимодействия КСА в АСУ.

Библиографический список

1. Ермишян, А. Г. Теоретические основы построения систем военной связи в объединениях и соединениях : учебник. Ч. 1. Методологические основы построения организационно-технических систем военной связи / А. Г. Ермишян. – СПб. : ВАС, 2005. – 740 с.

2. Иванов, В. Г. Модель технической основы системы управления специального назначения в едином информационном пространстве на основе конвергентной инфраструктуры системы связи : монография / В. Г. Иванов. – СПб. : Политех-Пресс, 2018. – 214 с.

3. Словарь войск связи Вооруженных Сил Российской Федерации. – М. : Воениздат, 2008. – 216 с.

ПОСТРОЕНИЕ ИНФОКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОТИВОВОЗДУШНОЙ ОБОРОНЫ НА ОСНОВЕ НЕОДНОРОДНОЙ ТОРОИДАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ

К. С. Баев, В. А. Дьяченко

ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Россия
(e-mail: vaiu@mil.ru)

Формирование противовоздушной обороны в системе воздушно-космической обороны страны обеспечивает прикрытие от ударов с воздуха наиболее важных направлений, районов и объектов, а также объектов и группировок Вооруженных сил. Задачи выполняются путем уничтожения средств воздушного нападения противника при их полете к обороняемым объектам.

Важность задач, решаемых формированием противовоздушной обороны, предъявляет достаточно высокие требования к технической основе системы управления – системе связи, и в первую очередь, к устойчивому функционированию и производительности ее функциональной основы инфокоммуникационной сети.

Однако в условиях высокой динамики действий, массированного применения высокотехнологических образцов вооружения инфокоммуникационная сеть не обладает устойчивостью и не обеспечивает управление силами и средствами формирования противовоздушной обороны с требуемым качеством. Актуальным является вопрос обеспечения устойчивости инфокоммуникационной сети.

Для обеспечения требуемой устойчивости инфокоммуникационную сеть формирования противовоздушной обороны предлагается строить на основе неоднородной тороидальной структуры.

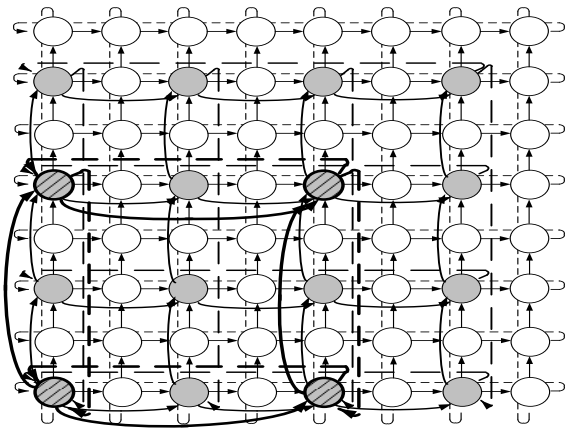


Рис. 1. Вариант ИКС с неоднородной тороидальной структурой

Представленная сеть состоит из трех взаимосвязанных (вложенных) тороидальных однородных структур, образованных узлами коммутации различного типа.

В первую подсеть могут входить узлы коммутации вышестоящих пунктов управления на рассматриваемой территории, связанные каналами с максимально возможными производительностями и максимальным расстоянием между соседними узлами (рис. 2).

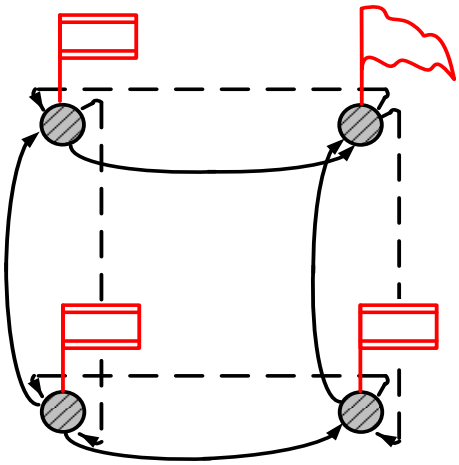


Рис. 2. Вариант первой подсети

Вторая подсеть образована узлами коммутации первой подсети и узлами коммутации пунктов управления формирований, дислоцированных (базируемых) на данной территории, связанными каналами связи меньшей производительности, чем в первой подсети, при этом расстояние между соседними узлами вдвое меньше данного расстояния первой подсети (рис. 3).

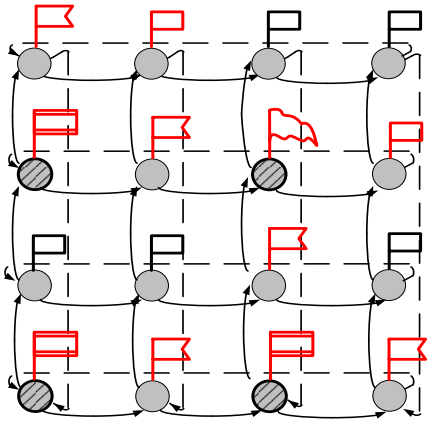


Рис. 3. Вариант второй подсети

В третью подсеть, помимо первой и второй подсетей, входят узлы коммутации пунктов управления формирований и подразделений, связанные низкоскоростными каналами связи, при этом расстояние между соседними узлами минимально (рис. 4).

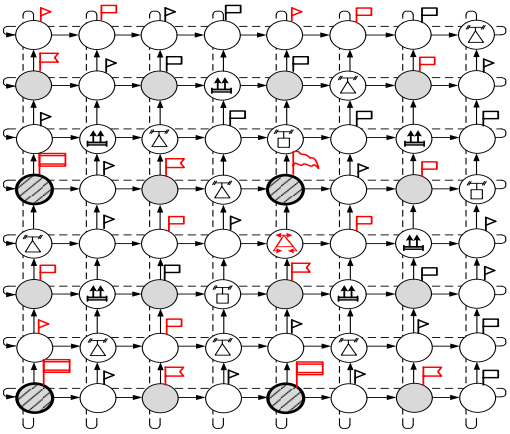


Рис. 4. Вариант третьей подсети

Тип каждого узла коммутации зависит от состава используемой аппаратуры и производительности подключенных каналов связи. Так же тип узла коммутации определяется положением в структуре и степенью вершины (количеством линий связи инцидентных узлу).

Таким образом, переход структуры инфокоммуникационной сети формирования от иерархической к неоднородной тороидальной ведет к улучшению всех показателей функционирования инфокоммуникационной сети. Построение инфокоммуникационной сети формирования на основе неоднородной тороидальной структуры обеспечивает ее устойчивость как за счет повышения живучести путем создания избыточности, так и за счет более рационального распределения потоков информации, что в конечном итоге позволяет поддерживать эффективность управления силами и средствами формирования.

Библиографический список

1. Ермишян, А. Г. Теоретические основы построения систем военной связи в объединениях и соединениях : учебник. Ч. 1. Методологиские основы построения организационно-технических систем военной связи / А. Г. Ермишян. – СПб. : ВАС, 2005. – 740 с.

2. Иванов, В. Г. Модель технической основы системы управления специального назначения в едином информационном пространстве на основе конвергентной инфраструктуры системы связи : монография / В. Г. Иванов. – СПб. : Политех-Пресс, 2018. – 214 с.

3. Словарь войск связи Вооруженных Сил Российской Федерации. – М. : Воениздат, 2008. – 216 с.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ САПР VLSI ELECTRIC DESIGN SYSTEM В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Д. А. Бардин, Р. Д. Хабибуллин

Ижевский государственный технический университет
имени М. Т. Калашникова, Россия, Ижевск
(e-mail: bardin.danil@mail.ru)

С развитием техники при обучении стали использоваться программные продукты для повышения качества обучения. В области радиоэлектроники это позволяет моделировать виртуальные схемы, что улучшает наглядность, позволяет моделировать схемы без затрат на физические макеты, так как в некоторых случаях это может потребовать больших затрат.

Electric VLSI Design System – это программный продукт, используемый для разработки электрических схем и проектирования топологии печатных и интегральных схем. С помощью этой программы можно проектировать интегральные МОП и биполярные схемы. В Electric VLSI используются несколько стилей редактирования, среди которых схемотехника, иллюстрации (построение условных графических обозначений) и архитектурное проектирование. Данная программа является бесплатной и находится в свободном доступе.

Electric VLSI имеет удобный пользовательский интерфейс (рис. 1). Одна САПР-система с единым интерфейсом может использоваться как для создания топологий, так и для моделирования электрических схем.

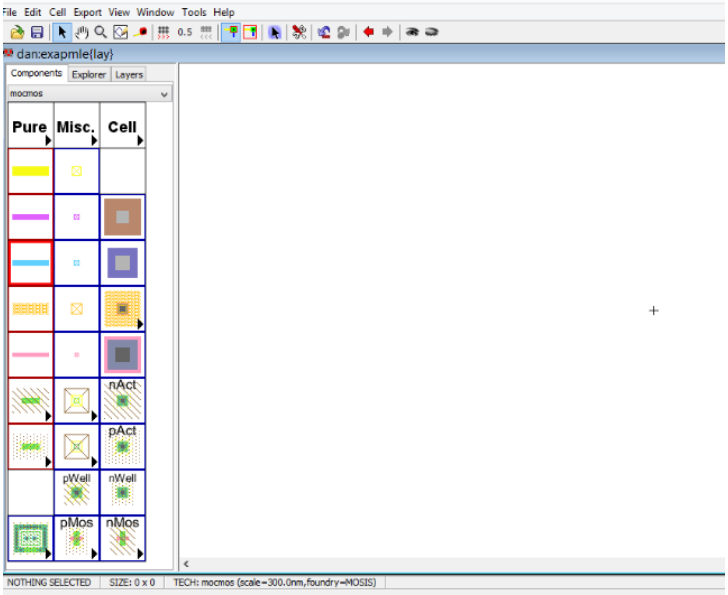


Рис. 1. Интерфейс программы

К преимуществам данной САПР следует отнести режим Layout, который позволяет визуализировать внешний вид элементов, редактировать их габариты и анализировать, как это влияет на выходные характеристики. Кроме того, имеется режим 3D вида элементов, улучшающий наглядность.

Для моделирования необходимо установить программу, создать новый проект. Далее в режиме Layout разместим транзистор из боковой панели, добавим металлизированные дорожки, обозначим внешние выводы (рис. 2). Так же необходимо добавить SPICE-код, который задает сигналы, подающиеся на выводы. При моделировании используется программа LTspice. Результаты моделирования показаны на рис. 3

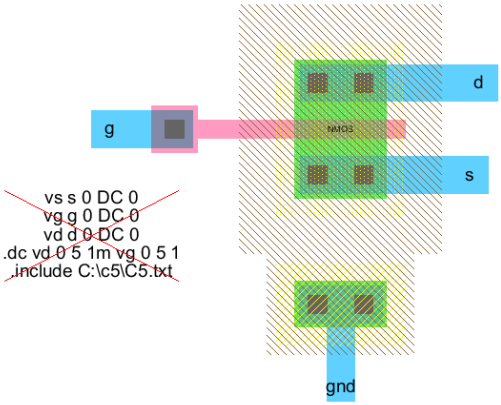


Рис. 2. Моделирование транзистора в режиме редактирования Layout

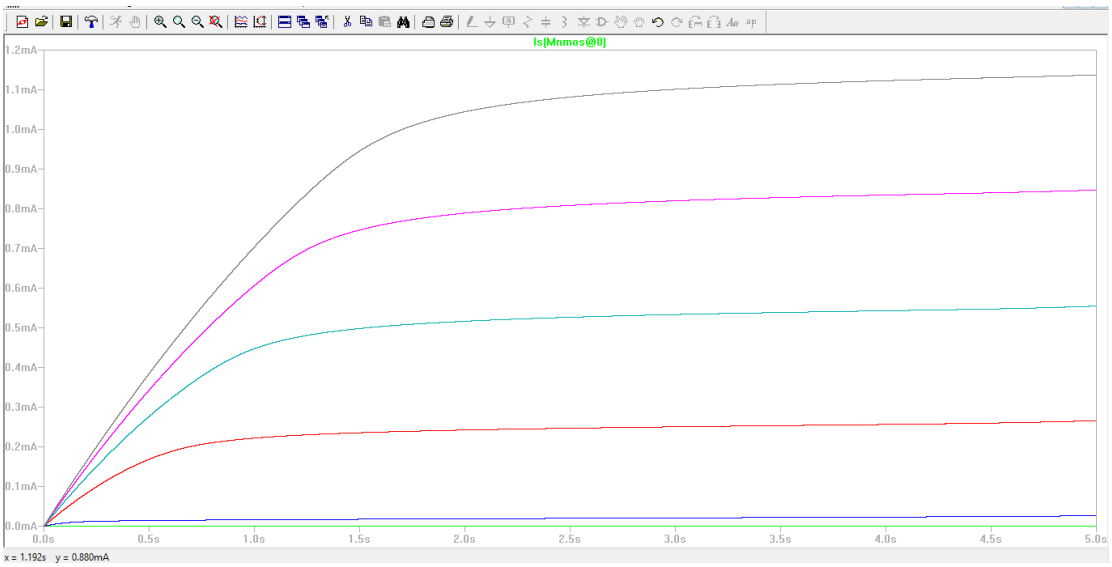


Рис. 3. Результаты моделирования в программе LTspice

Из недостатков системы следует выделить недостатки топологического проектирования, основанного на связанности. Пользователи, которым хорошо знакома геометрическая компоновка, обычно обучаются дольше и тяжелее.

Также есть проблема поиска информации по данной программе, скудное количество и наполненность библиотек элементов. Программа не русифицирована.

В связи с недостатком информации по этой программе, для применения в учебном процессе необходимо изучение данной программы и составление методических указаний. Это позволит использовать данную САПР в лабораторных работах по изучению конструкций микросхем, так как программа позволяет изучить внешний вид компонентов и топологию микросхемы.

Библиографический список

1. Steven, M. Rubin. Computer Aids for VLSI Design / Steven M. Rubin. – Изд. 3-е. – Portola Valley : R.L. Ranch Press, 2017. – 320 с.

2. LTspice: компьютерное моделирование электронных схем. – СПб. : БХВ-Петербург, 2010. – 400 с.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ И УЗЛОВ ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ РАДИОСИСТЕМ НА ПЕРЕКЛЮЧАЕМЫХ КОНДЕНСАТОРАХ

А. П. Бесшапошникова, К. А. Клочков, А. В. Печаткин

Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П. А. Соловьева

(e-mail: b_nastay@mail.ru, rts-avp@yandex.ru)

Программируемые аналоговые интегральные электронные схемы (ПАИС) представлены на мировом рынке программируемыми матрицами и аналоговыми процессорами. Несмотря на крайне малый ассортимент, такая элементная база находит все большее распространение в современных и перспективных разработках, ориентированных на оперативную аппаратную реконфигурацию оборудования и адаптацию к требованиям эффективной обработки сигнала в программно-определяемых радиосистемах. Примечательна возможность проведения реконфигурирования в течение одного цикла управления без отключения электропитания интегральной схемы.

Практика проектирования показывает необходимость взаимной интеграции аналоговых и цифровых схемотехнических решений, особенно, в области обработки непрерывных сигналов и создания гибридных программируемых систем [1].

Для практического проектирования электронных устройств на базе ПАИС используется специализированное программное обеспечение, например, AnadigmDesigner. Однако, несмотря на свою функциональность, данная САПР имеет и ограничения, снижающие эффективность проектирования и приводящая к ошибкам и недочетам. В частности, одним из таких ограничений является возможность работы только во временно́й области, ограничиваясь лишь наблюдением осциллограмм сигналов, без возможности построения и анализа спектров и построения АЧХ и ФЧХ [2].

Развитие и использование ПАИС в сложнофункциональных узлах и блоках открывает новые перспективы в электронике. Однако остается нерешенной задача профессиональной подготовки специалистов в этой области. Различие между базисами ПЛИС и ПАИС затрудняет комплексную интеграцию эффективных гибридных решений и приводит к усложнению проектирования подобных систем.

Как уже отмечалось выше, автоматизированное проектирование схем на переключаемых конденсаторах в среде специализированных САПР имеет ряд существенных ограничений для проведения анализа в частотной области. Для устранения этих недостатков, а также для возможности подробного изучения принципов и особенностей функционирования дискретно-аналоговых электронных устройств при реализации практико-ориентированного образования, студентами кафедры РТС создается библиотека функционально-параметрических моделей элементов, узлов и структур на коммутируемых конденсаторах и элементов управления коммутацией [3].

Функционально-параметрические модели построены по принципу современных технологий объектно-ориентированного программирования, свойственных языкам высокого уровня, и так же как и создаваемые на их основе программируемые аналоговые узлы, соответствуют четырем основным требованиям: абстракция, наследование, полиморфизм и инкапсуляция.

Создаваемая библиотека функционально-параметрических моделей ориентирована на использование в составе широко распространенного схемотехнического PSpice симулятора MicroCAP. Реализация моделей основана на использовании субструктур, использующих макросы, математическое описание и стандартные пассивные и активные компоненты. Специализированные САПР не способны проводить компьютерную симуляцию и анализ устройств на основе переключаемых конденсаторов в частотной области и не способны строить спектры. Для использования инструментов САПР в частотной области дис-

кретно-аналоговое устройство «теневым образом» заменяется на непрерывно-аналоговое путем программной коммутации, доступной для внешнего управления, с сохранением своих свойств и функций. Внешний законченный вид функциональных узлов выполняется в соответствии с требованиями условно-графических изображений с помощью встроенного в САПР графического редактора.

В настоящее время студентами кафедры РТС в рамках создаваемого для нового направления подготовки лабораторного практикума по программно-определяемым радиосистемам разработаны библиотечные элемента таких широко распространенных узлов, как инверсный и неверный усилители, дифференциатор, интегратор. За схемотехническую основу предполагается взять как коммутируемые аналоговые модули, реализованные в среде проектирования AnadigmDesigner, предназначенной для разработки устройств на ПАИС, так и реализованные самостоятельно по типовым известным схемам. Базовые функциональные структуры дискретно-аналоговых узлов, используемых для формирования «цифровых двойников», отражены на рис. 1.

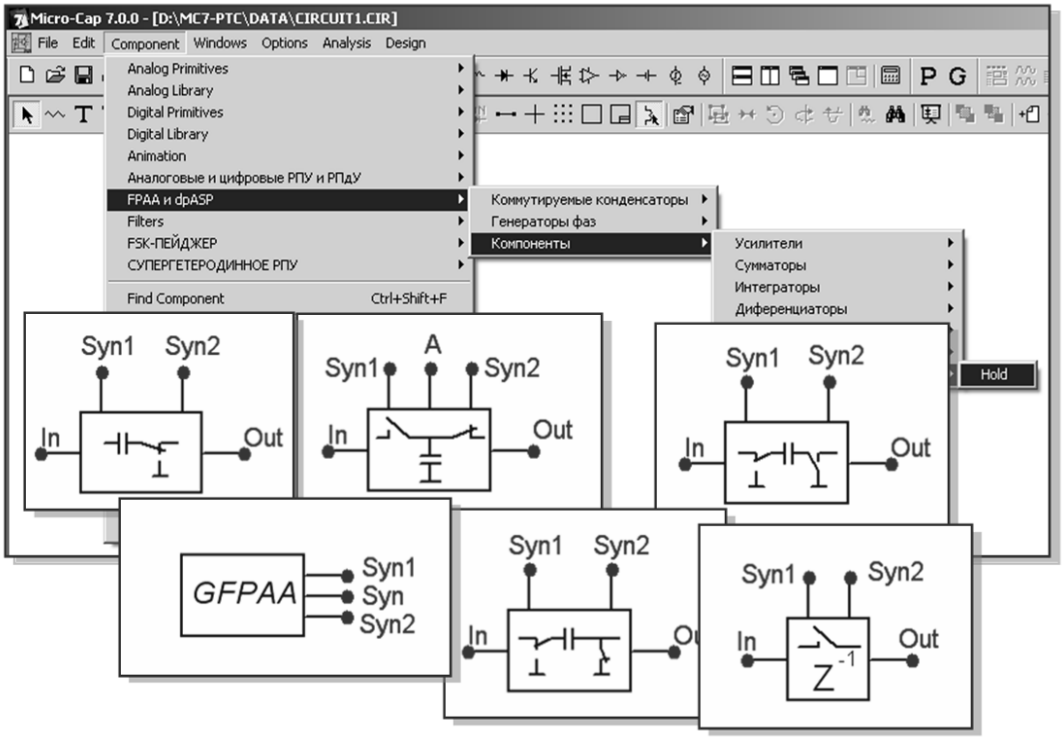


Рис. 1. Примеры реализации библиотечных функционально-параметрических элементов ПАИС

На рисунке 2 показан фрагмент компьютерной модели дискретно-амплитудного интегратора первого рода с программируемой частотой среза и регулируемым сопротивлением для однотонового и двутонового сигналов [2].

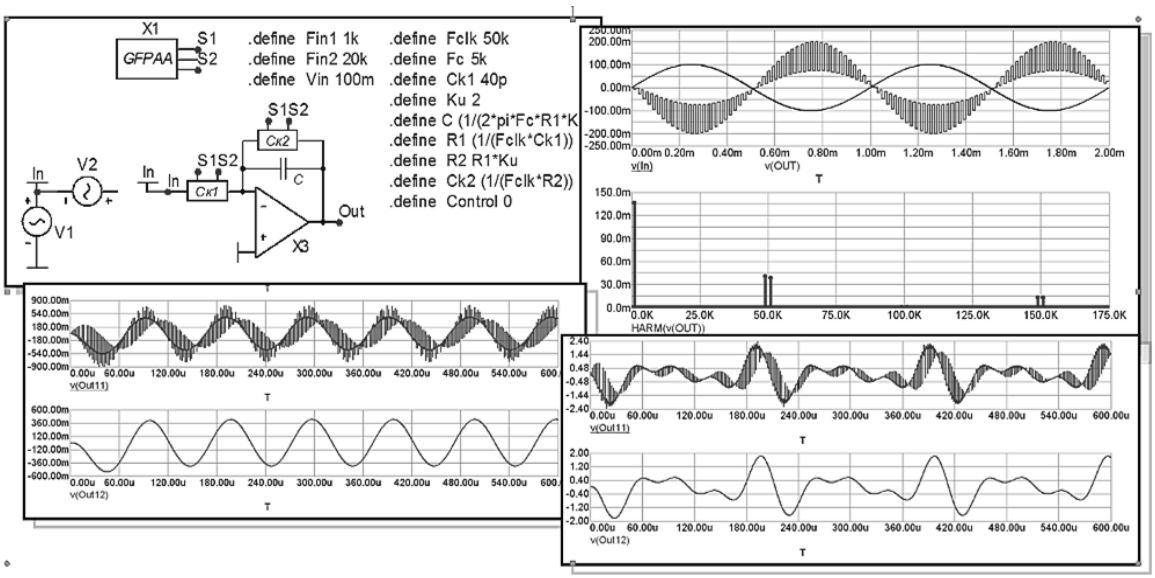


Рис. 2. Примеры реализации библиотечных функционально-параметрических элементов ПАИС

Благодаря встроенному непрерывному эквиваленту модель позволяет построить и провести анализ АЧХ и спектра входного и выходного сигналов, выбрать оптимальный вариант реализации и управления коммутацией конденсаторов для исключения зашумления промежуточной обработки.

Создание, развитие и практическое применение библиотеки функционально-параметрических компонентов, использующих переключаемые конденсаторы, совместно с использованием инструментов временного, частотного и спектрального анализа САПР на платформе PSpice, позволяет не только сформировать у студентов необходимый уровень знаний, умений и навыков, но и более осмысленно подойти к проектированию программируемых и реконфигурируемых дискретно-аналоговых устройств и систем.

В настоящее время СКБ кафедры РТС работает над задачей группового управления нескольких программируемых блоков на переключаемых конденсаторах с помощью независимых многофазовых генераторов, а также и над вопросами использования противофазного управления несколькими конденсаторами в пределах одного функционального блока. Эти задачи нетривиальны и не решены даже в специально созданной компанией-производителем САПР AnadigmDesigner.

Библиографический список

1. Сахарчук, В. В. Адаптация PSpice-симуляторов для моделирования реконфигурируемых адаптивных электронных узлов на переключаемых конденсаторах / В. В. Сахарчук, Е. А. Ильин, А. В. Печаткин // Радиоэлектроника.

Проблемы и перспективы развития, посвященной Дню радио и связи : материалы IV Всероссийской молодежной научной конференции. – Тамбов : ФГБОУ «ТГТУ», 2019. – С. 44 – 47.

2. Виноградов, В. В. Вариант реализации программируемого интегрирующего усилителя на базе операционного усилителя и коммутируемых конденсаторов / В. В. Виноградов, М. П. Скворцов, А. В. Печаткин // Гагаринские чтения. XLVI ММНК. МАИ. – М., 2020. – С. 369 – 370.

3. Сахарчук, В. В. Библиотека PSpice моделей для моделирования электронных устройств на базе переключаемых конденсаторов / В. В. Сахарчук, Е. А. Ильин, А. В. Печаткин // XV Королевские чтения, посвященной 100-летию со дня рождения Д. И. Козлова : сборник трудов Международной молодежной научной конференции. – Самара : СНИУ им. С. П. Королева. – 2019. – С. 493 – 464.

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИНТЕРАКТИВНЫХ КАРТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ

С. С. Ващенко, И. В. Тюрин, В. В. Помещиков

Тамбовский государственный технический университет,
Тамбов, Россия
(e-mail: vashhenko98@list.ru, tyrinilja@yandex.ru, v.pomeschikov@yandex.ru)

В настоящее время вопрос использования информационных систем весьма актуален. При проектировании различных гелиосистем для обеспечения горячего водоснабжения и отопления такие геоинформационные системы как, к примеру «Surfer», позволят создать интерактивные карты на основе определенных требуемых параметров, в качестве которых могут выступать значения интенсивности солнечной радиации в какой-то определенной области. Такие карты позволят упростить процесс анализа и разработки различных процессов разной сложности.

Гелиосистема – это совокупность технических устройств, предназначенных для преобразования энергии солнечных лучей в электрическую или тепловую энергию. Их можно разделить на жидкостные и воздушные системы [1].

К примеру, в жидкостной гелиосистеме в качестве теплоносителя используют жидкость (чаще всего, воду или антифриз), а в качестве аккумулирующей

среды – воду. Солнечная радиация падает на солнечные коллекторы плоской формы, в которых преобразуется в тепловую энергию. Энергия аккумулируется в баке накопителе за счет теплоемкости жидкости и используется для обеспечения тепловой нагрузки отопления и горячего водоснабжения. Если коллекторы не дренируют ночью и в пасмурную погоду, то для избегания замерзания в контуре теплоносителя используется раствор антифриза. В этом случае коллектор и аккумулятор обычно разделяют промежуточным жидкостно-жидкостным теплообменником, что более выгодно, чем применение раствора антифриза в качестве аккумулирующей среды.

Для передачи тепла от аккумулятора в здание используют водо-воздушный теплообменник, а от аккумулятора в систему горячего водоснабжения дома – дополнительный водо-водяной теплообменник. Система горячего водоснабжения – бак предварительного нагрева, в котором вода подогревается за счет солнечного тепла и подается затем в обычные водонагреватели. В качестве дублирующего источника энергии используют обычный котел, который обеспечивает отопление в тех случаях, когда запас энергии в баке-аккумуляторе истощается. В комплект оборудования системы солнечного теплоснабжения входят регуляторы, предохранительные клапаны, насосы и трубопроводы [2].

Для эффективной работы гелиосистемы необходимо при ее проектировании проанализировать параметры, которые существенно влияют на работу всей системы. К ним относятся территориальное расположение, размеры здания, интенсивность солнечной радиации в течение года, а также зачади, которые должна решать данная гелиосистема. Для проектирования гелиосистемы в какой-то области необходимо найти оптимальное расположение с достаточной интенсивностью солнца в течение дня. В России расчетные значения суммарной, прямой и рассеянной солнечной радиации принимаются по справочникам [3]. Справочники содержат информацию по часовым, месячным и годовым значениям прямой, рассеянной и суммарной солнечной радиации, продолжительности солнечного сияния для всех регионов России со сроками наблюдения от пяти до 30 лет. Данные справочники потеряли свою актуальность с приходом всемирных баз данных, которые лишены многих недостатков своих бумажных предшественников. К ним можно отнести табличную форму предоставления информации, малое число пунктов наблюдения для сбора данных.

К примеру, всемирная база данных NASA POWER (NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources), которая содержит метеорологические и связанные с солнечной энергией параметры и позволяет получать доступ к ежедневным усредненным данным не только какой-то конкретной точки земного шара но и целой области (рис. 1) [4].

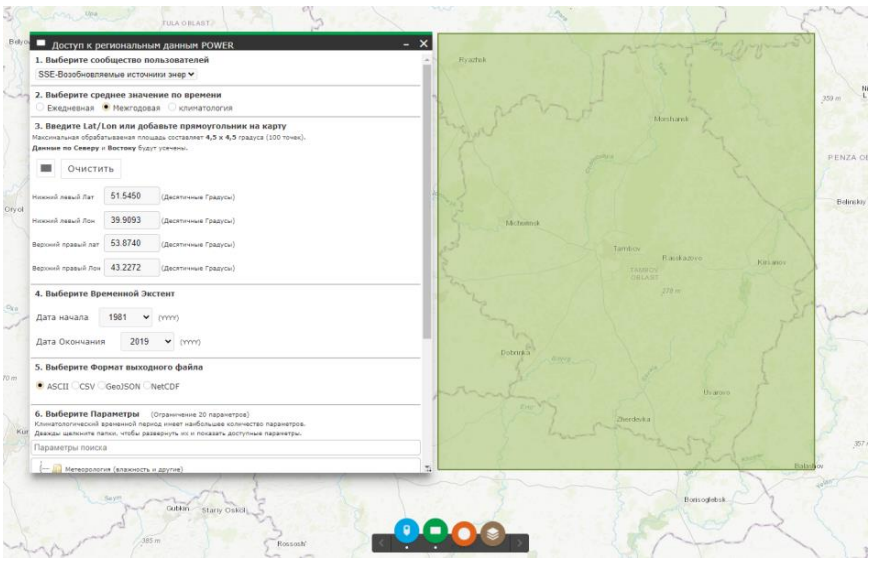


Рис. 1. Карта с выделенной Тамбовской областью

На рисунке 1 показано главное окно базы данных, на которой выделена Тамбовская область. Выбрав нужную область или место, период времени, формат выходных данных и интересующие параметры, платформа предоставляет для скачивания файл, содержащий требуемые показатели. Данная возможность упрощает использование данных для работы в других программах и системах, исключая необходимость переписывания и создания таблиц параметров вручную.

При изучении значений какой-либо области и выбора наиболее подходящего места в этой области, в котором моделируемая гелиосистема будет в лучшей степени реализовывать свою задачу, можно воспользоваться системами для создания интерактивных карт различной сложности.

К примеру, воспользоваться системой «Surfer». Она предназначена для построения растровых моделей на основе полученных данных в различных точках пространства и проведения последующего анализа полученных моделей. Система обширно используется для моделирования различных поверхностей, анализа ландшафта, контурного картографирования, построения сетки, объемных измерений и многого другого [5]. Настроить вид карты можно в диалоговом окне свойств объекта (рис. 2).

Используя параметры, полученные из всемирной базы данных NASA POWER с помощью системы «Surfer»? создать интерактивную карту интенсивности солнечной радиации рассматриваемой области и в определенный промежуток времени. Полученная карта позволит наглядно проанализировать и изучить выбранную область для выбора оптимального места реализации проектируемой гелиосистемы солнечного отопления и горячего водоснабжения.

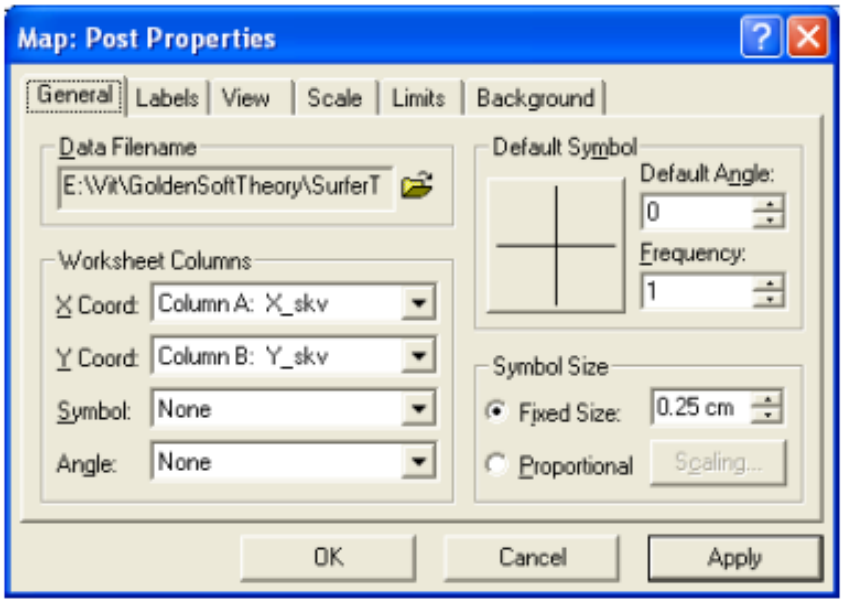


Рис. 2. Диалоговое окно настройки вида карты

Таким образом, благодаря интерактивным картам анализ и проектирование систем альтернативной электроэнергетики становятся доступнее и проще.

Библиографический список

1. Тюрин, И. В. Идентификация модели интенсивности солнечной радиации для проектирования гелиосистем горячего водоснабжения комбинированным методом / И. В. Тюрин // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2010. – № 10. – С. 55 – 57.

2. Бекман, У. Расчет системы солнечного теплоснабжения / У. Бекман, С. Клейн, Дж. Даффи ; пер. с англ. – М. : Энергоиздат, 1982. – 80 с.

3. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Ч. 1. Вып. 13. Солнечная радиация и солнечное сияние. – Л. : Гидрометеоиздат, 1990.

4. Официальный сайт NASA “POWER Data Access Viewer” [Электронный ресурс]. – URL : https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer (дата обращения: 20.04.2021).

5. Силкин, К. Ю. Геоинформационная система Golden Software Surfer / К. Ю. Силкин. – Воронеж : ВГУ, 2008. – 66 с.

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОНЦЕПЦИИ TMN В УПРАВЛЕНИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫМИ СЕТЯМИ

Л. Б. Гоберкорн, Н. Г. Чернышов, Д. С. Гурин, И. О. Шибирина

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

Сеть управления телекоммуникациями (TMN – Telecommunications Management Network) определяется системой стандартов на эту сеть. Термин «управление сетью» в начале 1980-х годов означал поддержание правильного функционирования и техническое обслуживание телекоммуникационных сетей. Поддержание правильного функционирования – это обеспечение выполнения основных задач, поставленных телекоммуникационной сетью, в нормальных условиях и в ситуациях, когда меняются характеристики сети. Техническое обслуживание подразумевает работу по восстановлению работоспособности, когда нарушается работа элементов, входящих в саму телекоммуникационную сеть (отказы оборудования или программы). При этом применяется комплекс мер, включающий оперативную диагностику для выявления места повреждения и проведение работ по устранению неисправностей. Однако существенное развитие этих функций в последние годы привело к расширению области использования термина «управление сетью». Поэтому система управления сетью должна быть адаптируема к различным техническим средствам и технологиям приема, передачи и коммутации [1 – 8].

На сетях связи в настоящее время работают крупные компании, поставляющие оборудование, и другие компании, обеспечивающие различные услуги связи. Они отличаются по поставляемому фирмой оборудованию и по предоставляемым видам услуг.

Отличаются между собой предоставляемые компаниями услуги междугородней и подвижной сетей, услуги передачи данных, широкополосного телевидения и пр. Оптимальный путь повышения эффективности затрат на внедрение и использование сетей – стандарты, типовые интерфейсы и рекомендации по функционированию.

Поэтому система управления сетью должна быть приспособлена к работе в сети, содержащей разнородное оборудование и предоставляющей различающиеся услуги.

Средства передачи и обработки и защиты информации в телекоммуникационных сетях имеют важнейшее значение для государства, крупных корпораций, обороны и других отраслей развития. Поэтому стабильность работы сети

связи требует огромных затрат ресурсов на ее обеспечение в современном обществе.

Очень важно обеспечить надежность сети, устойчивость к отказам, гибкое и оперативное управление ресурсами телекоммуникационной сетью. Кроме этого, потоки информации и передачи данных все больше становятся интернациональными.

Это требует определения стандартов технического обслуживания и управления в международных масштабах.

Основные положения системы TMN разрабатывались многими организациями, но главные правила и основные положения, используемые в сетях, являются рекомендациями следующих организаций: Международная организация стандартов (ISO – International Standards Organization, ИСО), Сектор стандартизации электросвязи Международного союза электросвязи (ITU – International Telecommunications Union – Telecommunication Standardization), Американский национальный институт стандартов (ANSI – American National Standards Institute), ETSI (European Telecommunication Standards Institute – Европейский институт стандартов электросвязи).

Концепция TMN охватывает сетевые элементы (NE) – компьютеры, базы данных, терминалы, сети связи и системы по поддержанию функционирования (OSS). Она связывает их в структуру, архитектуру, организация которой обеспечивает взаимосвязь различных типов сетевых элементов и систем поддержки функционирования сети. TMN также описывает стандартизированные интерфейсы и протоколы, используемые для обмена информацией между ними, а также функциональные возможности, необходимые для управления сетью.

Объектами управления в модели TMN служат:

Сетевой элемент – NE (Network Element) и Система поддержки функционирования – OSS (Operations Support Systems).

Сетевой элемент – аппаратурная единица оборудования сети, управляемая в TMN. Это могут быть и простые, и очень сложные, и «интеллектуально продвинутые» сетевые элементы, как, например, станции с программным управлением, с собственной системой поддержки функционирования и технического обслуживания. Они обеспечивают непрерывное наблюдение за своей работой, инициируют аппаратную и программную автоматические обработки сигнала аварии и содержат избыточное оборудование. Когда возникает отказ, автоматически включается диагностика, которая может определить характер ошибки, блокировать дефектный модуль и связанное с ним оборудование.

Как противоположность сетевому элементу «станция» мы можем привести другой NE – «регенератор», который является наименьшей единицей в сети цифровой передачи сигналов. Число регенераторов на сети огромно, но они не содержат большого числа элементов и подсистем обслуживания. Эти простые модули могут вызвать серьезную аварию в случае ошибки [5].

Эти два примера сетевых элементов представляют два полюса – наиболее управляемые объекты (телефонная станция) и наименее управляемые (регенератор). Диапазон между ними включает много других типов сетевых элементов.

Второй тип объектов управления TMN – OSS (системы поддержки функционирования).

Этот термин определяет процедуры (не только автоматизированные, но и, возможно, выполняемые вручную), которые направлены на подержание функционирования сети. Это могут быть системы:

– обмена с имеющимся оборудованием управления NE;
– установления порядка обработки аварийных сообщений;
– инициирования процедур в NE;
– диспетчирования и ведения очередей на обработку.

Сетевые элементы (NE) и системы поддержки функционирования связываются между собой с помощью Q-интерфейса, который определен в виде двух частей:

– информационной модели и
– протоколов связи.

Потребность в использовании телекоммуникационных сетей ставит огромный спектр задач по управлению ими.

Основными задачами системы управления связью являются задачи обеспечения функционирования сетей на протяжении всего жизненного цикла, включая задачи ввода в эксплуатацию сетей (планирование, создание баз данных, установка оборудования) и в процессе эксплуатации (техническое обслуживание, восстановление связей, управление трафиком, контроль качества), а также задачи развития (прогнозирование трафика, модернизация сетей).

Библиографический список

1. Approximation of distribution law of experimental test data to assess reliability of information-measuring and control systems / Yu. T. Zyryanov, I. G. Ryazanov, A. Yu. Naumova et al. // Journal of Physics: Conference Series. XIII International Scientific and Technical Conference “Applied Mechanics and Systems Dynamics”. – 2020. – C 1441:012081., pp 1-8. doi:10.1088/1742-6596/1441/1/012081

2. Application of Generalized Distribution Laws for the Reliability Assessment of Information and Measuring Systems of Energy Saving Control / Y. T. Zyryanov, N. G. Chernyshov, I. G. Ryazanov et al. // IOP Conf. Series: Journal of Physics : Conf. Series 1172 (2019) 012108, 2019, March, Vol. 1172, No. 1. doi:10.1088/1742-6596/1172/1/012108

3. Белоусов, О. А. Применение алгоритмов нечеткой логики в системе управления диаграммообразующим устройством гибридной зеркальной антенны / О. А. Белоусов, Е. В. Рязанов, А. С. Колмыкова, А. И. Дякин // Программные продукты и системы. – 2018. – Т. 31, № 4. – С. 757 – 762 DOI: 10.15827/0236-235X.031

4. Построение сверхширокополосных излучателей с применением интегрированных печатных волноводов телевидения / А. С. Колмыкова, О. А. Белоусов, Р. Ю. Колмыков, А. И. Дякин // Вопросы современной науки и практики. университет им. В. И. Вернадского. – 2017. – № 4(66). – С. 214 – 220.

5. Selivanova, Z. M. Modelling of intelligent information measuring system to control hermophysical properties of materials and products / Z. M. Selivanova, D. S. Kurenkov, T. A. Hoang // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1278. Pp. 012040. DOI:10.1088/1742-6596/1278/1/012040

6. Селиванова, З. М. Интеллектуальная информационно-измерительная система дистанционного контроля качественных параметров теплоизоляционных материалов в условиях воздействия дестабилизирующих факторов / З. М. Селиванова, Д. С. Куренков // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2020. – Т. 26, № 1. – С. 6 – 19. DOI: 10.17277/vestnik.2020.01.pp.006-019

7. Metrological Analysis of Analog-To-Digital Conversion Measurement Procedure in Information-Measuring and Control Systems / R. Yu. Kurnosov, T. I. Chernyshova, V. N. Chernyshov, M. A. Kamenskaya // Proceedings – 2020 2nd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2020, 2020, pp. 61–64, 9280766

8. Improving Metrological Reliability of InformationMeasuring Systems Using Mathematical Modeling of Their Metrological Characteristics / R. Yu. Kurnosov, T. I. Chernyshova, V. N. Chernyshov // International Conference Information Technologies in Business and Industry 2018IOP Conf. Series : Journal of Physics: Conf. Series 1015 (2018) 032077 doi:10.1088/1742-6596/1015/3/032077.

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ОПЛАТЫ В ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКЕ

Д. С. Гурин, И. О. Шибирина, Л. Б. Гоберкорн

Тамбовский государственный технический университет
(e-mail: kurtkobejn35@gmail.com)

На сегодняшний день остро стоит вопрос о повсеместной организации бесконтактных систем оплаты различных товаров и услуг в связи с эпидемиологической обстановкой, изменившей многие привычные нам отрасли. Нами предложена следующая концепция автоматизации способов бесконтактной оплаты.

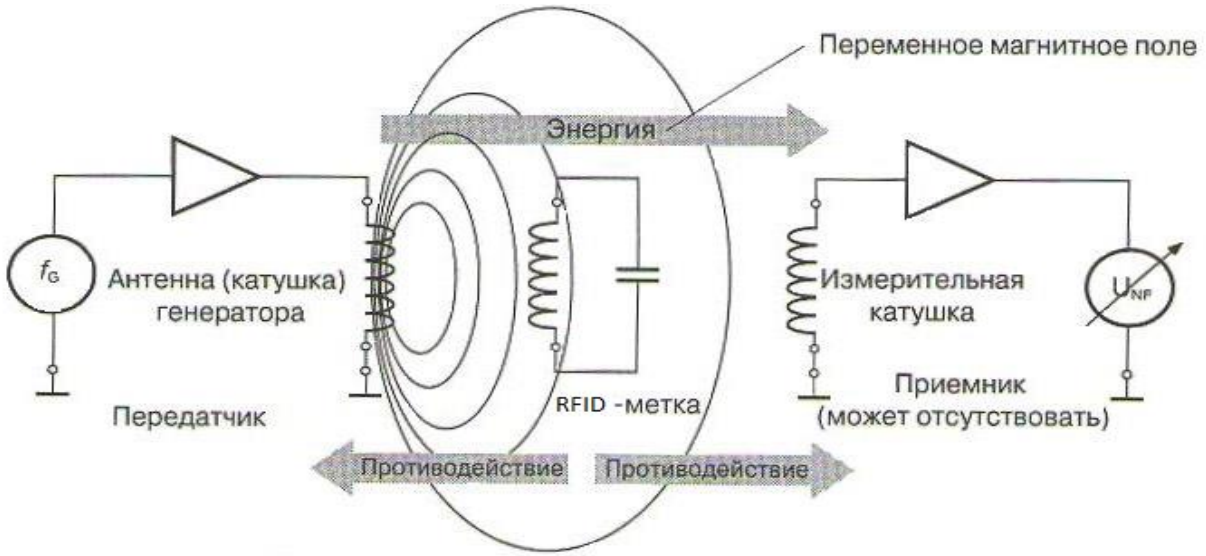


Рис. 1. Схема работы рамок-считывателей

На рисунке 1 представлена схема порталов-считывателей, подобных тем, что есть в магазинах для предотвращения краж. Ворота включают антенну и приемник. Антенна отправляет на приемник сигнал определенной частоты, и создается зона обнаружения. Если в эту зону внести предмет, содержащий специальную RFID-метку, она определенным образом искажает сигнал. Приемник улавливает это и отправляет команду, которая активирует систему. Метки СВЧ-диапазона передают сигнал методом модуляции нагрузки сигнала несущей частоты [3 – 5]. Каждая метка имеет уникальный идентификационный номер. Ворота экранируют, чтобы уменьшить количество ложных срабатываний.

RFID (англ. Radio Frequency IDentification, радиочастотная идентификация) – способ автоматической идентификации объектов, в котором посредством радиосигналов считываются или записываются данные, хранящиеся

в так называемых транспондерах, или RFID-метках. Любая RFID-система состоит из считывающего устройства (считыватель, ридер или интеррогатор) и транспондера (он же RFID-метка, иногда также применяется термин RFID-тег). Большинство RFID-меток состоит из двух частей. Первая – интегральная схема (ИС) для хранения и обработки информации, модулирования и демодулирования радиочастотного (RF) сигнала и некоторых других функций. Вторая – антенна для приема и передачи сигнала. Механизм действия системы, предложенной нами следующий.

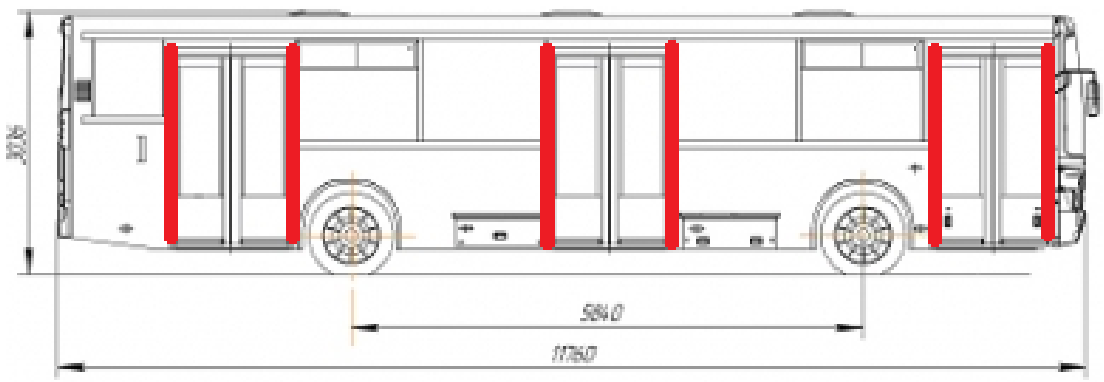


Рис. 2. Расположение портального RFID-считывателя на всех дверях в общественном транспорте

Красным выделены ворота-считыватели (порталы), реагирующие на появление в зоне распространения электромагнитного поля RFID-метки, которая будет внутри транспортной карты. Когда пассажир входит в автобус, ворота дистанционно считывают информацию с транспортной карты, и система автоматически проводит оплату за проезд. При этом необходимость прикладывать карту к терминалу отпадает. Пассивные RFID-метки не имеют встроенного источника энергии. Электрический ток, индуцированный в антенне электромагнитным сигналом от считывателя, обеспечивает достаточную мощность для функционирования интегральной схемы, размещенной в метке, и передачи ответного сигнала [7, 8]. Так же метки могут содержать перезаписываемую энергонезависимую память EEPROM-типа. Сверхвысокочастотные пассивные RFID-чипы, работающие в диапазоне 860…960 МГц (для РФ: 863…868 МГц) относятся к меткам дальнего действия и считывания расстояния до 10 м, со скоростью передачи более 128 кбит/с, имеют защиту от коллизий, наличие металла и влаги не является препятствием для корректного считывания информации, что оптимально для работоспособности, предложенной нами модели.

Библиографический список

1. Approximation of distribution law of experimental test data to assess reliability of information-measuring and control systems / Yu. T. Zyryanov, I. G. Ryazanov, A. Yu. Naumova, D. Yu. Muromtsev, N. G. Chernyshov, E. V. Trapeznikov // Journal of Physics: Conference Series. XIII International Scientific and Technical Conference «Applied Mechanics and Systems Dynamics». – 2020. – C 1441:012081. – P. 1 – 8.

2. Application of Generalized Distribution Laws for the Reliability Assessment of Information and Measuring Systems of Energy Saving Control / Yu. T. Zyryanov, N. G. Chernyshov, I. G. Ryazanov, A. Yu. Naumova, & M. F. Dioumessy // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1172 (2019) 012108, 2019, March. – Vol. 1172, No. 1.

3. Белоусов, О. А. Применение алгоритмов нечеткой логики в системе управления диаграммообразующим устройством гибридной зеркальной антенны / О. А. Белоусов, Е. В. Рязанов, А. С. Колмыкова, А. И. Дякин // Программные продукты и системы. – 2018. – Т. 31, № 4. – С.757 – 762.

4. Построение сверхширокополосных излучателей с применением интегрированных печатных волноводов телевидения / А. С. Колмыкова, О. А. Белоусов, Р. Ю. Колмыков, А. И. Дякин // Вопросы современной науки и практики. университет им. В. И. Вернадского. – 2017. – № 4(66). – С. 214

5. Selivanova, Z. M. Modelling of intelligent information measuring system to control hermophysical properties of materials and products / Z. M. Selivanova, D. S. Kurenkov, T. A. Hoang // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1278. – P. 012040.

6. Селиванова, З. М. Интеллектуальная информационно-измерительная система дистанционного контроля качественных параметров теплоизоляционных материалов в условиях воздействия дестабилизирующих факторов / З. М. Селиванова, Д. С. Куренков // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2020. – Т. 26, № 1. – С. 6 – 19.

7. Metrological Ana.lysis of Analog-To-Digital Conversion Measurement Procedure in Information-Measuring and Control Systems / R. Yu. Kurnosov, T. I. Chernyshova, V. N. Chernyshov, M. A. Kamenskaya // Proceedings – 2020 2nd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2020, 2020, pp. 61 – 64, 9280766

8. Kurnosov, R. Yu. Improving Metrological Reliability of InformationMeasuring Systems Using Mathematical Modeling of Their Metrological Characteristics / R. Yu. Kurnosov, T. I. Chernyshova, V. N. Chernyshov // International Conference Information Technologies in Business and Industry 2018IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1015 (2018) 032077.

РЕЖИМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КАНАЛА СВЯЗИ С ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ ПРИ ПОЛУПАССИВНОМ САМОНАВЕДЕНИИ

Т. Ю. Дорохова, С. В. Толстых

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: tandor81@mail.ru)

Высокие эксплуатационные и функциональные характеристики беспилотных летательных аппаратов различной номенклатуры и назначения прочно вошли во многие сферы деятельности современного общества. Одной из значимых характеристик летательного аппарата является точность самонаведения.

В работе [1] заявлено повышение дальности и точности самонаведения летательных аппаратов полупассивным способом, по сравнению с другими способами самонаведения [2] при излечении радиосигналов целью.

Аппаратура командного радиоканала связи с летательных аппаратов чаще всего работает в режиме OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing – мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов) или в режиме DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum – широкополосная модуляция с прямым расширением спектра). Режим OFDM ориентирован на организацию множественного доступа и достижение максимальной скорости обмена до 29 Мбит/с. Оправданное применение этот режим работы находит в командно-телеметрических линиях связи, когда есть необходимость передачи большого объема информации по обратному каналу связи в виде фотоснимков, видеоизображений, измерительной информации и т.д.

Режим DSSS ориентирован на достижение максимальной энергетики радиоканала и дальности связи с ракетой до 300 км. Кроме того, сигналы в DSSS-режиме широкополосны и обладают значительно меньшим отношением уровня передаваемого сигнала к уровню шума, а, следовательно, имеют более высокую скрытность и помехозащищенность. Направление, связанное с помехозащищенностью каналов связи важного значения, представляет большую перспективу в настоящее время и в будущем и является темой отдельного исследования [3]. В случае командной связной радиолинии носителя зондирующего сигнала и ракеты отсутствует необходимость передачи бóльших объемов информации и предъявляются высокие требования по помехозащищенности и

дальности связи. Следовательно, для реализации ППС более приемлемо функционирование командного радиоканала в режиме DSSS с наиболее низкой скоростью, наибольшей базой сигнала и более высокой чувствительностью.

Выбор рабочего частотного диапазона командного радиоканала связи обуславливается требованиями к массе, габаритам, необходимой дальностью работы при заданной вероятности битовой ошибки. Учитывая слабую информационную загруженность командного радиоканала, набольший приоритет следует отдать в пользу максимальной дальности радиосвязи, что в свою очередь ставит перед необходимостью смещения частотного диапазона в сторону более низких частот для обеспечения меньшего затухания. С другой стороны, данная тенденция ограничивается габаритными размерами хвостовых антенн ракеты.

Материал подготовлен при поддержке РФФИ, грант № 20-08-00091.

Библиографический список

1. Патент 2181869 Российская Федерация, МПК F41G 7/22, F42B 15/01. Способ полупассивного самонаведения управляемых ракет класса «воздух–воздух» с радиолокационной головкой самонаведения / Павлов В. И., Маштак А. А., Зайцев Д. В. ; заявитель и патентообладатель Тамбовский военный авиационный инженерный институт. – № 2000100556/02 ; заявл. 10.01.2000 ; опубл. 27.04.2002, Бюл. № 12. – 3 с.

2. Авиационные системы радиоуправления. Т. 2. Радиолокационные системы самонаведения / под ред. А. И. Канащенкова и В. И. Меркулова. – М. : Радиотехника, 2003. – 390 с.

3. Энергетические соотношения при действии активных помех на радиолокационные информационные системы подвижных объектов / В. И. Павлов, С. В. Артемова, Т. Ю. Дорохова, В. В. Аксенов // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2020. – Т. 26, № 2. – С. 211 – 219.

ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ

О. Н. Ермолаева[1], Т. Ю. Дорохова[2]

[1]Национальный исследовательский университет ИТМО (Университет ИТМО), Санкт-Петербург, Россия
(e-mail: eon6868@yandex.ru)
[2]Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: tandor81@mail.ru)

На сегодняшний момент самой сложной, с технической и организационной точки зрения, продукцией, выпускаемой российской промышленностью, являются авиационные газотурбинные двигатели, предназначенные для вертолетов и самолетов как гражданского, так и военного назначения, работающие в экстремальных условиях. В настоящее время их производством занимаются всего шесть стран мира: США, Канада, Франция, Великобритания, Россия и Украина.

Российская Объединенная двигателестроительная корпорация (ОДК) является ведущим разработчиком газотурбинных двигателей полного цикла (от осевой линии до сертификации). Первоочередной задачей, стоящей перед российскими предприятиями ОДК, в частности перед заводом АО «ОДК-Климов» г. Санкт-Петербург, стало импортозамещение продукции украинской компании «Мотор-Сич».

Завод занимается разработкой, производством и сервисным обслуживанием турбовальных двигателей для вертолетов, а также турбореактивных двигателей для истребительной авиации. Авиационная техника, производимая на заводе, эксплуатируется более чем в 80 странах мира, двигатели установлены на 85% отечественных вертолетов; моторы используют вертолеты Ми-8, Ми-14, Ми-24 и др.

Высокие эксплуатационные и функциональные характеристики летательных аппаратов различной номенклатуры и назначения прочно вошли во многие сферы деятельности современного общества. Одной из значимых характеристик при производстве двигателей для летательных аппаратов является точность и качество его изготовления.

В Санкт-Петербурге на предприятии АО «ОДК-Климов» изготовляются цифровые системы автоматического управления двигателей типа БАРК, являющиеся электронной частью системы автоматического управления (САУ).

БАРК имеет двухмодульную структуру. Первый модуль запускает двигатель, автоматическую противопомпажную защиту (АПЗ), управление расходом топлива в основную камеру сгорания и форсажную камеру, управление соплом двигателя, управление включением форсажа. Второй модуль осуществляет контроль силовой установки, подсчет наработки двигателя на различных режимах, накопление параметрической информации в энергонезависимой памяти, обмен с бортовыми системами и информационно-диагностическим комплексом (ИДК). Система встроенного самоконтроля БАРК проверяет целостность программного кода и данных, величины напряжений питания, датчиков, исполнительных механизмов и другие параметры.

Цифровые системы автоматического управления БАРК осуществляют функции как управления, так и контроля, позволяют за счет применения специальных алгоритмов и технических решений повысить надежность двигателей, снизить расход топлива и уменьшить общую массу конструкции. Блоки БАРК позволяют:

- увеличить ресурс горячих частей двигателя;
- увеличить запасы газодинамической устойчивости двигателя на переменных режимах и эволюциях летательного аппарата;
- повысить точность поддержания параметров двигателя и качество управления;
- адаптировать управление двигателем к внешним условиям;
- компенсировать инерционность датчиков, измеряющих контролируемые и регулируемые параметры;
- увеличить глубину контроля двигателя для обеспечения его эксплуатации по техническому состоянию;
- существенно уменьшить массу и объем агрегатов электронной части системы и соединительных кабелей самолета.

Применение цифровых систем автоматического управления в двигателях позволяет повысить надежность, снизить расход топлива и уменьшить массу конструкции. Отличительными особенностями блоков БАРК является их программное обеспечение и схема подключения к объектовым системам, а также применение преимущественно отечественной элементной базы. В качестве перспектив модернизации блоков БАРК стоит отметить применение различных видов аддитивных технологий в процессе изготовления всех видов деталей и сборочных единиц блоков с малой долей традиционных покупных комплектующих, таких как подшипники и агрегаты.

МОДЕЛЬ РЕЛЯЦИОННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ПРОЦЕССОМ ТРАНСПОРТИРОВКИ БИОТОПЛИВА

Н. Ю. Залукаева, А. Н. Грибков

Тамбовский государственный технический университет,
Тамбов, Россия
(e-mail: natashazalukaeva@yandex.ru)

Использование топливных пеллет в системах теплоснабжения является весьма перспективным и быстроразвивающимся направлением энергетики, при этом наблюдается непрерывное и устойчивое увеличение спроса на биотопливо. В условиях постоянного роста количества потребителей топливных пеллет становится весьма актуальной задача их бесперебойного обеспечения энергоресурсами. Решение данной задачи возможно с использованием современных информационных технологий, теории транспортных процессов, теории оптимальных систем и методов искусственного интеллекта.

Разработка и практическое использование информационно-управляющей системы (ИУС) процессом транспортировки биотоплива позволит решать широкий спектр оптимизационных транспортно-логистических задач, связанных с планированием и организацией бесперебойной поставки энергоресурсов, снижением транспортной составляющей в конечной цене биотоплива и т.д. Одним из ключевых компонентов ИУС является база данных, в которой хранится вся необходимая для работы системы информация, а также сохраняются результаты работы всех модулей и подсистем ИУС.

Следует отметить, что наиболее распространенными средами хранения структурированной информации в автоматизированных информационных системах различного назначения (управления, проектирования и др.) являются реляционные базы данных [1], которые позволяют представить информацию о предметной области в виде совокупности взаимосвязанных таблиц. При этом во многих случаях для проектирования баз данных используется модель «сущность–связь».

Рассмотрим более подробно модель базы данных ИУС процессом транспортировки биотоплива от производителей к потребителям. Основными сущностями модели являются «Потребители», «Производители» и «Перевозчики», отражающие непосредственных участников процесса транспортировки.

Основными атрибутами сущности «Потребители» являются: «Наименование»; «Адрес»; «Размер склада», являющийся объемной характеристикой возможности хранения топливных пеллет; «Резервный остаток», значение которого определяет необходимый запас топливных пеллет для обеспечения бесперебойной работы котла в течение заданного временнóго интервала, достаточного для поставки новой партии топлива от производителя.

С сущностью «Потребители» связаны сущности «Остаток пеллет» и «Потребление пеллет». Атрибут «Текущий остаток» сущности «Остаток пеллет» предназначен для хранения значений оставшегося количества топливных пеллет различных видов у потребителей. Атрибуты «Дата» и «Количество» сущности «Потребление пеллет» отвечают за хранение данных о суточном потреблении топливных пеллет с привязкой к конкретной дате.

Сущность «Производители» включает атрибуты: «Наименование», «Адрес», «Размер склада». Связанными сущностями являются «Наличие пеллет» и «Производство пеллет», в которых хранятся данные о текущем остатке пеллет на складе производителя и суточном объеме производства пеллет. Еще одной сущностью, непосредственно относящейся к сущности «Производители», является «Стоимость пеллет», в которой хранятся данные о стоимости пеллет для потребителя, которая может варьироваться в зависимости от вида пеллет, типа их упаковки и объема закупки.

Сущность «Перевозчики» связана с сущностью «Транспорт», в которой имеются следующие атрибуты: «Грузоподъемность» и «Тип транспорта», содержащие информацию о грузоподъемности (в тоннах) и типе необходимого для перевозки пеллет транспортного средства (бортовой, самосвал, манипулятор); «Тариф» – определяющий размер оплаты транспортных услуг за 1 км пробега; «Доступность» – определяющий возможность заказа данного типа транспорта для доставки топливных пеллет.

Помимо рассмотренных, в модели базы данных также имеются сущности «Виды пеллет» и «Журнал поставки». Сущность «Виды пеллет» включает атрибуты, определяющие основные характеристики топливных пеллет («Наименование», «Класс пеллет», «Теплота сгорания», «Влажность», «Зольность»), по которым можно осуществлять подбор вида пеллет, наиболее подходящих конкретному потребителю. Сущность «Журнал поставки» используется для хранения данных о поставках биотоплива от производителей к потребителям.

Рассмотренная модель базы данных ИУС была реализована в программе Microsoft Access (схема данных показана на рис. 1).

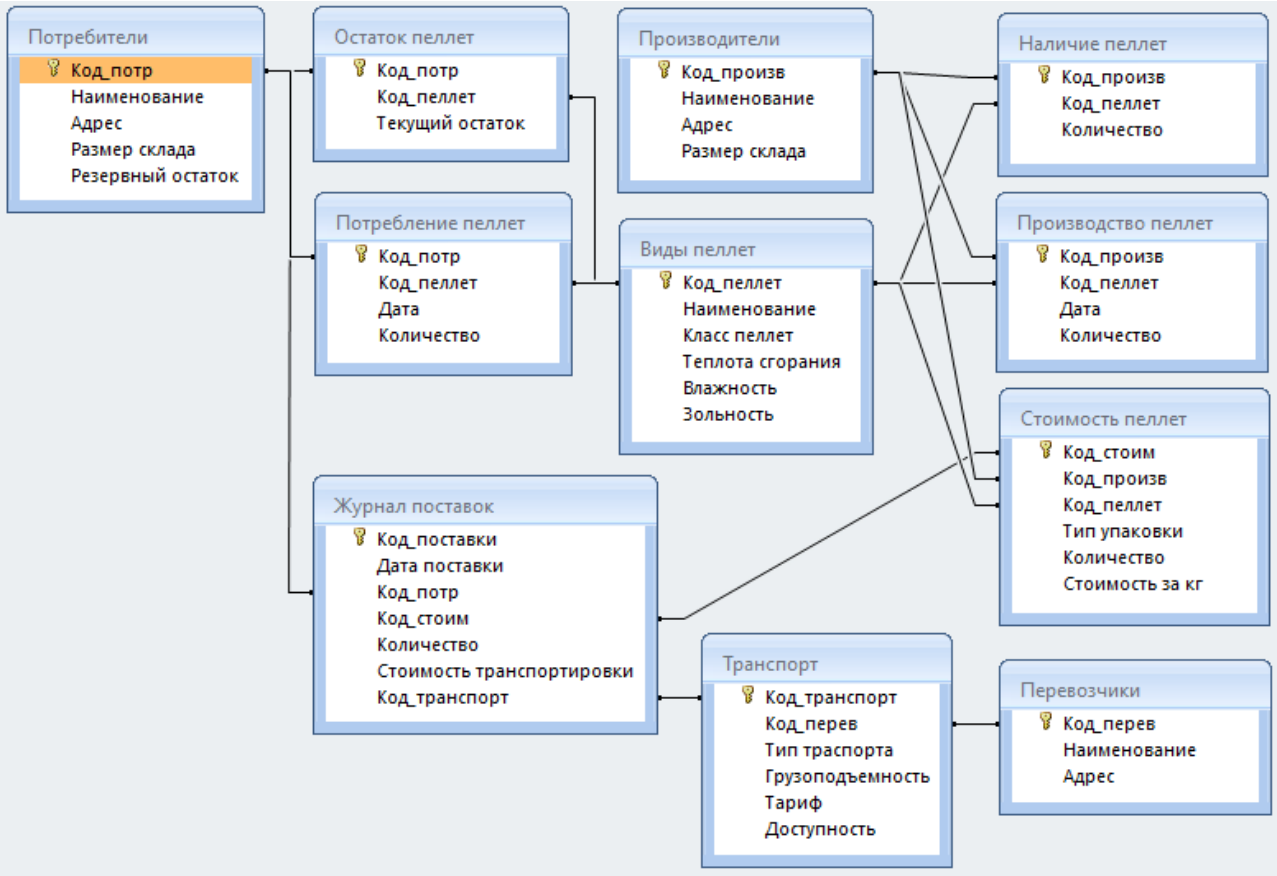


Рис. 1. Схема данных

Практическое использование базы данных в клиент-серверной ИУС процессом транспортировки биотоплива [2], позволит создать единую информационную среду для взаимосвязанной работы всех участников процесса (потребителей, производителей и перевозчиков). При этом разрабатываемая ИУС не только обеспечит непрерывный мониторинг и управление всеми элементами процесса, но и позволит решать множество частных задач, в том числе: поиск производителя пеллет для конкретного потребителя или потребителей пеллет для конкретного производителя; прогнозирование и планирование логистических цепочек для обеспечения бесперебойных поставок биотоплива от производителей к потребителям и т.д.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-37-90056.

Библиографический список

1. Мокрозуб, В. Г. Графовые структуры и реляционные базы данных в автоматизированных интеллектуальных информационных системах / В. Г. Мокрозуб. – М. : Издательский дом «Спектр», 2011. – 108 с.

2. Залукаева, Н. Ю. Концепция построения информационно-управляющей системы процессом транспортировки биотоплива / Н. Ю. Залукаева, А. А. Гуськов // Энергосбережение и эффективность в технических системах : материалы VI Международной научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. 3 – 5 июня 2019 г. – Тамбов : Изд-во Першина Р. В., 2019. – С. 109 – 110.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ СВЯЗИ

М. М. Зебрева[1], Ю. Т. Зырянов[2]

[1]ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия
(e-mail: zebrevam@mail.ru)
[2]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» Тамбов, Россия
(e-mail: zut-tmb@mail.ru)

Несмотря на многочисленные усилия по повышению качества обслуживания в сетях связи при наличии сбоев, обеспечить 100%-ную доступность услуги не представляется возможным. На основе общей структуры систем связи, по модели системы связи ISO / OSI, в нее входит семь уровней. Повышая надежность на каждом из них, мы повышаем надежность системы в целом [1].

1. Модель OSI

Прикладной уровень	Доступ к сетевым службам
Представительный уровень	Представление и кодирование данных
Сеансовый уровень	Управление сеансом связи
Транспортный уровень	Безопасное и надежное соединение точка-точка
Сетевой уровень	Логическая адресация
Канальный уровень	Физическая адресация
Физический уровень	Сигналы, бинарная передача данных, кабель

Решение задачи надежности системы строится на представлении системы в виде последовательно функционирующих элементов, каждый из которых представляет собой устройство конкретного типа. Тогда надежность системы будет равна произведению надежностей всех групп (всех типов) устройств [2].

В канале передачи данных необходимо избежать программных сбоев. Согласно статистическим исследованиям на этот тип сбоев приходится около 45% отказов систем связи. Хоть разработка безотказных программ является недостижимой, но стремиться к усовершенствованию программного обеспечения необходимо.

Надежность инфраструктуры проводных систем связи на физическом уровне может быть увеличена путем резервирования каналов. Для этого при проектировании системы необходимо выбрать ту топологию сети, что обеспечит гарантированную заданную надежность.

Если на ремонт и восстановление требуется время, то альтернативным путем является схема защиты (обеспечивающая полное восстановление системы с учетом требуемой нагрузки) и схема восстановления.

Понизить интенсивность отказов каждого элемента оборудования и системы в целом, можно используя постоянное, общее, раздельное и скользящее, информационное и временное резервирование [3].

Показатель надежности для общего резервирования в системах связи при замене блоков, устройств, приборов эквивалентными им определяется по формулам:

$$P(t)=\prod_{i=1}^{k} P_i(t), \tag{1}$$

$$\lambda(t)=\prod_{i=1}^{k} \lambda_i(t), \tag{2}$$

где $Pi\ (t)$ – вероятность безотказной работы и интенсивность отказов i-го элемента; k – число последовательно соединенных элементов [4].

Вывод: проблема повышения надежности должна решаться в первую очередь при проектировании систем связи с применением высоконадежных элементов.

Библиографический список

1. Зырянов, Ю. Т. Вероятностное описание потоков однородных событий для оценки надежности систем энергосберегающего управления / Ю. Т. Зырянов, Д. Ю. Муромцев, А. Н. Грибков // Надежность и качество : труды Международного симпозиума. – 2018. – Т. 2. – С. 339 – 342.

2. Чернышова, Т. И. Математическое моделирование при анализе метрологической надежности аналоговых блоков информационно-измерительных систем / Т. И. Чернышова, В. В. Третьяков // Вестник ТГТУ. – 2014. – Т. 20, № 1.

3. Рязанов, И. Г. Техническое диагностирование информационно-измерительной и управляющей системы с применением нейросетевых технологий. Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика / И. Г. Рязанов, Ю. Т. Зырянов, А. Ю. Наумова. – 2019. – № 5. – С. 37 – 46.

4. Андреев, А. В. Теоретические основы надежности технических систем : учебное пособие / А. В. Андреев, В. В. Яковлев, Т. Ю. Короткая. – СПб. : Изд-во политехн. ун-та, 2018. – 164 с.

СПЕКТРАЛЬНЫЙАНАЛИЗ МАНЕВРОВ ВОЗДУШНОЙ ЦЕЛИ

А. А. Иванков

Тамбовский государственный технический университет,
Тамбов, Россия
(e-mail: ivankov.a.a@bk.ru)

В качестве исходных данных были взяты реальные фигуры высшего пилотажа, являющиеся маневрами как для дальномерного, так и для угломерного каналов РЭСС. Параметры движения цели моделировались по данным средств объективного контроля на борту самолета – цели: величины вертикальной $\boldsymbol{n_y}$, продольной $\boldsymbol{n_x}$, поперечной $\boldsymbol{n_z}$ перегрузок, воздушной скорости $\mathbf{V_B}$, барометрической высоты $\boldsymbol{H}$, угла наклона траектории к горизонту θ, угла отклонения вектора скорости в горизонтальной плоскости ϕ и крена γ. Затем проводился расчет ортодромических координат самолета – цели и дальнейший пересчет их в полярную систему координат (дальность, азимут), в которой работают РЭСС.

Расчет траектории движения самолета в ортодромической системе координат проводился с использованием дифференциальных уравнений пространственного состояния летательного аппарата вида [1]

$$\frac{dx(t)}{dt} = V_{\text{п}}(t)\cos\theta(t)\cos\varphi(t);$$

$$\frac{dy(t)}{dt} = V_{\text{п}}(t)\sin\theta(t);$$

$$\frac{dz(t)}{dt} = -V_{п}(t)\cos\theta(t)\sin\varphi(t);$$

$$\frac{dV_{п}(t)}{dt} = g\{n_{x}(t) - \sin\theta(t)\};$$

$$\frac{d\theta(t)}{dt} = \frac{g}{V_{п}(t)}\{n_{y}(t)\cos\gamma(t) - \cos\theta(t)\};$$

$$\frac{d\varphi(t)}{dt} = -\frac{g}{V_{п}(t)\cos\theta(t)} n_{y}(t)\sin\gamma(t),$$

где **x(t)**, **y(t)**, **z(t)** – пространственные координаты самолета; $\mathbf{V_п(t)}$ – продольная скорость самолета; **θ(t)** – угол наклона траектории к горизонту; **γ(t)** – угол крена; **φ(t)** – угол отклонения вектора скорости в горизонтальной плоскости; **g** – ускорение свободного падения; $\mathbf{n_x(t)}$ – продольная перегрузка; $\mathbf{n_y(t)}$ – вертикальная перегрузка.

Далее проводился пересчет траектории в полярную систему координат:

– дальность до цели

$$D(k) = \sqrt{X^2(k) + Y^2(k) + Z^2(k)},$$

– скорость сближения

$$V_{СБ}(k+1) = \frac{D(k+1) - D(k)}{\Delta T},$$

– ускорение

$$a(k+1) = \frac{V_{СБ}(k+1) - V_{СБ}(k)}{\Delta T},$$

где **ΔT** – период дискретизации.

При помощи быстрого преобразования Фурье определялся спектр изменения скорости и ускорения воздушной цели, как наиболее динамичных, а значит информативных характеристик движения цели. Рассматривались следующие классические маневры высшего пилотажа: «горка», «полупетля» и «петля Нестерова». Большинство других маневров можно представить в виде их комбинации [2].

На рисунках 1 – 3 представлены спектры изменений скорости (а) и ускорения (б) воздушной цели при совершении ею маневра «горка», «полупетля» и «петля Нестерова» соответственно.

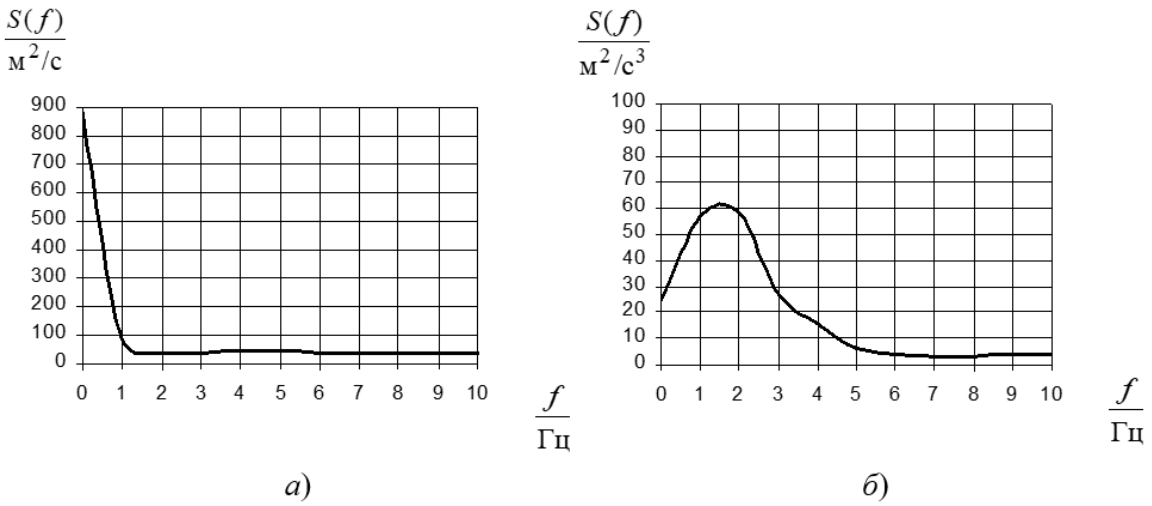


Рис. 1. Спектр изменения скорости (*а*) и ускорения (*б*) воздушной цели при совершении ею маневра «горка»

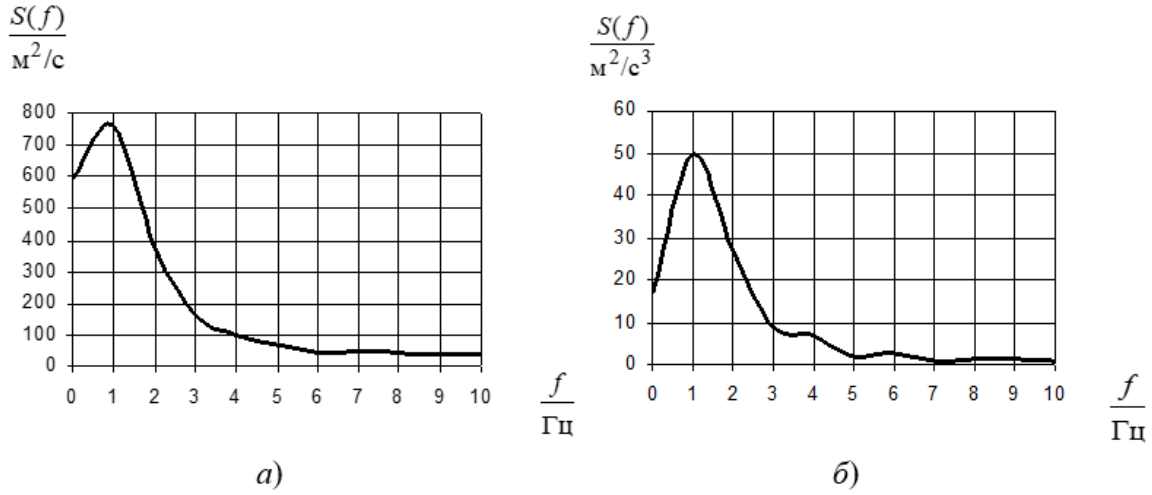


Рис. 2. Спектр изменения скорости (*а*) и ускорения (*б*) воздушной цели при совершении ею маневра «полупетля»

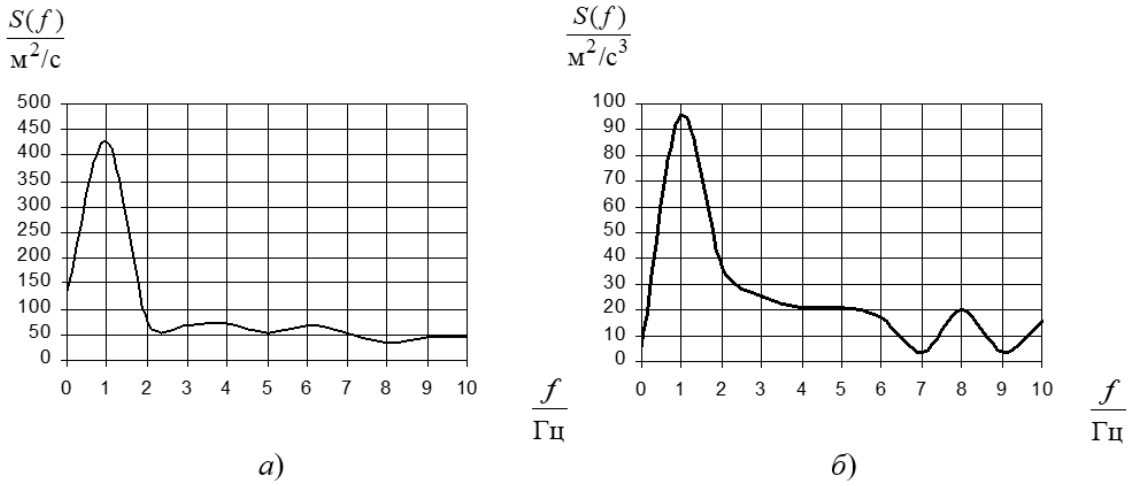


Рис. 3. Спектр изменения скорости (*а*) и ускорения (*б*) воздушной цели при совершении ею маневра «петля Нестерова»

С помощью метода периодограмм получим усредненную оценку спектральной плотности мощности (СПМ) [3]:

$$S_x(k) = \frac{1}{V}\sum_{r=1}^{V} I_r(k),$$

где $\mathbf{S_x(k)}$ – средняя оценка СПМ; **r** – интервал наблюдения; **V** – число интервалов наблюдения. Величина $\mathbf{I_r(k)}$ называется периодограммой и вычисляется по формуле

$$I_r(k) = \frac{\left|X_r(k)\right|^2}{\sum_{n=0}^{N-1} p_n},$$

где $\mathbf{X_r(k)}$ – k-я составляющая спектральной последовательности; $\mathbf{p_n}$ – оконная функция; **N** – общее число обрабатываемых отсчетов; **n** – номер отсчета.

График усредненной оценки СПМ для спектров скорости (*а*) и ускорения (*б*) воздушной цели представлен на рис. 4.

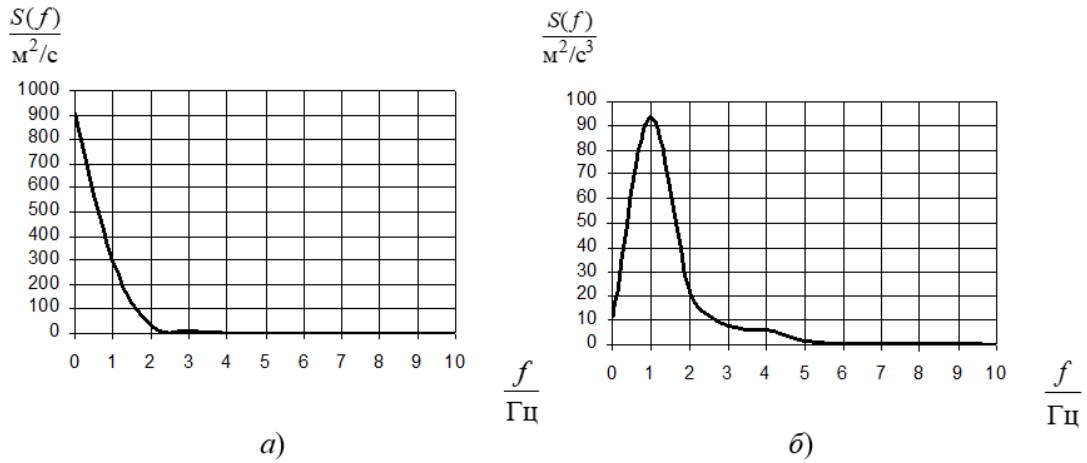


Рис. 4. График усредненной оценки спектральной плотности мощности для спектров скорости (*а*) и ускорения (*б*) воздушной цели

Анализ представленных графиков показывает, что для выделения спектральных составляющих, характеризующих маневр воздушной цели и, соответственно выделения максимальной энергии сигнала, для модели, описывающей скорость цели, необходимо применение фильтра нижних частот, а для модели, описывающей ускорение, – полосовой фильтр [4].

Библиографический список

1. Тарасенков, А. М. Динамика полета и боевое маневрирование летательного аппарата / А. М. Тарасенков. – М. : ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 1984. – 316 с.

2. Бабич, В. Н. Воздушный бой – борьба умов / В. Н. Бабич //Зарубежное военное обозрение. – 1998. – № 12 – С. 14 – 19.

3. Гольденберг, Л. М. Цифровая обработка сигналов : справочник / Л. М. Гольденберг, Б. Д. Матюшкин. – М. : Радио и связь, 1991. – 280 с.

4. Алгоритм дальномерного канала с учетом информации бортовых датчиков воздушных судов / И. В. Князев, С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк // Радиотехника. – М., 2013. – № 9. – С. 60 – 63.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МЕТАМАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ SRR-ЭЛЕМЕНТОВ

А. И. Казьмин, П. А. Федюнин, Д. А. Рябов

ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Россия
(e-mail: alek-kazmin@yandex.ru)

Развитие методов и устройств измерения электрофизических и геометрических параметров (ЭФГП) метаматериалов (ММ) [1, 2] является актуальной научной задачей. С помощью оригинального измерительного комплекса, реализующего метод поверхностных электромагнитных волн [3], проведено исследование ЭФГП ММ на основе SRR-элементов на металлической подложке [4]. Внешний вид образца ММ приведен на рис. 1 [4].

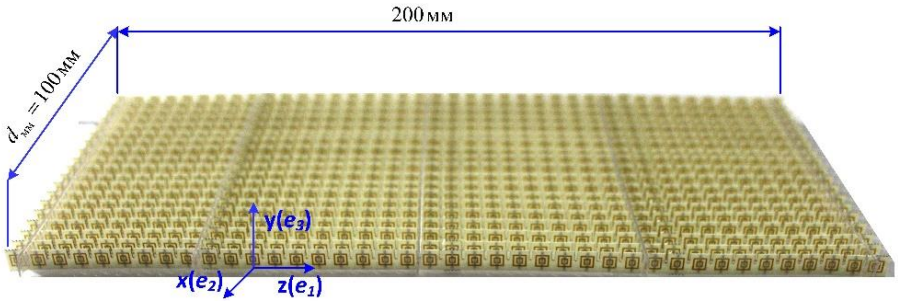


Рис. 1. Фотография образца ММ

ИК для определения ЭФГП ММ реализован на основе векторного анализатора электрических цепей (ВАЦ) Anritsu 37347A и системы перемещения приемной антенны (измерительного зонда) с числовым программным управлением [4]. На рисунке 2 приведена структурная схема измерительного комплекса (ИК) и общая схема проведения эксперимента по оценке ЭФГП ММ, где циф-

рами обозначено: *1* – векторный анализатор электрических цепей; *2* – приемная антенна с механизмом перемещения – *3*; *4* – электронная вычислительная машина; *5* – антенна возбуждения ПЭМВ; *6* – металлическая поверхность; *7* – ММ.

На рисунке 3 приведена экспериментальная зависимость коэффициента ослабления поля ПЭМВ исследуемого ММ. Наблюдается характерное резонансное поведение действительной части коэффициента ослабления поля ПЭМВ.

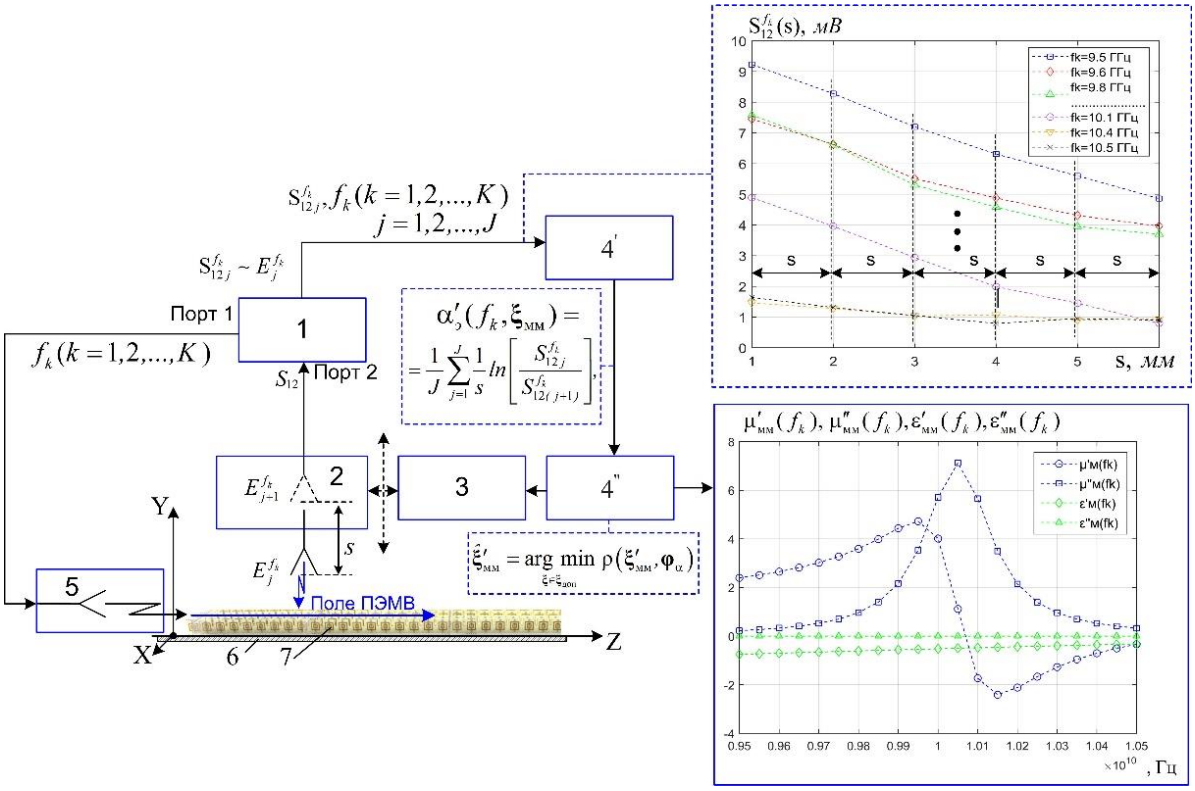


Рис. 2. Структурная схема ИК, реализующего метод измерения ЭФГП метаматериалов

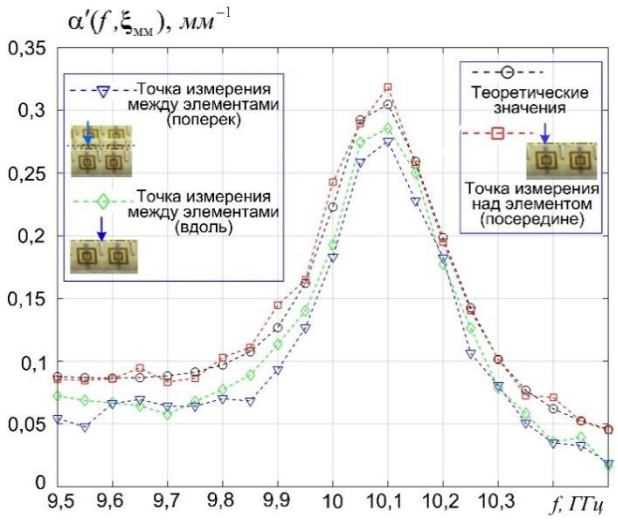


Рис. 3. Экспериментальные частотные зависимости действительной части коэффициента ослабления для исследуемого образца ММ

Как и следовало ожидать, частотные зависимости коэффициента ослабления различны в трех исследуемых областях. На основе полученных экспериментальных частотных зависимостей коэффициентов ослабления решали оптимизационную задачу [4] и находили частотные зависимости эффективных значений электрофизических параметров ММ. На рисунке 4 приведены частотные зависимости комплексных диэлектрической и магнитной проницаемостей исследуемого ММ, полученные по экспериментальным коэффициентам ослабления.

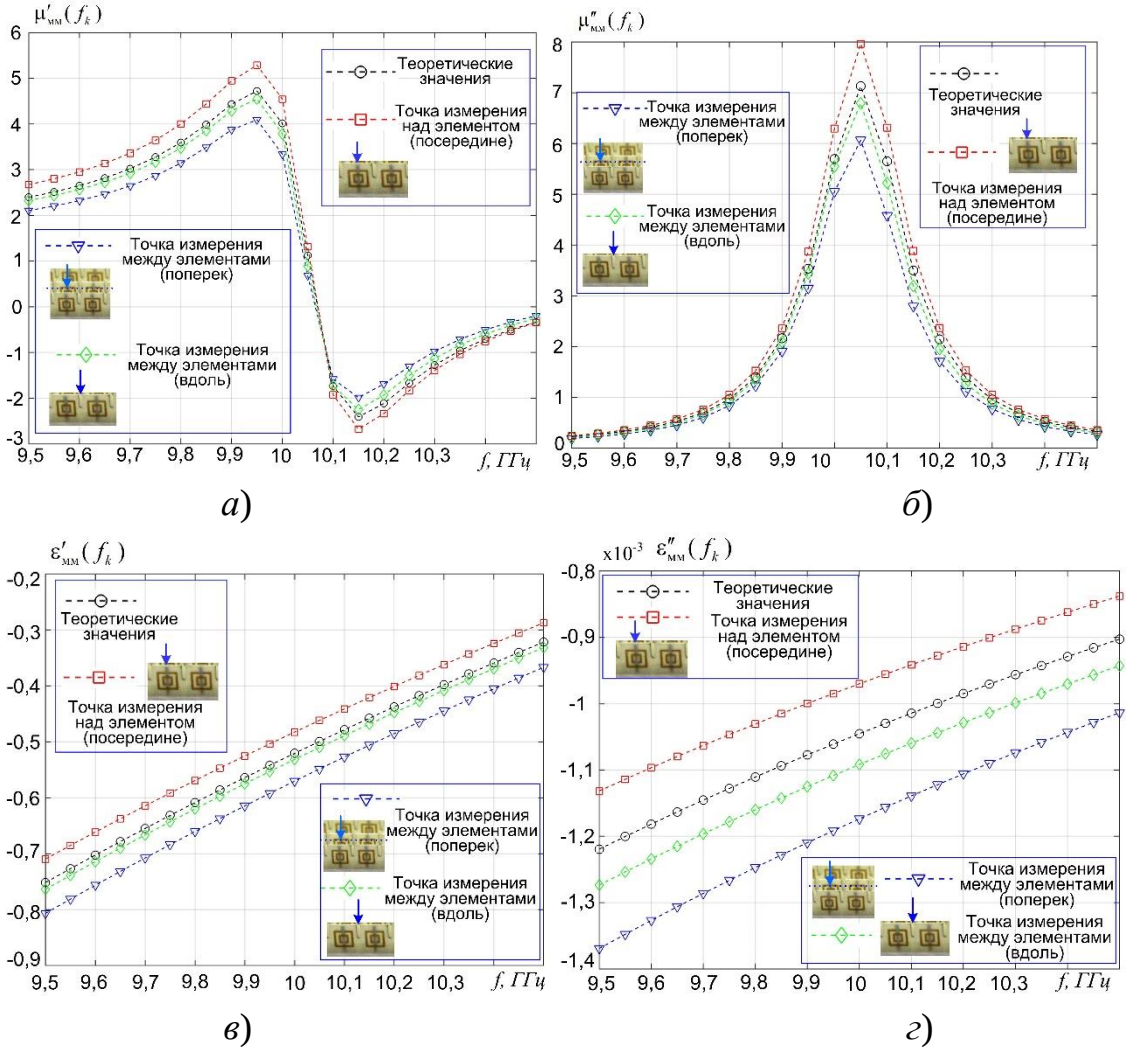


Рис. 4. Экспериментальные частотные зависимости действительной и мнимой частей диэлектрической и магнитной проницаемостей ММ

Анализ зависимостей рис. 4 показывает, что ЭФГП, как и коэффициент ослабления, различны в трех исследуемых областях ММ. Наибольшее соответствие ЭФГП наблюдается при измерениях между двумя элементами (вдоль). В остальных точках измерения погрешность в целом не превышает 10% относительно расчетных значений. Погрешности оценки толщины не превышают в целом 10% [4].

Библиографический список

1. Веселаго, В. Г. Электродинамика веществ с одновременно отрицательными значениями ε и μ / В. Г. Веселаго // Успехи физических наук. – 1967. – Т. 92. – С. 517.

2. Электрофизика и электродинамика метаматериалов / А. Н. Лагарьков, В. Н. Кисель, А. К. Сарычев, В. Н. Семененко // Теплофизика высоких температур. – 2010. – Т. 48, № 6. – С. 1031 – 1048.

3. Казьмин, А. И. Восстановление структуры электрофизических параметров многослойных диэлектрических материалов и покрытий по частотной зависимости коэффициента ослабления поля поверхностной электромагнитной волны / А. И. Казьмин, П. А. Федюнин // Измерительная техника. – 2019. – № 9. – С. 39 – 45.

4. Казьмин, А. И. Контроль электрофизических параметров метаматериалов методом поверхностных электромагнитных волн / А. И. Казьмин, П. А. Федюнин // Дефектоскопия. – 2021. – № 4. – С. 51 – 67.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МЕТАМАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ SRR-ЭЛЕМЕНТОВ

А. И. Казьмин

ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Россия
(e-mail: alek-kazmin@yandex.ru)

Метаматериалы (ММ) благодаря своим уникальным электрофизическим и радиофизическим свойствам открывают широкие перспективы по их применению в различных областях науки и техники [1]. Вместе с тенденцией развития ММ совершенствуются и радиоволновые методы определения их эффективных электрофизических и геометрических параметров (ЭФГП), к важнейшим из которых относятся комплексные диэлектрическая $\dot{\varepsilon}_{\text{мм}}(f_k)$ и магнитная $\dot{\mu}_{\text{мм}}(f_k)$ проницаемости, а также толщина ММ $t_{\text{мм}}$.

Перспективным направлением в настоящее время является использование ММ для улучшения характеристик радиопоглощающих покрытий (РПП) [2].

При этом, фактически, радиоволновые методы определения ЭФГП ММ с учетом размещения на металлической подложке в настоящее время отсутствуют.

Таким образом, разработка новых методов определения ЭФГП ММ на металлической подложке является актуальной научной задачей.

В [3] показана эффективность использования ПЭМВ СВЧ-диапазона для контроля ЭФГП материалов и покрытий. Исходя из этого, разработан новый метод определения ЭФГП ММ, на основе анализа частотной зависимости коэффициента ослабления поля ПЭМВ, возбуждаемой в исследуемых плоскослоистых образцах ММ.

На рисунке 1 приведена геометрия однослойного ММ на основе SRR-элементов на металлической подложке.

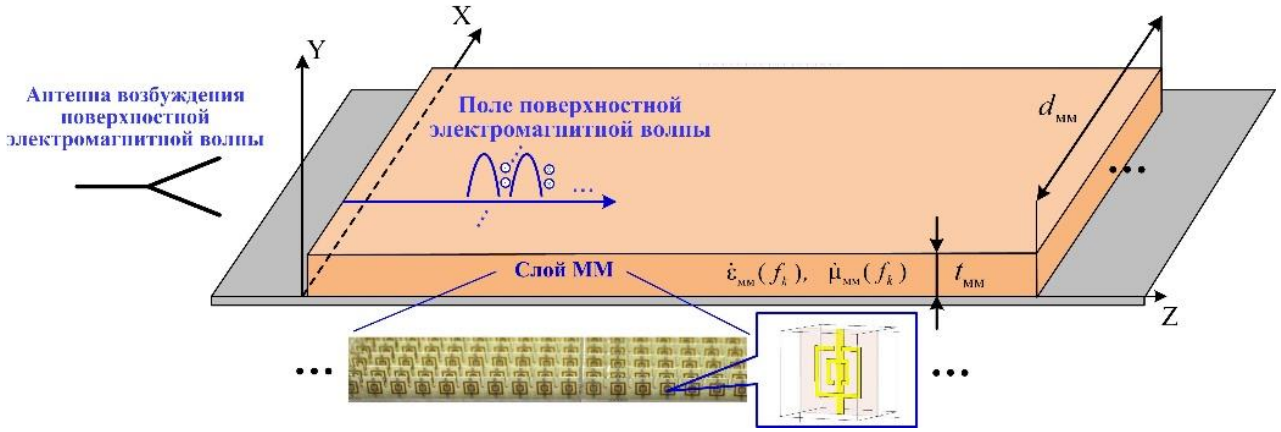


Рис. 1. Геометрия однослойного метаматериала на металлической подложке

Разработанный метод определения ЭФГП ММ с помощью ПЭМВ включает в себя следующую последовательность действий [4].

1. Определение экспериментальных действительных частей $\alpha'_э(f_k,\xi'_{мм})$ комплексных коэффициентов ослабления ПЭМВ на сетке дискретных частот f_k, $k = 1\ldots K$ методом зонда [3]:

$$\alpha'(f_k) = \frac{1}{J}\sum_{j=1}^{J}\frac{1}{s}ln\left[\frac{E_j}{E_{j+1}}\right], \qquad (1)$$

где E_j и E_{j+1} – значения напряженности электрического поля ПЭМВ измеренные по нормали к поверхности ММ в точках измерений y и $y+s$; s – расстояние между точками измерений; J – количество точек измерения.

2. С учетом описания электрофизических параметров ММ частотно-дисперсионными моделями материальной среды Друде-Лоренца, которые имеют следующий вид [5]:

$$\dot{\varepsilon}_{\text{мм}}(f) = \varepsilon_{\infty} - \frac{(2\pi f_p)^2}{(2\pi f)^2 - j2\pi f \nu_c}, \tag{2}$$

$$\dot{\mu}_{\text{мм}}(f) = \mu_{\infty} - \frac{(\mu_s - \mu_{\infty})(2\pi f_0)^2}{(2\pi f_0)^2 + j2\pi f \delta - (2\pi f)^2}, \tag{3}$$

где ε_{∞} – высокочастотный предел диэлектрической проницаемости (так называемая оптическая диэлектрическая проницаемость); $f_{\text{р}}$ – плазменная частота; ν_c – частота столкновений; μ_{∞} – высокочастотная магнитная проницаемость; μ_s – низкочастотная магнитная проницаемость; f_0 – плазменная магнитная частота (резонансная частота рамки разомкнутых колец); δ – постоянная характеризующая магнитные потери; f – текущая частота.

Осуществляется параметризация ЭФГП ММ и производится переход от вектора $\xi_{\text{мм}}$ к вектору $\xi'_{\text{мм}}$:

$$\begin{gathered}\xi_{\text{мм}} = \left\{\varepsilon'_{\text{мм}}(f_k), \varepsilon''_{\text{мм}}(f_k), \mu'_{\text{мм}}(f_k), \mu''_{\text{мм}}(f_k), t_{\text{м}}\right\} \to \\ \to \xi'_{\text{мм}} = \left\{\varepsilon_{\infty}, \omega_p, \nu_c, \mu_s, \mu_{\infty}, \omega_0, \delta, t_{\text{п}}\right\}.\end{gathered} \tag{4}$$

3. Составление целевой функции:

$$\hat{\xi}'_{\text{мм}} = \arg\min_{\xi \in \xi_{\text{доп}}} \rho\left(\xi'_{\text{мм}}, \boldsymbol{\varphi}_{\alpha}\right) = \frac{1}{K}\left|\mathbf{A}'_{\text{э}} - \mathbf{A}'_{\text{т}}\right|^2, \tag{5}$$

где $\mathbf{A}'_{\text{э}}$ и $\mathbf{A}'_{\text{т}}$ – вектор-столбцы со следующими компонентами:

$$\mathbf{A}'_{\text{э}} = \left[\alpha'_{\text{э}}(f_1) + \text{j}\alpha''(f_1, \boldsymbol{\varphi}_{\alpha}),\ \ \alpha'_{\text{э}}(f_2) + \text{j}\alpha''(f_2, \boldsymbol{\varphi}_{\alpha}),\ \ldots,\ \alpha'_{\text{э}}(f_K) + \text{j}\alpha''(f_K, \boldsymbol{\varphi}_{\alpha})\right]^T,$$

$$\mathbf{A}'_{\text{т}} = \left[\dot{\alpha}_{\text{т}}(f_1, \xi'_{\text{мм}}),\ \ \dot{\alpha}_{\text{т}}(f_2, \xi'_{\text{мм}}),\ \ldots,\ \dot{\alpha}_{\text{т}}(f_K, \xi'_{\text{мм}})\right]^T.$$

где $\rho(\xi'_{\text{мм}}, \boldsymbol{\varphi}_{\alpha})$ – расстояние между экспериментально полученными $\mathbf{A}'_{\text{э}}$ и вычисленными теоретическими значениями $\mathbf{A}'_{\text{т}}$ коэффициентов ослабления поля ПЭМВ в области допустимых значений $\xi_{\text{мм}} \in \xi_{\text{доп}}$, вектор аппроксимирующий частотную зависимость мнимой части коэффициента ослабления $\alpha''(f_1, \boldsymbol{\varphi}_{\alpha})$.

4. Решение оптимизационной задачи по минимизации целевой функции (5) путем варьирования составляющими вектора $\xi'_{\text{мм}}$

5. На основе найденных при минимизации целевой функции (5) параметрических коэффициентов вектора $\xi'_{\text{мм}}$ формируются искомые частотные зависимости комплексных диэлектрической и магнитной проницаемостей $\varepsilon'^{(\varpi)}_{\text{м}}(f_k)$, $\varepsilon''^{(\varpi)}_{\text{м}}(f_k)$, $\mu'^{(\vartheta)}_{\text{м}}(f_k)$, $\mu''^{(\vartheta)}_{\text{м}}(f_k)$ исследуемого ММ для заданной полосы частот измерений f_k, $k = 1 \ldots K$ (рис. 1).

Библиографический список

1. Веселаго, В. Г. Электродинамика веществ с одновременно отрицательными значениями ε и μ / Веселаго, В. Г. // Успехи физических наук. – 1967. – Т. 92. – С. 517.

2. Электрофизика и электродинамика метаматериалов / А. Н. Лагарьков, В. Н. Кисель, А. К. Сарычев, В. Н. Семененко // Теплофизика высоких температур. – 2010. –Т. 48, № 6. – С. 1031 – 1048.

3. Восстановление структуры электрофизических параметров многослойных диэлектрических материалов и покрытий по частотной зависимости коэффициента ослабления поля поверхностной электромагнитной волны / А. И. Казьмин, П. А. Федюнин // Измерительная техника. – 2019. – № 9. – С. 39 – 45.

4. Контроль электрофизических параметров метаматериалов методом поверхностных электромагнитных волн / А. И. Казьмин, П. А. Федюнин // Дефектоскопия. – 2021. – № 4. – С. 51 – 67.

5. Magnetism from conductors and enhanced nonlinear phenomena / J. B. Pendry, A. J. Holden, D. J. Robbins; W. J. Stewart // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – No. 1999. – V. 47, Is. 11. – P. 2075 – 2084.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ВОЙСКАМИ (СИЛАМИ) ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Е. П. Кайдаш

ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Россия
(e-mail: kaydash_ne@mail.ru)

На современном этапе развития и совершенствования военного искусства особое место занимает проработка вопросов новых военных угроз. В военной доктрине США «Joint Vision 2020» обновлена концепция «сетецентрической войны», которая сугубо ориентирована на полную перестройку всего командно-штабного управления в общем и направлена на децентрализацию военного управления в частности, а также на повышение боевых возможностей за счет создания единой инфокоммуникационной сети. Такой подход к решению боевой задачи позволяет повысить скорость осуществления командованием управ-

ления войсками (силами) и комплексами вооружения, а также обеспечивает слаженность (синхронизацию) в работе подразделений [1].

При рассмотрении структуры системы управления Вооруженных сил Российской Федерации выделяется один, безусловно важный элемент – информационная система, которая позволяет в той или иной ситуационной обстановке осуществить анализ, систематизировать данные и принять обоснованное решение, оказывающее эффективное воздействие на систему управления войсками в конкретных условиях обстановки и расположения войск. Чаще всего применима информационно-телекоммуникационная система на основе построения модели для решения тактических и наступательных боевых задач. В таком случае применяется понятие инфотелекоммуникационная технология – определенная совокупность методов и способов сбора, хранения, обработки и распространения информации, основывающаяся на новейших достижениях в области применения средств вычислительной техники. В качестве ее составляющих использованы технологии: систем искусственного интеллекта, математического моделирования и новейших систем усовершенствования сбора, обработки и хранения информационной составляющей.

Увеличение эффективности управления с применением информационно-телекоммуникационной технологи проявляется в следующем:

– систематизация потока информации;

– создание научно-обоснованных способов принятия управленческих решений в ходе боевых действий;

– упорядочивание как оперативных, так и тактических расчетов;

– внедрение средств автоматизации при создании оперативных и боевых документов;

– использование цифровой информационной составляющей;

– проектирование рекомендательной и прогнозирующей моделей действий войск (сил), хода и исхода боевых действий;

– создание центров хранения данных по автоматизированному управлению войсками с функцией децентрализованного управления и оперативного изменения планов боевого применения войск (сил);

– возможность осуществления автоматизированного контроля за принятием и выполнением разработанных планов с предоставлением выводов о последствиях реализации действующих решений;

– обеспечение автоматизированного контроля за осуществлением сбора данных об обстановке с оповещением об отсутствии сведений к указанному времени;

– усовершенствование уровня автоматизации за счет внедрения искусственного интеллекта для разработки инструкций по применению сил и средств при различных вариантах действий противника, создании модели боевых действий для выработки и розыгрыша планов боевого применения войск (сил).

На сегодняшний день ведутся разработки по созданию Единой системы управления тактического звена [2], идея которой зеркально схожа с применяемой в сухопутных войсках США автоматизированной системой управления [3]. В качестве основной цели выступает создание новой концепции автоматизированной системы управления и связи нового поколения, построенной на обеспечении своевременной возможности органов военного управления осуществлять доступ ко всей имеющейся информации для доскональной оценки боевой обстановки, а также для качественного и быстрого принятия обоснованного решения в максимально сжатые сроки.

Среди основных организационных принципов данной концепции выделяются такие, как открытость, совместимость и сетевая структура [4]. Следовательно, каждый пункт управления вновь созданной группировки войск (сил) является одним из узлов единой инфотелекоммуникационной сети. При этом уровень доступа пунктов управления и характер предоставляемой информации зависят от принадлежности к роду войск и звену управления. Открытость системы позволяет маневрировать составом группировки сил и средств в зависимости от боевой обстановки, без потерь единства и стабильности функционирования систем управления. Применение указанных принципов способствует повышению устойчивости системы управления.

В границах реализации Единой системы управления тактического звена находится автоматизация процессов, выполняемых должностными лицами пунктов управления войсками. Следовательно, составление базы данных, включающей информацию о составе войск противника, на этапе планирования и подготовки боевых действий позволяет провести оценку боевых возможностей вероятной группировки противника; провести классификацию объектов вероятного противника по степени важности, радиусу досягаемости средств поражения и разработать рациональный порядок использования различных сил и средств противодействия. Создание на основе таких данных алгоритма оптимизации выбора средств поражения позволяет существенно уменьшить время обработки собранной информации на пункте управления войсками и принятия решения по комплексному поражению вскрытых объектов. а в особых случаях – вывести и обосновать целесообразность ожидания команды на поражение от высшего органа управления. Таким образом, такой способ реализует доведение

добытой разведкой информации непосредственно до ударного комплекса, что существенно сокращает время от обнаружения до поражения войск (сил) и средств противника.

В результате вышеизложенного можно сделать вывод, что Единая система управления войсками и оружием тактического звена управления позволяет осуществить поражение выявленных целей в масштабе времени, наиболее приближенному к реальному [5]. Она представляет собой взаимосвязанную по способам, технологиям и целям, выстроенную на единообразных оперативно-тактических и системно-технических принципах автоматизированную систему, обеспечивающую выполнение функций управления войсками в контурах разведки, связи, радиоэлектронной борьбы, навигации и опознавания, огневого поражения, что позволяет повысить эффективность управления тактическими воинскими формированиями.

Библиографический список

1. Чельцов, Б. Ф. Проблемы создания сетецентрической системы управления войсками, силами и средствами ВКО / Б. Ф. Чельцов // Вестник Академии военных наук. – 2011. – № 4.
2. Власов, В. И. Способы совершенствования системы управления группировки войск (сил) на операционном направлении / В. И. Власов, И. А. Расщепкин, С. В. Степанов // Технические науки – Т. : Известия ТулГУ. – № 9. – 2017.
3. Романов, Р. Состояние и перспективы развития системы управления боевых бригад СВ США / Р. Романов // Зарубежное военное обозрение. – 2014. – № 7. – С. 44 – 49.
4. Ионов, С. В. Информационно-телекоммуникационные технологии. Системы, средства связи и управления / С. В. Ионов // Информационно-аналитический сборник. – Воронеж: АО «Концерн «Созвездие». – 2016. – № 2. – С. 11 – 14.
5. Хватов, Ф. Ю. К вопросу о создании разведывательно-ударного контура в ЕСУ ТЗ / Ф. Ю. Хватов // Информационно-телекоммуникационные технологии. Системы, средства связи и управления : Информационно-аналитический сборник. – Воронеж : АО «Концерн «Созвездие», 2015. – № 4. – С. 175 – 182.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДВУХЗЕРКАЛЬНЫХ ОФСЕТНЫХ АНТЕНН ДЛЯ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

Д. А. Караваев, А. А. Тришаков, В. В. Помещиков, В. И. Тетюхин

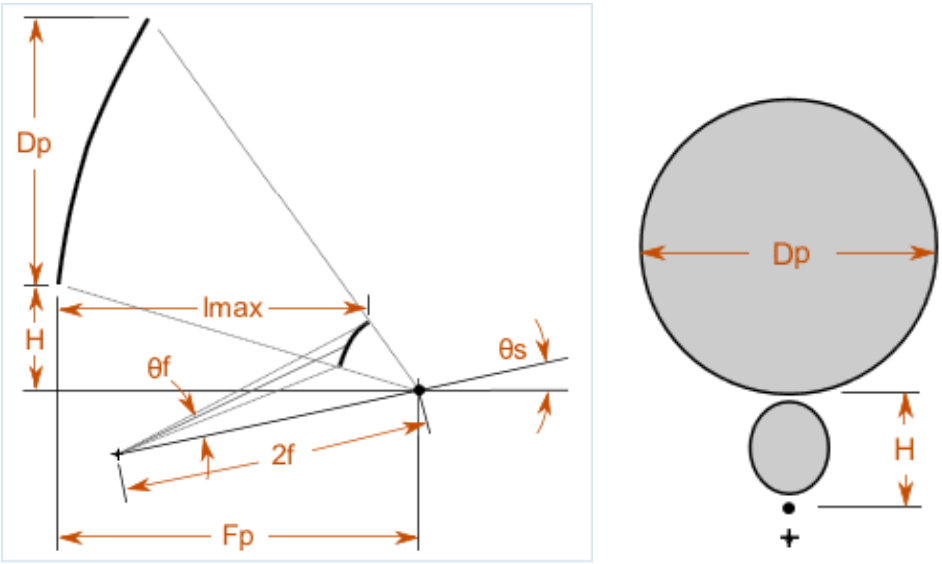
Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: mr.karavaev2016@yandex.ru)

В настоящее время достаточно высокими темпами идет широкое развитие систем спутниковой связи, в частности тех, которые используют технологию малых базовых станций [1]. Их работа осуществляется в самых разных частотных диапазонах: C, Ku, K, Ka и т.д.

Основные сложности, которые возникают при построении таких систем, заключаются в следующем: невозможность быстрой установки и настройки терминала на необходимую орбитальную позицию, не всегда достаточный коэффициент усиления передающей антенны малой спутниковой станции, а также массогабаритные показатели [2]. Эти ограничения не позволяют в должном объеме реализовать передачу данных с теми особенностями, которые заложены в данных стандартах. Поэтому предлагается использовать эффективные антенны, которые имеют высокий коэффициент усиления. К таковым можно отнести зеркальные антенны. Их на данный момент существует несколько видов: офсетные, прямофокусные, с зеркалом сложной конфигурации, а также антенные системы, построенные по технологии с двумя зеркалами, называемые двухзеркальными, которые, в свою очередь, имеют несколько разновидностей. Применение прямофокусных одно- или двухзеркальных антенн не всегда может быть оправдано, так как они могут быть достаточно громоздкими и представлять сложность при настройке на орбитальную позицию, имеют достаточно узкую диаграмму направленности, что не позволит в кратчайшие сроки подключиться к мобильному комплексу спутниковой связи.

Для решения данной проблемы предлагается использовать офсетные двухзеркальные антенны. Их особенность заключается в том, что они достаточно просты в своей установке и настройке, при достаточно малых массогабаритных характеристиках такая антенна за счет эффективного использования площади раскрыва имеет большой коэффициент усиления, что является немаловажным фактором для мобильных станций спутниковой связи. Принцип действия двухзеркальной антенны заключается в преобразовании сферического

фазового фронта облучателя в плоский фазовый фронт в раскрыве антенны в результате последовательного переотражения ее от двух зеркал: вспомогательного и основного, имеющих соответствующие профили [3]. К тому же, она одинаково эффективна в северных, южных и экваториальных широтах. Но у обычной двухзеркальной антенны есть и недостаток – затенение раскрыва вспомогательным зеркалом. Так как в нашем случае антенна – двухзеркальная офсетная, этот недостаток нивелируется, потому что облучатель и соответственно, вспомогательное зеркало смещены относительно оси основного зеркала на угол офсета. Существует несколько видов таких антенн: двухзеркальная офсетная антенна по системе Кассегрена (рис. 1) и двухзеркальная офсетная антенна по системе Грегори (рис. 2). Отличаются они формой вспомогательного зеркала. В первом случае в качестве вспомогательного зеркала выступает гиперболоид вращения, а во втором – эллипсоид вращения. Антенна по системе Кассегрена имеет наиболее оптимальные массогабаритные характеристики, так как она обладает меньшими в сравнении с антенной по системе Грегори продольными размерами.

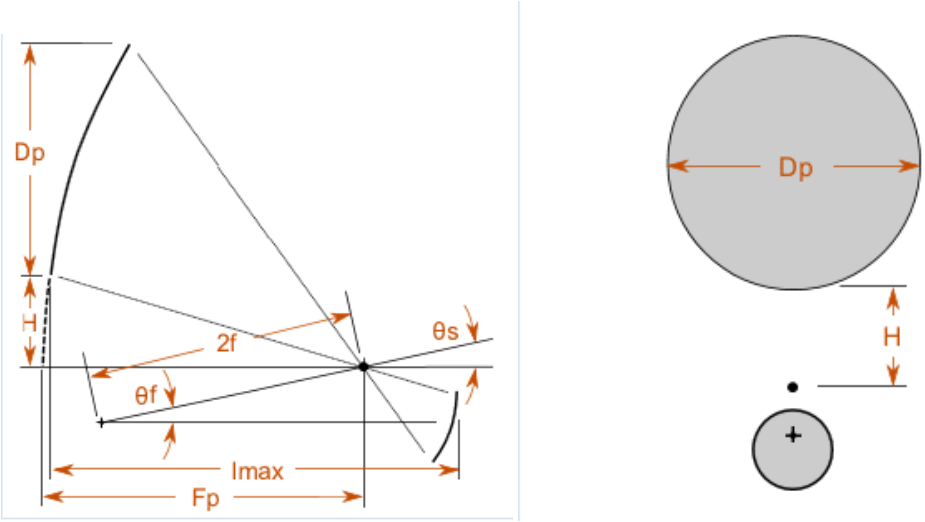


а) *б*)

Рис. 1. Виды двухзеркальной офсетной антенны по системе Кассегрена в программной среде Antenna Magus:

а – сбоку; *б* – спереди;

D_p – диаметр основного зеркала; F_p – фокальная длина основного зеркала; H – высота смещения вспомогательного зеркала; $2f$ – фокальная длина вспомогательного зеркала; θ_f – угол наклона излучателя; θ_s – угол наклона вспомогательного зеркала; $l_{\max}$ – максимальная длина до вспомогательного зеркала



а) *б*)

Рис. 2. Виды двухзеркальной офсетной антенны по системе Грегори в программной среде Antenna Magus:

а – сбоку; *б* – спереди;

D_p – диаметр основного зеркала; F_p – фокальная длина основного зеркала; H – высота смещения вспомогательного зеркала; $2f$ – фокальная длина вспомогательного зеркала; θ_f – угол наклона излучателя; θ_s – угол наклона вспомогательного зеркала; $l_{\max}$ – максимальная длина до вспомогательного зеркала

В заключение можно сказать, что использование офсетных двухзеркальных антенн в системах мобильной спутниковой связи позволит: уменьшить массогабаритные характеристики системы связи; уменьшит время развертывания и, соответственно, позиционирования на дюорбитальную позицию; увеличит пропускную способность; повысит качество функционирования таких систем в целом.

Библиографический список

1. Синтез гибридной зеркальной антенны для систем наземной спутниковой связи / А. А. Летунов, О. А. Белоусов, Р. Ю. Колмыков, А. С. Колмыкова, Р. Ю. Курносов // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2015. – № 4(58). – С. 107 – 113.

2. Применение алгоритмов нечеткой логики в системе управления диаграммообразующим устройством гибридной зеркальной антенны / О. А. Белоусов, Е. В. Рязанов, А. С. Колмыкова, А. И. Дякин // Программные продукты и системы. – 2018. – Т. 31, № 4. – С. 757 – 762.

3. Антенны : учебное пособие / Ю. Т. Зырянов, П. А. Федюнин, О. А. Белоусов и др. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 412 с. // Лань : электронно-библиотечная система. – URL : https://e.lanbook.com/book/133478 (дата обращения: 15.01.2021). – URL : для авториз. пользователей.

ПРИМЕНЕНИЕ ГИБРИДНЫХ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ УСТРОЙСТВОМ ДИАГРАММООБРАЗОВАНИЯ АНТЕННЫХ SMART-СИСТЕМ ДЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

М. М. Кирюпин, О. А. Белоусов, А. А. Тришаков

Тамбовский государственный технический университет
(e-mail: mik6339@yandex.ru)

В настоящее время, с бурным развитием технологий в области беспилотной аэросъемки активно поднимается проблема с несанкционированным проникновением на охраняемые территории беспилотных летательных аппаратов (БЛА) в целях промышленного или личностного шпионажа, совершения диверсий и т.д. В связи с этим актуальной задачей для обеспечения безопасности объектов являются системы радиоэлектронного подавления (РЭП), эффективность которых зависит от антенных SMART-систем под управлением высокоэффективных алгоритмов формирования диаграммы направленности для создания пространственного барьера от БЛА, которые позволят дезориентировать летательный аппарат, перехватить управляющий сигнал, а также привести к выходу из строя и уничтожения несанкционированного устройства.

Для реализации эффективной постановки помехового заграждения на неопознанную цель, необходимы высокоэффективные алгоритмы диаграммообразования, которые способны в реальном масштабе времени при неблагоприятных помеховых условиях формировать необходимую диаграмму направленности (ДН), направленную на объект.

Чаще всего, в данных системах алгоритм осуществляется посредством электрического сканирования луча. Данный алгоритм имеет место реализации на основе алгоритмов искусственного интеллекта, таких как нечеткая логика и на основе нейросетевых технологий или же гибридного алгоритма, объединяющего в себе оба вышеупомянутых метода.

Данные алгоритмы представляют из себя структуры, которые объединяют наилучшие свойства обоих методов, и в то же время свободны от их проблем [1]. Оба подхода весьма успешно справляются с задачами, которые традиционные системы управления решают не самым лучшим образом. Если возникает необходимость управлять объектом, который обладает неоднозначными свойствами, которым является поступающий сигнал от беспилотного летательного объекта, описание которого заведомо неполно, либо не может быть сведено к простой математической модели, то приходится искать решения, альтернативные способы управления ДН, и чаще всего выбираются нейронные сети или системы с нечеткой логикой. Рассмотрим поподробнее характеристики данных сетей [2].

Важнейшим достоинством нейронных сетей считается возможность их обучения и адаптации. Нам не требуются полные знания об объекте управления, такие как его математическая модель. На основе входных и заданных базой данных типовых сигналов нейронная сеть может научиться управлять объектом. Нейронные сети состоят из огромного количества взаимосвязанных простых обрабатывающих элементов (нейронов), что в результате дает большую вычислительную мощность при использовании параллельной обработки информации. К сожалению, способ проектирования таких систем не является универсальным, так как подбирается индивидуально для каждой системы, лишь базируясь на существующих закономерностях и физических законах. До настоящего времени неизвестен алгоритм расчета количества слоев сети и количества нейронов в каждом слое для конкретных примеров управляющих систем. Тем не менее, по завершении обучения нейронные сети становятся незаменимыми средствами решения задач, поставленных перед ней. С другой стороны, накопленные нейронной сетью знания оказываются распределенными между всеми ее элементами, что делает их практически не доступными для наблюдателя [3].

Этого недостатка лишены системы управления с нечеткой логикой. Однако в данном случае знания о способе управления необходимы уже на стадии проектирования управляющих модулей, причем они должны исходить от экспертов и, следовательно, возможность обучения отсутствует. Однако и в такой ситуации полные знания, описывающие в математическом виде функциональную зависимость между входами и выходами системы, не требуются. В отличие от обычных модулей управления, используются не количественные данные, а качественные знания, заданные в алгоритм на этапе проектирования системы. Система принимает решения на основе свода правил, записанных

в форме импликации «IF-THEN». Простейший подход к проектированию таких систем заключается в формулировании правил управления и функции принадлежности исходя из специфики сферы, в котором осуществляется процесс управления, осуществляемым человеком-оператором либо уже существующим устройством, с последующим оцениванием корректности функционирования такой системы. Если проект оказывается неудачным, то функцию принадлежности и(или) правила управления можно легко модифицировать. Как уже отмечалось, основной недостаток подобных систем – это невозможность адаптации и обучения [1].

Объединение обоих подходов позволяет, с одной стороны, привнести способность к обучению и увеличение вычислительной мощности нейронных сетей в системы с нечеткой логикой, а с другой стороны – усилить интеллектуальные возможности нейронных сетей свойственными «человеческому» способу мышления нечеткими правилами выработки решений [2].

Попытки такого объединения стали в последние годы предметом весьма интенсивных исследований и применений в реальных объектах. Их результатом можно считать системы выработки решений, в разной степени реализующих идею нечеткого мышления в комплексе с заимствованной от нейронных сетей способностью к обучению.

Применение гибридных высокоэффективных алгоритмов управления устройством диаграммообразования антенных SMART-систем для подавления беспилотных летательных аппаратов позволит в реальном масштабе времени при неблагоприятных помеховых условиях формировать необходимую диаграмму направленности (ДН), направленную на объект, а также повысить быстродействие всей системы и расширить ее возможности.

Библиографический список

1. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский ; пер. с польск. И. Д. Рудинского. – 2-е изд. стереотип. – М. : Горячая линия – Телеком, 2013. – 384 с.

2. Галушкин, А. И. Нейронные сети: основы теории / А. И. Галушкин // – М. : Горячая линия – Телеком, 2012. – 496 с.

3. Леоненков, А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А. В. Леоненков. – СПб. : БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ЗАМЕДЛЯЮЩИХ СТРУКТУР ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СОСТАВЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ АЭРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

М. А. Кудряшов, О. А. Белоусов, В. И. Тетюхин, Р. О. Козадаев

Тамбовский государственный технический университет
(maximkudryashov969@gmail.com)

В настоящее время существуют различные системы аэрологического зондирования, такие как: МАРЛ-А, АВК-1, AIR-3A-RT2, RT-20, MP3-3AT, обладающие следующими характеристиками: рабочая частота – 1680 МГц, 1790 МГц; характеристики антенной системы (тип: зеркальная, пассивная антенная решетка (АР); адаптивная фазированная антенная решетка (АФАР); сканирование по азимуту – электронное + электромеханическое; сканирование по углу места – электронное + электромеханическое) [1].

Данные комплексы достаточно громоздки, обладают рядом недостатков, таких как: малое количество ведения радиозондов (до 5 целей одновременно), небольшая дальность сопровождения зонда (до 20…40 км), невозможность быстрого управления лучом. Поэтому для решения поставленной задачи необходимо разработать антенные системы, которые лишены указанных выше недостатков. К таким системам можно отнести антенные решетки, использующие алгоритмы управления на базе искусственного интеллекта. Одним из важных этапов разработки антенной решетки является выбор или синтез нового излучателя [2]. Для решения задач аэрологического мониторинга наиболее оптимальным образом подходят излучатели на основе замедляющих структур, в частности спиральные излучатели [2]. Все многообразие спиральных излучателей может быть сведено к двум основным типам: классические спиральные излучатели и квадрифилярные спиральные излучатели. Для решения поставленной задачи проведем синтез квадрифилярной спиральной антенны (КСА) в диапазоне 1678 МГц, который входит в состав в качестве элемента интеллектуальной фазированной антенной решетки.

Для того чтобы данная антенна излучала с круговой поляризацией, напряжения должны формироваться с одинаковыми амплитудами, но сдвинуты по фазе относительно друг друга на 90°. Такие КСА имеют свободные параметры, к которым можно отнести α – угол намотки и диаметр D. Для управления характеристик излучения антенны, такими как диаграмма направленности и коэффициент эллиптичности, достаточно менять данные параметры. Так же

к свободным параметрам можно отнести диаметр проводника d, если он имеет круглую форму сечения, либо ширину w, когда в качестве проводника используется металлическая лента, однако данные параметры не столь существенно влияют на характеристики квадрифилярного спирального излучателя, вследствие чего данные параметры можно не брать во внимание.

Для дальнейшего синтеза излучателя необходимо определить его результирующую диаграмму направленности.

Для получения результирующей диаграммы направленности используем следующий прием. Представим данный излучатель в виде плоской прямолинейной эквидистантной равноамплитудной антенной решетки, так как используются 4 идентичных спиральных излучателя на одинаковом расстоянии друг от друга. Таким образом, применяя теорему перемножения и используя соответствующий множитель антенной решетки, получим искомую диаграмму направленности (1):

$$F(\theta,\varphi) = f_1(\theta,\varphi) f_c(\theta,\varphi), \tag{1}$$

где $f_1(\theta,\varphi)$ – результирующая диаграмма направленности одного излучателя; $f_c(\theta,\varphi)$ – множитель антенной решетки.

Векторная ДН излучателя имеет вид

$$f_1(\theta,\varphi) = J_0(ka \cdot \sin\theta) \cdot \cos\theta\,, \tag{2}$$

где J_0 – функция Бесселя нулевого порядка; k – волновое число свободного пространства; a – радиус спирали.

Для определения множителя антенной решетки воспользуемся методом расчета из источника [3].

Тогда, учитывая все вышесказанное, получаем выражение для множителя антенной решетки в сферической системе координат

$$F_C(\theta,\varphi) = \frac{\sin\left(\frac{N_x}{2} k d_x \sin\theta\cos\varphi - \alpha_x\right)}{N_x \sin\left(\frac{1}{2}(k d_x \sin\theta\cos\varphi - \alpha_x)\right)} \frac{\sin\left(\frac{N_y}{2} k d_y \sin\theta\sin\varphi - \alpha_y\right)}{N_y \sin\left(\frac{1}{2}(k d_y \sin\theta\sin\varphi - \alpha_y)\right)}. \tag{3}$$

Теперь, определив множитель антенной решетки, получаем результирующую диаграмму направленности квадрифилярного спирального излучателя:

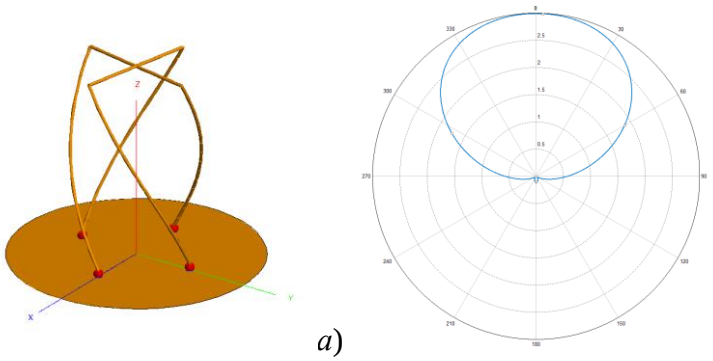
$$F(\theta,\varphi) = (\mathrm{J}_0(ka \cdot \sin\theta) \cdot \cos\theta)\times$$

$$\times \frac{\sin\left(\frac{N_x}{2} k d_x \sin\theta\cos\varphi - \alpha_x\right)}{N_x \sin\left(\frac{1}{2}(k d_x \sin\theta\cos\varphi - \alpha_x)\right)} \frac{\sin\left(\frac{\mathrm{N_y}}{2} k d_y \sin\theta\sin\varphi - \alpha_y\right)}{N_y \sin\left(\frac{1}{2}\left(k d_y \sin\theta\sin\varphi - \alpha_y\right)\right)}. \tag{4}$$

Полученная диаграмма направленности для данного излучателя позволяет судить о достаточной линейности его основных электродинамических характеристик.

Для получения основных характеристик данной излучающей структуры будем использовать метод, который основан на построении феноменологических моделей. Он позволяет достаточно оперативно определить параметры вновь синтезируемой антенной структуры и провести анализ характеристик этой структуры.

На рисунках 1, *а* и *б* представлены результаты моделирования.



а) *б*)

Рис. 1. 3D-модель замкнутой четвертьволновой КСА в программной среде Altair FEKO (*а*); диаграмма направленности КСА (*б*)

Результаты проведенного синтеза замедляющих электродинамических структур, таких как квадрифилярные замкнутая и разомкнутая антенны, могут использоваться в качестве элементов интеллектуальной фазированной антенной решетки.

Использование такого типа излучателей позволит существенным образом минимизировать такие отрицательные показатели как малое количество ведения радиозондов, небольшую дальность сопровождения зонда и невозможность быстрого управления лучом и расширить функциональные возможности систем температурно-ветрового радиозондирования атмосферы при аэрологических наблюдениях.

Библиографический список

1. Фрадин А. З. Антенны сверхвысоких частот / А. З. Фрадин. – Ленинград : [б. и.], 1950. – 267 с.

2. Применение алгоритмов нечеткой логики в системе управления диаграммообразующим устройством гибридной зеркальной антенны / О. А. Бело-

усов, Е. В. Рязанов, А. С. Колмыкова, А. И. Дякин // Программные продукты и системы. – 2018. – Т. 31, № 4. – С. 757 – 762.

3. Антенны : учебное пособие / Ю. Т. Зырянов, П. А. Федюнин, О. А. Белоусов и др. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 412 с. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL : https://e.lanbook.com/book/133478 (дата обращения: 15.01.2021). – URL : для авториз. пользователей.

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

А. В. Куприянов, К. В. Скоморохов

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: artem.kupriyanov.2012@mail.ru)

В настоящее время интеллектуальные информационно-измерительные системы (ИИИС) широко используется на производстве, так как является наиболее точной системой для контроля параметров изделий [1]. ИИИС необходима модернизация, а именно – внедрение цифровых технологий. Так как в измерительном канале ИИИС аналогово-цифровой преобразователь имеет недостаточную оперативность для преобразования сигнала, датчики температуры не отличаются точностью, нормирующий усилитель недостаточно стабилен, то применение цифровых технологий упрощает процесс использования системы, увеличивает быстродействие, надежность и т.д.

Вышеперечисленные характеристики являются показателями эффективности функционирования ИИИС. Так, надежность является основной характеристикой, при оценке которой учитываются среднее время восстановления компонентов системы, вероятность безотказной работы и др. [2].

В ИИИС теплофизических свойств твердых материалов возможно использование цифровых технологий путем использования в измерительном канале цифровых термодатчиков, что позволит исключить аналого-цифровой преобразователь (АЦП) из состава измерительного канала, так как АЦП уже, как правило, встроен в датчик. Таким образом, информация представляется в микроконтроллер в цифровом виде. Цифровой датчик состоит из термопары и измерительного модуля (рис. 1).

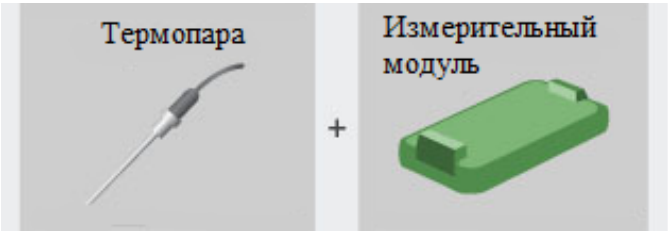


Рис 1. Цифровой термодатчик

Термопара имеет широкий диапазон измеряемой температуры, однако есть недостатки – материал, который используется в изготовлении термопары. В материале используются разного рода примеси, которые влияют на термоэлектродвижущую силу прибора.

Цифровые датчики имеют высокую точность и низкую стоимость. Однако, как и большинство цифровых устройств, датчикам необходимо стабилизированное питание, что сильно влияет на точность измерений. Поэтому область температур, в которой проводится работа, ограничена.

Принцип работы ИИИС теплофизических свойств твердых материалов с интегрированным цифровым датчиком заключается в следующем. Во время эксперимента на объект исследования осуществляется тепловое воздействие, термопара преобразует температуру в электрический сигнал, который поступает в измерительный модуль. Далее измерительный модуль преобразует сигнал в цифровой, соответствующий значениям измеряемой величины. Следующий шаг – это передача сформированного сигнала в микроконтроллер для обработки информации с использованием базы знаний. Полученные данные передаются в персональный компьютер (ПК) (рис. 2) [3, 4].

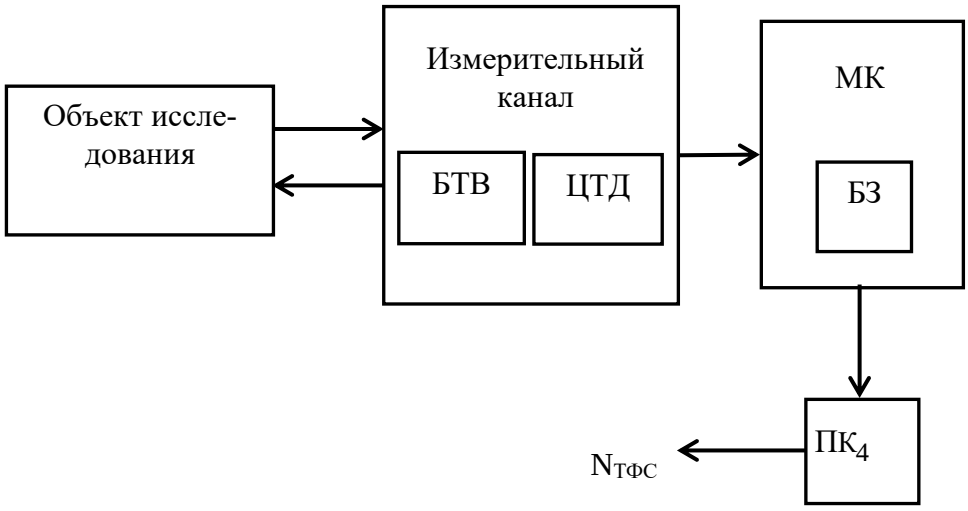


Рис. 2. Структурная схема ИИИС с использованием цифрового термодатчика:
$N_{ТФС}$ – параметры ТФС (коэффициенты тепло- и температуропроводности);
БТВ – блок теплового воздействия; ЦТД – цифровой термодатчик;
МК – микроконтроллер; ПК – персональный компьютер

Преимущество цифровых датчиков заключается в получении пользователем измерительных данных, которые не требуют дополнительной обработки. Результаты передаются в цифровом виде, а также могут отображаться на индикаторе. Как правило, датчик имеет несколько выходов, что позволяет использовать несколько методов индикации.

В ИИИС ТФС твердых материалов важно выбрать соответствующий цифровой термодатчик, так как выбор датчика зависит от рабочего диапазона температур, диапазона точности, количества выводов у измерительного модуля.

Вышеперечисленным параметрам соответствует цифровой термодатчик STTS75M2F, который имеет следующие характеристики, приведенные в табл. 1.

1. Характеристики цифрового термодатчика STTS75M2F

Параметры термодатчика	Значения параметров
Число выводов	8
Минимальная измеряемая температура	–55 °С
Максимально измеряемая температура	+125 °С
Диапазон точности измерения	±0,5 °С

Преимущество данного цифрового термодатчика – это высокая точность и скорость работы.

Возможно использование цифрового термодатчика серии TSic 716, так как является более точным, но имеет меньший диапазон температур (табл. 2).

2. Характеристики цифрового термодатчика TSic 716

Параметры термодатчика	Значения параметров
Число выводов	8
Минимальная измеряемая температура	–10 °С
Максимально измеряемая температура	+60 °С
Диапазон точности измерения	от ±0,07 до ±0,2 °С

Внедрение цифровых технологий необходимо в настоящее время, так как их достоинства существенно влияют на работу измерительных устройств. Применение цифрового канала в ИИИС теплофизических свойств материалов позволяет повысить оперативность определения теплофизических свойств материалов при их производстве, что позволит снизить процент брака.

Библиографический список

1. Селиванова, З. М. Метод повышения точности информационно – измерительной системы параметров теплофизических свойств теплоизоляционных материалов / З. М. Селиванова, Т. А. Хоан: // Вестник ТГТУ. – 2017. – Т. 23, № 1. – С. 12 – 24.

2. Селиванова, З. М. Оценка надежности информационно-измерительной системы теплофизических свойств материалов при воздействии дестабилизирующих факторов / З. М. Селиванова, Т. А. Хоан // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 4. – С. 13 – 19.

3. Селиванова, З. М. Теоретические основы построения интеллектуальных информационно-измерительных систем допускового контроля теплопроводности теплоизоляционных материалов: монография / З. М. Селиванова, К. С. Стасенко. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – 200 с.

4. Selivanova, Z. M. Increasing the Accuracy of Data-Measuring Systems for the Nondestructive Testing of the Thermal Properties of Solids / Z. M. Selivanova, T. A. Khoan // Measurement Techniques. – Vol. 58, No. 9. – December, 2015. – P. 1010 – 1015.

ИСКАЖЕНИЯ, ВНОСИМЫЕ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОЙ ПРОВОДНИКОВ

М. А. Майоров, О. М. Махфуз, М. Д. Аливаиви

Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов
(e-mail: maxim.mayorow2013@yandex.ru)

Взаимные искажения, возникающие в характеристиках совмещенных вибраторных антенных решеток, существенно зависит от их поляризации. Максимальные искажения возникают при одинаковой поляризации, поэтому одним из естественных способов минимизации искажений является развязка по поляризации совмещенных вибраторных антенных решеток. Однако зачастую это невозможно по тактико-техническим требованиям, поэтому рассмотрим сначала задачу по определению взаимных искажений в двухчастотной совмещенной вибраторной антенной решетке с одинаковой линейной поляризацией на обеих частотах. Допустим, что апертура верхней вибраторной решетки больше или равна апертуре нижней антенной решетки, заметим, что апертура верхней ВАР

полностью перекрывает нижнюю. В качестве нижней решетки может выступать вибраторная, волноводная или щелевая антенная решетка [1]. Соотношение частот совмещаемых антенн в общем случае может быть произвольным. Однако наиболее целесообразные методы расчета существенно зависят от соотношения частот.

Допустим, что частота нижней антенной решетки в несколько раз превышает частоту верхней вибраторной антенной решетки. В данном случае в наиболее неудобных условиях оказывается нижняя антенная решетка, излучение которой затмевается верхней антенной решеткой [2]. В то же время нижняя антенная решетка является экраном для верхней антенной решетки, концентрирующим излучение верхней антенной решетки в верхнем полупространстве. Воздействие верхней вибраторной антенной решетки на характеристики излучения нижней антенной решетки. При совпадающей линейной поляризации обеих антенн максимальное воздействие верхней вибраторной антенной решетки на диаграмму направленности нижней антенной решетки выражается при сканировании последней плоскости Н.

Совокупность вибраторов, оси которых направлены вдоль одной линии в верхней вибраторной антенной решетки и концы которых расположены близко друг к другу, заменяется бесконечно длинным проводником того же сечения, что и вибраторы. Верхняя вибраторная антенная решетка из конечного числа проводников дополняется до бесконечной периодической решетки [3].

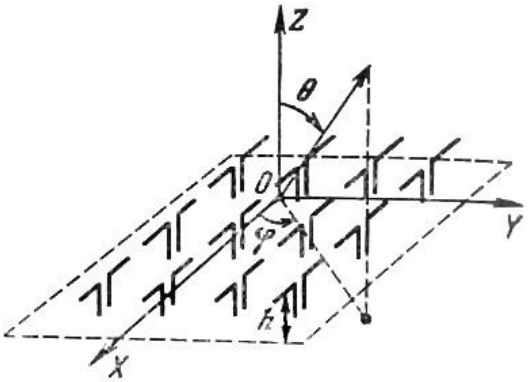


Рис. 1. Плоская вибраторная фазированная антенная решетка

Рассмотрим поляризационные искажения, вносимые периодической структурой проводников. С этой целью предположим, что на раскрыве имеется поле произвольной поляризации, задаваемое в виде суммы двух ортогональных линейных компонент E_τ^E,H_τ^E для E-поляризации и E_τ^H, H_τ^H для H-поляризации:

$$E_\tau^E = E_0^E \eta(y') x_0', E_\tau^H = -W_S^H H_0^E \eta(y') y_0',$$

$$H_\tau^E = \frac{E_0^E}{W_S^E}\eta(y')y_0', H_\tau^H = H_0^E\eta(y')x_0'. \quad (1)$$

Отношение этих ортогонально линейно-поляризованных компонент на раскрыве обозначим β_S:

$$\beta_S = \frac{(E_\tau^E x_0')}{W_S^H([H_\tau^H \times z_0'])y_0'} = \frac{E_0^E}{-W_S^H}. \quad (2)$$

Величина β_Sполностью характеризует поляризационные свойства поля в раскрыве [4].

Соответственно, поляризацию излучаемого поля будем характеризовать отношением ортогональных поперечных компонент излучаемого электрического поля:

$$\beta(\theta) = \frac{(E_\Sigma^{2E} x_0)}{-W_0([H_\Sigma^{2H}])\theta_0} = \frac{E_{x\Sigma}^{2E}(r,\theta)}{-W_0 H_{x\Sigma}^{2H}}. \quad (3)$$

Подставляя в (3) выражения для $E_{x\Sigma}^{2E}, H_{x\Sigma}^{2H}$, получаем

$$\beta(\theta) = \frac{\sum_{n=-n_1}^{n_2} b_n^E\left[\arcsin\left[\sin\theta - \frac{n}{d/\lambda_1}\right]\right]}{-W_0\sum_{n=-n_1}^{n_2} b_n^H\left[\arcsin\left[\sin\theta - \frac{n}{d/\lambda_1}\right]\right]} \times$$

$$\times \frac{e^{-\mathrm{j}k_1 h\sqrt{1-\left(\sin\theta-\frac{n}{d/\lambda_1}\right)^2}} F_\Sigma^E\left[-k_1\left(\sin\theta - \frac{n}{d/\lambda_1}\right)\right]}{e^{-\mathrm{j}k_1 h\sqrt{1-\left(\sin\theta-\frac{n}{d/\lambda_1}\right)^2}} G_\Sigma^E\left[-k_1\left(\sin\theta - \frac{n}{d/\lambda_1}\right)\right]}. \quad (4)$$

При большом раскрыве $(L>>\lambda_1)W_S^H \approx W_0\cos\theta_0$, поэтому

$$\beta(\theta) = \beta_S\cos\theta\frac{f^E(\theta)}{f^H(\theta)}. \quad (5)$$

В частности, для направления основного лепестка:

$$\beta(\theta_0) = \beta_S\cos\theta_0\frac{b_0^E(\theta_0)}{b_0^H(\theta_0)}. \quad (6)$$

В отсутствие периодической структуры зависимость поляризации излучаемого поля от направления определяется коэффициентом $\beta_0(\theta)$:

$$\beta_0(\theta) = \beta_S\cos\theta. \quad (7)$$

Из сравнения (5), (7) следует, что дополнительные поляризационные потери $\beta_{Д}(\theta)$ обязанные влиянию периодической структуры, в остронаправленных антеннах можно определить следующим образом:

$$\beta_{Д}(\theta) = \beta\,(\theta)/\beta_0\,(\theta) = f^E\,(\theta)/f^H\,(\theta),$$

$$\beta_{Д}(\theta_0) \approx \beta_0^E\,(\theta_0)/\beta_0^H\,(\theta_0). \qquad (8)$$

Зная $\beta = |\beta|e^{j\psi}$, можно определить коэффициент эллиптичности r и наклон большой оси эллипса поляризации γ, отсчитываемый в плоскости фронта волны относительно оси *OX*:

$$\gamma = \frac{1}{2}\mathrm{arctg}\left[\frac{2|\beta|\cos\psi}{1-|\beta|^2}\right],\ r = \pm\sqrt{\frac{\cos^2\gamma_1 - 1/(1+|\beta|^2)}{1/(1+|\beta|^2) - \sin^2\gamma}}. \qquad (9)$$

Используя полученные выше выражения для падающего и прошедшего поля, найдем интегральный коэффициент отражения по мощности от модели верхней вибраторной антенной решетки в виде периодической структуры проводников. Мощность, падающая на структуру $P_{пад}$ и прошедшая через нее $P_{пр}$, имеют вид[5]:

$$P_{пад} = \frac{1}{2}\mathrm{Re}\int_{A^{(1)}}\left[E_{пад}\times H_{пад}\right]dA, P_{пр} = \frac{1}{2}\mathrm{Re}\int_{A^{(2)}}\left[E_{пр}\times H_{пр}\right]dA. \qquad (10)$$

где $A^{(1)}$и $A^{(2)}$ – бесконечные поверхности плоскостей, лежащие параллельно периодической структуре; dA – ориентированный элемент поверхности, направленный в сторону отрицательной оси *OZ*.

Для спектральной площади, падающей под углом θ_0 на периодическую структуру, коэффициенты отражения будут иметь вид:

$$|\Gamma^E(\theta_0)|^2 = 1 - \frac{1}{k_1\cos\theta_0}\sum_{n=-n_1}^{n_2}|b_n^E(\theta_0)|^2\gamma_n\,(\theta_0) =$$

$$= 1 - \frac{1}{k_1\cos\theta_0}\sum_{n=-n_1}^{n_2}|a_n^E(\theta_0)|^2\,\gamma_n(\theta_0),$$

$$|\Gamma^H(\theta_0)|^2 = 1 - \frac{1}{k_1\cos\theta_0}\sum_{n=-n_1}^{n_2}|b_n^H(\theta_0)|^2\gamma_n\,(\theta_0) =$$

$$= 1 - \frac{1}{k_1\cos\theta_0}\sum_{n=-n_1}^{n_2}|a_n^H(\theta_0)|^2\,\gamma_n(\theta_0), \qquad (11)$$

где n_1, n_2 определяются неравенствами

$$(d/\lambda)(1-\sin\alpha)-1 < n_2 \leq (d/\lambda)(1-\sin\alpha),$$

$$(d/\lambda)(1+\sin\alpha)-1 < n_2 \leq (d/\lambda)(1+\sin\alpha). \quad (12)$$

Полученные формулы позволяют проанализировать поляризационные искажения и рассогласования, которые возникают при совмещении фазированных антенных решеток с произвольными поляризациями, с помощью представления поля в раскрыве в виде суммы двух ортогональных линейных компонент.

Библиографический список

1. Построение сверхширокополосных излучателей с применением интегрированных печатных волноводов телевидения / А. С. Колмыкова, О. А. Белоусов, Р. Ю. Колмыков, А. И. Дякин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2017. – № 4(66). – С. 214 – 220.
2. Белоусов, О. А. Фазированная антенная решетка для систем цифрового телевидения / О. А. Белоусов, С. Н. Калашников// Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – № 3(53). – С. 62 – 68.
3. Зелкин, Е. Г. Методы синтеза антенн / Е. Г. Зелкин, В. Г. Соколов. – М. : Сов. радио. – 1980. – 296 с.
4. Фрадин, А. З. Антенны сверхвысоких частот / А. З. Фрадин. – Ленинград, 1950. – 267 с.
5. Белоусов, О. А. Применение алгоритмов нечеткой логики в системе управления диаграммообразующим устройством гибридной зеркальной антенны / О. А. Белоусов, Е. В. Рязанов, А. С. Колмыкова, А. И. Дякин // Программные продукты и системы. – 2018. – Т. 31, № 4. – С. 757 – 762.

МЕТОДЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

М. А. Каменская, Обианг Мосого Синдулфо, Фразау Эдсон Шита

Тамбовский государственный технический университет,
Тамбов, Россия,
(e-mail: art_mari@bk.ru, sindulfoa2@gmail.com, edsonfrazaoedu@gmail.com)

Проблема метрологической надежности (МН) информационно-измерительных систем (ИИС) является чрезвычайно важной и актуальной научно-технической, решение которой позволит обеспечить единство измерений, а также повысить качество и надежность выпускаемой продукции. Метрологическая надежность информационно-измерительных систем характеризуется нормируемыми метрологическими характеристиками (МХ), таким образом задача оценки метрологической надежности сводится к определению изменений во времени МХ и экстраполяции полученных результатов на интервал будущих значений времени эксплуатации.

Для исследования метрологической надежности перспективными являются математические модели, связывающие выходные характеристики проектируемых информационно-измерительных систем с параметрами комплектующих элементов, изменяющихся с течением времени. Анализ проблемы прогнозирования метрологической надежности информационно-измерительных систем показал, что наиболее приемлемым путем прогнозирования метрологической надежности информационно-измерительных систем является реализация метода, который базируется на математическом моделировании вре́менного изменения МХ информационно-измерительных систем с применением аппарата аналитико-вероятностного прогнозирования (АВП).

Суть АВП состоит в исследовании нестационарных случайных процессов вре́менного изменения МХ проектируемых ИИС с помощью их математических моделей (ММ), которые были получены методом статистического моделирования на основе накопления статистических данных о процессах временного изменения параметров элементов. Такой путь решения задачи оценки состояния МХ ИИС уже на первом этапе позволяет получить результаты прогноза изменения во времени МХ, а также провести оценку показателей метрологической надежности (МН) ИИС: вероятности сохранения метрологической ис-

правности и метрологического ресурса аналоговых блоков ИИС без проведения длительных экспериментов на стабильность МХ ИИС.

Прогнозирование процессов изменения во времени метрологических характеристик ИИС имеет своей конечной целью определение показателей метрологической надежности ИИС.

В работе предложен показатель достоверности прогнозирования, являющийся также показателем качества прогнозирования метрологической надежности, который позволяет определить степень доверия к построенным на этапе проектирования математическим моделям изменения во времени МХ ИИС и оценить качество решенной задачи прогнозирования метрологической надежности информационно-измерительных систем.

Расчет полученных аналитических зависимостей для оценки показателя достоверности позволяет не только оценить качество решенной задачи прогнозирования метрологической надежности проектируемой информационно-измерительной системы, но и определить целесообразность применения принятого вида математической модели временного изменения метрологических характеристик информационно-измерительных систем.

Библиографический список

1. Kurnosov, R. Yu. Improving Metrological Reliability of Information Measuring Systems Using Mathematical Modeling of Their Metrological Characteristics / R. Yu. Kurnosov, T. I. Chernyshova, V. N. Chernyshov // International Conference Information Technologies in Business and Industry 2018IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1015 (2018) 032077.

2. Measurement Techniques / S. V. Artemova, A. A. Artemov, V. M. Melisarov, P. A. Podkhvatilin. – 2016. – 59(4). – P. 365 – 368.

3. Proceedings of the 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIConRus 2020 / S. V. Artemova, A. A. Artemov, A. I. Ladynin, M. A. Kamenskaia. – 2020. – P. 597 – 601.

ДВУХЗЕРКАЛЬНАЯ НЕНАКЛОННАЯ ТИРОИДНО-ПАРАБОЛИЧЕСКАЯ АНТЕННА ТИПА КАССЕГРЕНА

Л. С. Ожогина

Тамбовский государственный технический университет
(e-mail: balabanova.lara2013@yandex.ru)

Рефлектор двухзеркальной ненаклонной антенны типа Кассегрена имеет такую же форму поверхности, как и рефлектор однозеркальной ненаклонной тироидно-параболической антенны (ТПА). Эта поверхность образована вращением параболы вокруг оси, перпендикулярной фокальной оси параболы, но расположенной под некоторым углом к плоскостям, вырезающий поверхность рефлектора. В результате этого геометрическое место вершин параболы образуют окружности, пересекающие рефлектор под некоторым углом к его кромкам. Геометрическое место фокусов параболы также образуют дугу, которая лежит в одной плоскости с дугой вершин и имеет с ней один центр [1, 2].

Контррефлектор двухзеркальной ненаклонной ТПА конструктивно аналогичен контррефлектору обычной двухзеркальной ТПА. Его поверхность представляет собой симметричную вырезку из гиперболического тора, полученного вращением гиперболы относительно оси, перпендикулярной фокальной оси гиперболы [1]. При этом вырезка поверхности контррефлектора осуществляется плоскостями, перпендикулярными и параллельными оси вращения, но сама эта ось совпадает с осью вращения параболы. Таким образом, кромки контррефлектора оказываются наклоненными относительно кромок рефлектора.

Геометрическое место вторых фокусов гиперболы при вращении также образует дугу окружности. На этой дуге располагаются фазовые центры облучателей. При этом дуги фокусов параболы и гиперболы имеют один центр, совпадающий с центром дуги вершин параболы [3]. Кроме того, все перечисленные дуги лежат в одной плоскости, наклоненной относительно кромок рефлектора на заданный угол.

Для характеристики рефлектора двухзеркальной ненаклонной вершины используется тот же набор параметров, что и для рефлектора однозеркальной и ненаклонной антенны. Кривизна вращения по-прежнему задается радиусом вращения R_0.

Контррефлектор двухзеркальной ненаклонной антенны типа Кассегрена характеризуется параметрами образующей его гиперболы: фокусным расстоянием f_2 и эксцентриситетом $e_2 > 1$, а также высотой рефлектора D_2 и углом его раскрыва $2\beta_0$.

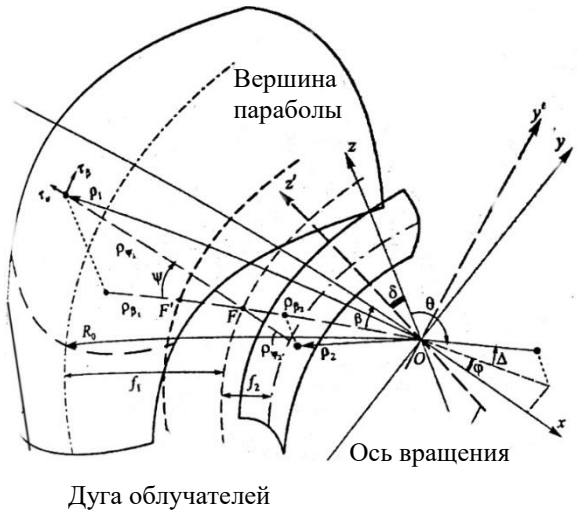


Рис. 1. Системы координат для анализа двухзеркальных ненаклонных ТПА типа Кассегрена [1]

При анализе формы зеркал ненаклонной двухзеркальной антенны типа Кассегрена, как и для однозеркальной, вводятся дополнительная прямоугольная система координат x, y', z'. Она может быть получена поворотом системы координат x, y, z вокруг оси O_x против часовой стрелки на угол β [1].

В Полярной системе координат ρ_β, угол β отсчитывается в плоскости xOy' в сторону оси Oy'. При этом уравнения сечений рефлектора и контррефлектора во всех полярных системах координат идентичны соответствующим уравнениям для ненаклоной двухзеркальный ТПА типа Кассегрена.

Уравнение контррефлектора в прямоугольной системе координат имеет вид

$$\left[(1-\mathrm{e}_2)(R_0 - f_1 - \sqrt{x_2^2 + (y_2')^2) - e_2 f_2}\right]^2 = f_2^2 - \frac{1-e_2}{1+e_2}(Z_2')^2\,. \qquad (1.1)$$

Уравнение наклоненного гиперболического тора:

$$\left[(1-\mathrm{e}_2)(R_0 - f_1 - \sqrt{x_2^2 + (\mathrm{y}_2\cos\delta + z_2\sin\delta)^2 - e_2 f_2}\right]^2 =$$

$$= f_2^2 - \frac{1-e_2}{1+e_2}(\mathrm{y}_2\sin\delta - z_2\cos\delta)^2. \qquad (1.2)$$

В прямоугольной системе x, y', z' орты прямоугольной системы X, Y, Z имеют координаты:

$$e_x = \{\sin\beta'\sin\beta_{\text{обл}}, \sin\beta'\cos\beta_{\text{обл}}, \cos\beta'\};$$

$$e_y = \{-\cos\beta'\sin\beta_{\text{обл}}, -\cos\beta'\cos\beta_{\text{обл}}, \sin\beta'\};$$

$$e_z = \{-\cos\beta'_{\text{обл}}, \sin\beta_{\text{обл}}, 0\},$$

где β' – угол наклона оси $F'Y$, отчитываемый от плоскости облучателей в сторону положительного направления оси Oz'. Для $\beta' = 0$ выражения принимают вид, соответствующий обычной двухзеркальной ТПА типа Кассегрена. Координаты ортов прямоугольной системы x, y, z в прямоугольной системе x y z находятся путем преобразования координат по закону. Для $\beta' = 0$ это приводит к следующим координатам:

Расположение точки F' на дуге облучателей и связанного с ней фазового центра облучателя описывается радиус-вектором расположенного облучателя $\rho_{обл}$, который в прямоугольной системе x, y', z' имеет координаты для определения радиуса дуги облучателей [3].

По своей форме раскрыв двухзеркальной ненаклонной ТПА типа Кассегрена идентичен раскрыву однозеркальной ненаклонной ТПА. Его геометрическая и эквивалентная площади рассчитываются согласно и с учетом обозначений ширины рефлектора и его высоты [1].

В заключение хочется отметить, что в силу свойства аффинных преобразований при переходе к прямоугольной системе координат x, y, z новая площадь области затенения получается путем умножения площади этой области до преобразования на определитель матрицы, который равен единице. Следовательно, во всех прямоугольных системах координат площадь области затенения и эквивалентная площадь тени сохраняются постоянными.

Библиографический список

1. Сомов, А. М. Многолучевые зеркальные антенны: геометрия и методы анализа : учебное пособие / А. М. Сомов, Р. В. Кабетов – М. : Горячая линия – Телеком 2019. – 245 с.
2. Синтез цилиндрической фазированной антенной решетки на основе логопериодических вибраторных антенн для систем широкополосного доступа стандарта IEE802.11, IEE802.16 / О. А. Белоусов, Р. Ю. Курносов, П. А. Горшков, А. Г. Рязанова // Вестник ТГТУ. – 2015. – № 21. – С. 266 – 272.
3. Антенны : учебное пособие / Ю. Т. Зырянов, П. А. Федюнин, О. А. Белоусов и др. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 412 с. – URL : https://e.lanbook.com/book/133478 (дата обращения: 31.05.2020).

ЭЛЕКТРОННЫЙ ТРЕНАЖЕР-ПРОГРАММАТОР

В. В. Помещиков, И. В. Тюрин, Д. А. Караваев, А. А. Тришаков

Тамбовский государственный технический университет
(e-mail: v.pomeschikov@yandex.ru)

В теории переключательных функций и конечных автоматов широкое распространение получили бинарные матрицы, которые находят свое применение при решении задач логистики, в анализе и построении электронных схем [1, 2]. Необходимость изучения основ дискретной математики для выполнения необходимых построений и расчетов является актуальной проблемой в наши дни.

Для изучения структуры работы таких типов функций необходимо сконструировать и запрограммировать электронный тренажер-программатор. В программной части стенда должны быть реализованы такие действия, как логическое вычитание, сложение, умножение и транспонирование бинарных матриц размерности 3×3. В аппаратной части необходимо наглядное отображение процесса и результатов вычислений.

Аппаратная часть электронного тренажера-программатора состоит из микроконтроллера, который выполняет необходимые расчеты, принимает сигналы с кнопочной клавиатуры (блок управления) и выводит значения на матрицы светодиодов (блок индикации) (рис. 1). Единовременно можно вводить значения только в один массив, в электронном тренажере-программаторе реализовано переключение между матрицами. Основу тренажера составляет 8-битный микроконтроллер фирмы Atmel – Atmega 2560.

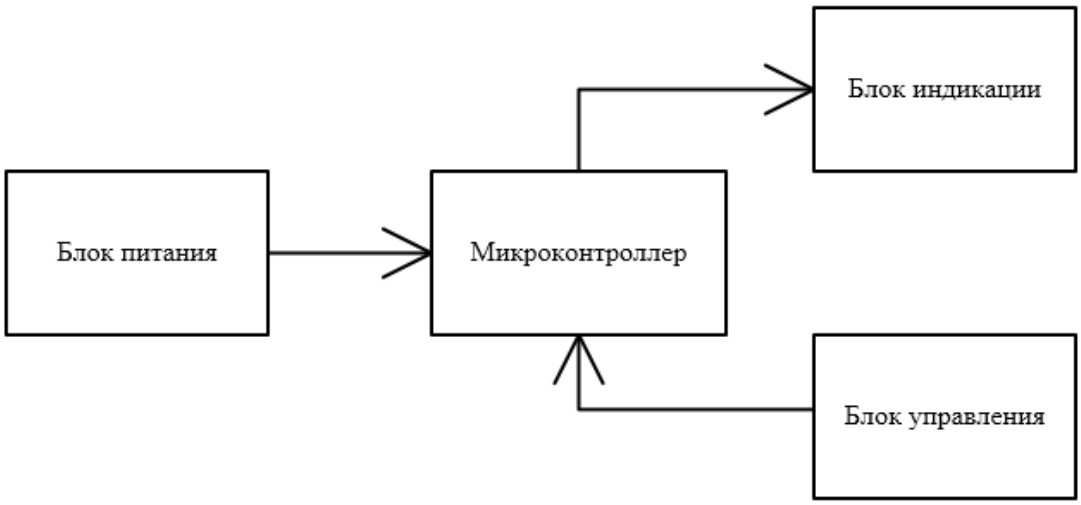


Рис. 1. Структурная схема электронного тренажера-программатора

Данный микроконтроллер был выбран, поскольку обладает высоким быстродействием для выполнения вычислений, достаточно большим количеством портов ввода-вывода для подключения периферийных устройств (54 цифровых и 16 аналоговых) и объемом памяти для хранения программы, что в полной мере удовлетворяет решению поставленных задач [3].

Суть программной части состоит в том, чтобы ввести элементы матриц *A* и *B* (1), произвести некоторые вычисления и получить результирующую матрицу *C* (2):

$$A = \left\| a_{i,j} \right\|_{n \times n}; \;\; B = \left\| b_{k,l} \right\|_{n \times n}; \tag{1}$$

$$C = \left\| c_{g,h} \right\|_{n \times n}. \tag{2}$$

Сначала вводим значения каждого элемента матриц *A* и *B*. Затем происходит выбор одного из действий, которые будут проводиться над заданными величинами:

- если выбрано сложение, то

$$A + B = C;$$

$$a_{i,j} + b_{k,l} = c_{g,h}.$$

- если выбрано вычитание, то

$$A - B = C;$$

$$a_{i,j} - b_{k,l} = c_{g,h}.$$

- если выбрано умножение, то

$$A \times B = C;$$

$$a_{i,j} \times b_{k,l} = c_{g,h}.$$

- если выбрано транспонирование, то

$$B^T = C;$$

$$b_{l,k} = c_{g,h}.$$

Так как мы оперируем только логическими значениями, то и расчеты будем выполнять согласно правилам алгебры логики (табл. 1).

1. Действия над двоичными операндами

a	*b*	*a* + *b*	*a* – *b*	*a*×*b*
0	0	0	0	0
0	1	1	1	0
1	0	1	1	0
1	1	1	0	1

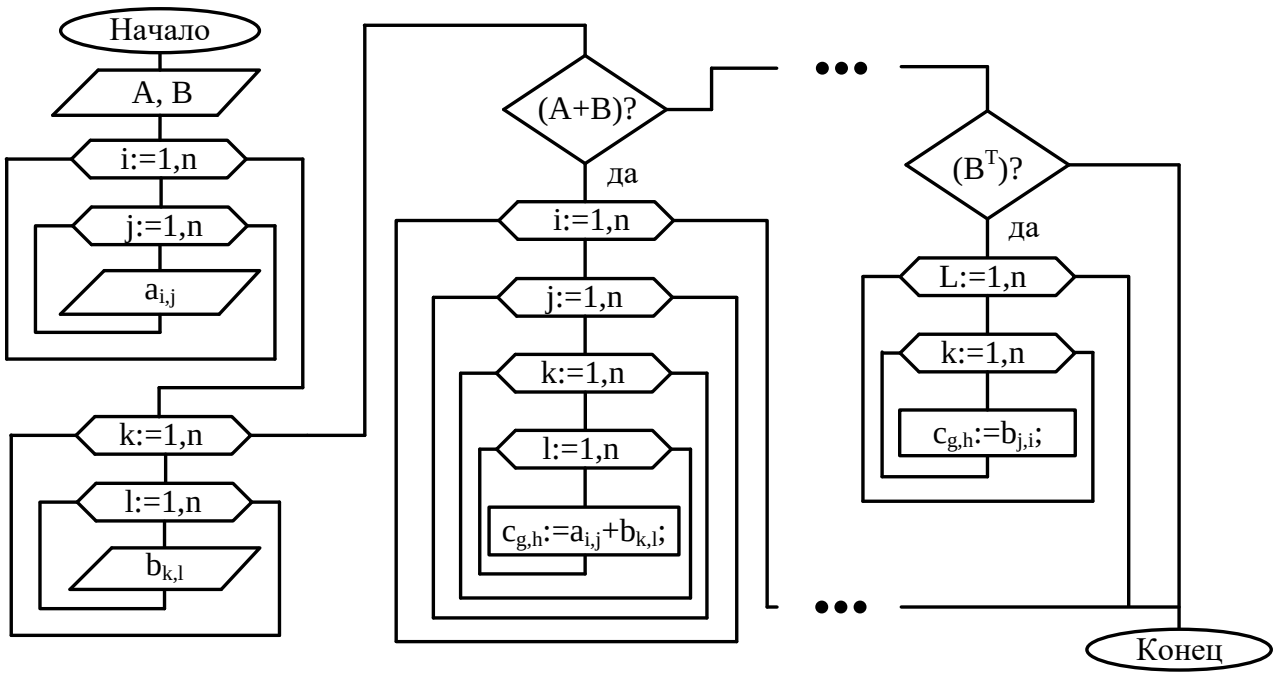


Рис. 2. Блок-схема программной части электронного тренажера-программатора

Поскольку блоки вычислений, проводимых над элементами матриц идентичны, на схеме (рис. 2) показаны только сложение и транспонирование.

При нажатии на кнопку «равно» значения из матриц A и B подставляются в формулы, соответствующие выбранному режиму вычислений. В результате полученные значения отображаются в матрице C.

Таким образом, применение электронного тренажера-программатора позволяет более подробно и наглядно изучить структуру переключательных функций, а также получить практические навыки в программировании.

Библиографический список

1. Чередникова, А. В. Дискретная математика. Теория и практика / А. В. Чередникова, О. Б. Садовская, Л. А. Каминская. – Кострома : Изд-во Костром. гос. технол. ун-та, 2011. – 74 с.

2. Элементы теории конечных автоматов и формальных языков. Электронное учебное издание. – М. : МГТУ имени Н. Э. Баумана, 2014. – 48 с.

3. Atmel ATmega640/V-1280/V-1281/V-2560/V-2561/V. – URL : http://wiki.amperka.ru/_media/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%8B:arduino-mega-2560:atmega2560_datasheet.pdf

4. Воронин, А. В. Дискретная математика: учебное пособие / А. В. Воронин. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 116 с.

РАЗРАБОТКА ДЕЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ ЦИФРОВОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ ДЛЯ СЕТЕЙ БЕСПРОВОДНОГО ШИРОКОПОЛОСНОГО РАДИОДОСТУПА ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ

Д. М. Путятин, Д. А. Караваев, А. А. Тришаков, В. И. Тетюхин

Тамбовский государственный технический университет
(e-mail: fillputt@gmail.com)

В наше время технология 5G активно развивается, немаловажную роль в этом играет создание высокоэффективной антенной системы, входящей в состав сверхмалых сот на базе компактных (малых) базовых станций на основе технологии SMART, сочетающей в себе интеллектуальные алгоритмы диаграммообразования, которые позволяют в реальном времени формировать многолучевые диаграммы направленности в зависимости от сценария радиосвязи.

Такая антенна будет иметь следующие характеристики:

1. Диапазон рабочих частот: 1,8 ГГц (1,8…1,88 ГГц).
2. Количество элементов антенны: 108 элементов.
3. Антенное устройство: плоско-кольцевая адаптивная антенная решетка с поддержкой технологии MIMO на базе ребристо-стержневых излучателей.
4. Количество формируемых лучей до 72.
5. Коэффициент усиления антенны: ≥ 32 дБ.
6. Управление лучом в вертикальной плоскости ± 45°, в горизонтальной плоскости ±180°.
7. КСВ в канале не более 1,15.
8. Полоса пропускания: до 200 МГц.

Одной из составляющих антенной системы является делитель мощности. При его разработке на микрополосковых линиях исходными данными являются волновые сопротивления портов (50 Ом) и рабочая частота устройства (1,8 ГГц). Для обеспечения компактности схемы желательно выбирать подложку с максимальным значением диэлектрической проницаемостью. В качестве подложки делителя выбран стеклотекстолит.

Разрабатываемый делитель равномерно распределяет мощность между четырьмя портами на частоте 1,8 ГГц. В качестве топологии выбраны три Т-образных равномерных делителя мощности на два. Первый расположен на входе, а второй и третий присоединяются к его выходам соответственно (рис. 1).

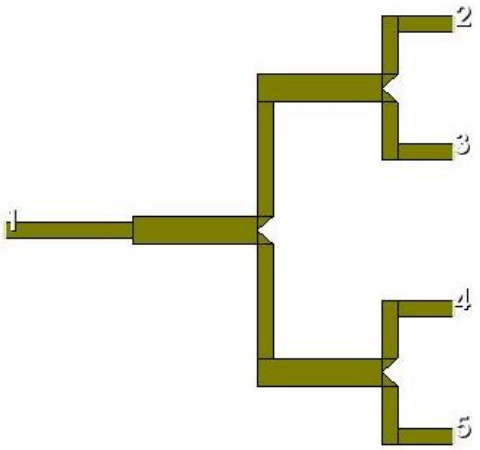


Рис. 1. Модель делителя мощности на четыре

Для расчета и моделирования делителя мощности используется специализированное программное обеспечение. При определении размеров МП для портов (50 Ом) и преобразующей линии (35 Ом) следует воспользоваться встроенным калькулятором ЛП. В нем необходимо задать параметры подложки, рабочую частоту и сопротивление. В результате получаем следующие размеры для МП 50 Ом – 2,8 мм (ширина), 22,6 мм (полная длина), для МП 35 Ом – 4,8 мм (ширина), 22 мм (полная длина).

После этого можно приступать к синтезированию модели. Следует задать параметры подложки, а именно ее диэлектрическую проницаемость и толщину, а также ширину МП. Далее, по рассчитанным значениям для сопротивлений МП, строится сам делитель, 2D- и 3D-модели которого изображены на рис. 2 и 3 соответственно.

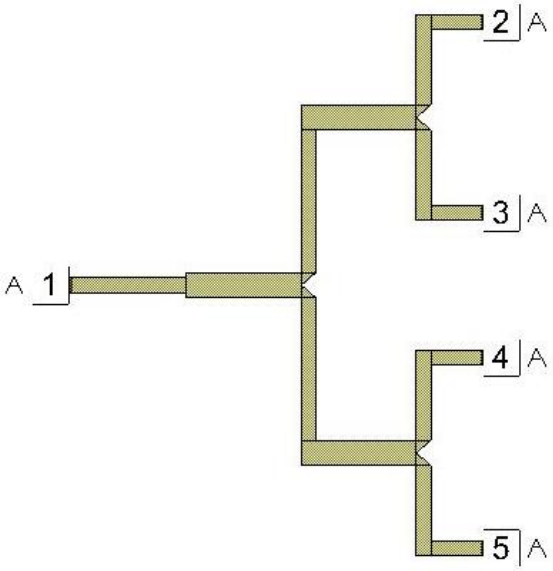


Рис. 2. 2D-модель делителя мощности

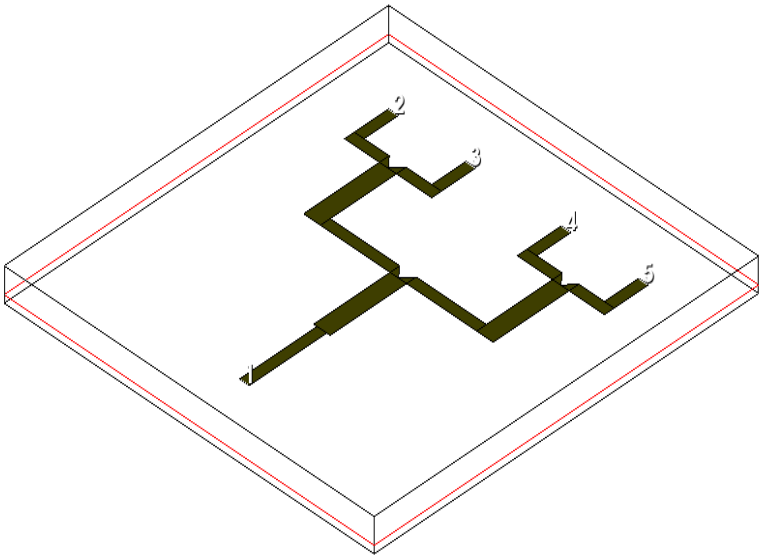


Рис. 3. 3D-модель делителя мощности

Следующим шагом является анализ частотных характеристик МУ. Для полученной модели делителя построим график для получения зависимостей параметров S11, S21, S31, S41 и S51 (рис. 4).

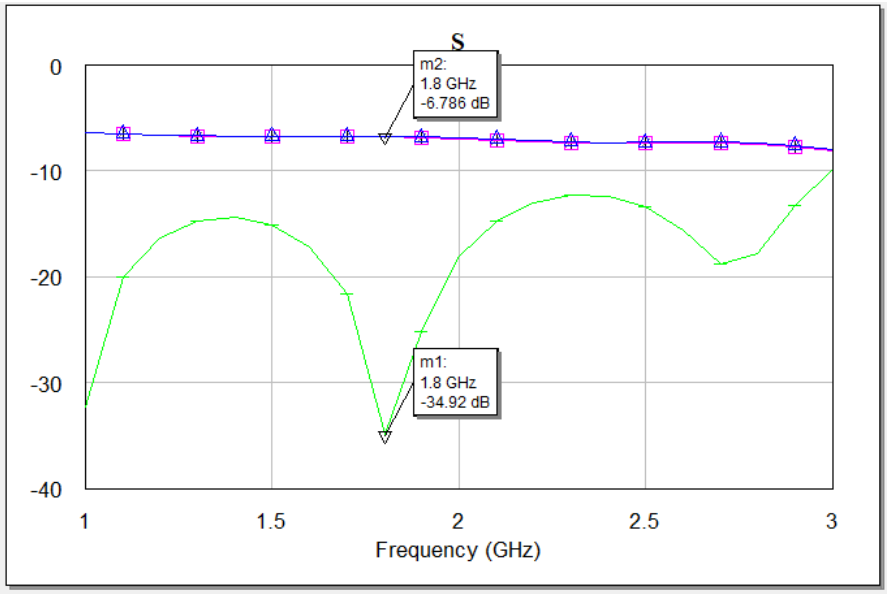


Рис. 4. Частотные характеристики делителя мощности

Из графика видно, что на частоте 1,8 ГГц параметр S11 имеет затухание –35dB, отсюда можно сделать вывод, что от входного порта отражается минимальное значение мощности. Параметры S21, S31, S41, S51 равны между собой, следовательно, мощность распределяется равномерно. Кроме того, на рабочей частоте они равны –6,8dB, следовательно, мощность, получаемая на выходе делителя, не испытывает большого затухания.

По полученным результатам можно сделать вывод о том, что делитель полностью соответствует заданным параметрам, а именно обеспечивает небольшое затухание на рабочей частоте и обладает минимальным отражением мощности по входу. Такой делитель мощности может применяться не только в антеннах, но и в различных радиоэлектронных устройствах.

Библиографический список

1. Колмыкова, А. С. Построение сверхширокополосных излучателей с применением интегрированных печатных волноводов телевидения / А. С. Колмыкова, О. А. Белоусов, Р. Ю. Колмыков, А. И. Дякин // Вопросы современной науки и практики. университет им. В. И. Вернадского. – № 4(66). – 2017. – С. 214 – 220.

2. Белоусов, О. А. Фазированная антенная решетка для систем цифрового телевидения / О. А. Белоусов, С. Н. Калашников // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – № 3(53) – С. 62 – 68.

3. Зелкин, Е. Г. Методы синтеза антенн / Е. Г. Зелкин, В. Г. Соколов. – М. : Сов. Радио, 1980. – 296 с.

4. Применение алгоритмов нечеткой логики в системе управления диаграммообразующим устройством гибридной зеркальной антенны / О. А. Белоусов, Е. В. Рязанов, А. С. Колмыкова, А. И. Дякин // Программные продукты и системы. – 2018. № 4. – С. 757 – 762.

5. Approximation of distribution law of experimental test data to assess reliability of information-measuring and control systems / Yu. T. Zyryanov, I. G. Ryazanov, A. Yu. Naumova, D. Yu. Muromtsev, N. G. Chernyshov, E. V. Trapeznikov // Journal of Physics: Conference Series. XIII International Scientific and Technical Conference “Applied Mechanics and Systems Dynamics”. – 2020. – С 1441:012081. – P. 1 – 8.

6. Application of Generalized Distribution Laws for the Reliability Assessment of Information and Measuring Systems of Energy Saving Control / Yu. T. Zyryanov, N. G. Chernyshov, I. G. Ryazanov, A. Yu. Naumova, M. F. & Dioumessy // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1172 (2019) 012108, 2019, March, Vol. 1172, No. 1.

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПРИМЕНЯЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ В РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

З. М. Селиванова, К. В. Скоморохов, А. В. Куприянов

Тамбовский государственный технический университет,
Россия, Тамбов
(e-mail: selivanova_zm@mail.ru)

В радиоэлектронной промышленности находят широкое применение теплопроводящие материалы, применяющиеся при монтаже терморегистрирующих и теплоотводящих средств, к которым относится ряд модулей охлаждений, термоиндикаторов, теплоотводящих деталей с использованием фольги, радиаторов силовых приборов и микроконтроллеров, усилителей шлейфового провода и т.д. Теплопроводными материалами являются пасты и прокладки. В радиоэлектронных средствах применяются радиоматериалы: гетинакс, стеклотекстолит, полиамид и др. Тепловые параметры радиоэлектронных устройств зависят от значения теплопроводности диэлектрического материала печатных плат, в качестве которых применяются препреги с использованием стеклотканей и эпоксидных смол с теплопроводящими наполнителями. Для изготовления пленочных интегральных микросхем используются керметы (металлокерамика), которые относятся к искусственным композиционным материалам, состоящим из керамических веществ (оксид алюминия – Al_2O_3) и металлов (вольфрам, молибден, никель). Керметы производят различными способами: прессованием, спеканием, прокаткой и др. [1].

Поэтому неразрушающий контроль (НК) теплопроводности радиоматериалов является важной и актуальной задачей.

Цель исследования – повышение точности неразрушающего контроля теплопроводности радиоматериалов и расширение функциональных возможностей информационно-измерительной системы в результате применения методов искусственного интеллекта в условиях неопределенности теплофизических измерений.

Поставленная цель достигнута при решении ряда задач:

– создание методики неразрушающего контроля теплопроводности радиоматериалов и изделий радиоэлектронных средств с учетом их диапазона теплопроводности;

– разработка интеллектуальной информационно-измерительной системы (ИИИС) для определения коэффициента теплопроводности материалов радиоэлектронных изделий.

Коэффициент теплопроводности λ характеризует теплопроводность материалов и применяется для определения возможности материала проводить тепло к менее нагретым поверхностям от более нагретых поверхностей [2]:

$$\lambda = Ql / S(T_2 - T_1)\tau,$$

где λ – коэффициент теплопроводности, Вт/м·К; Q – количество передаваемого тепла, Вт; l – толщина исследуемого материала, м; S – площадь объекта исследования, м$^{2;}$ $(T_2 - T_1)$ – разность температур материала, ^{o}С; τ – время, с.

Разработана ИИИС неразрушающего контроля теплопроводности радиоматериалов, структурная схема которой приведена на рис. 1 [3, 4]. Преимуществом предложенной системы являются: применение цифрового измерительного канала, адаптация мощности теплового воздействия под исследуемые радиоматериалы в результате реконфигурирования структурных компонентов ИИИС.

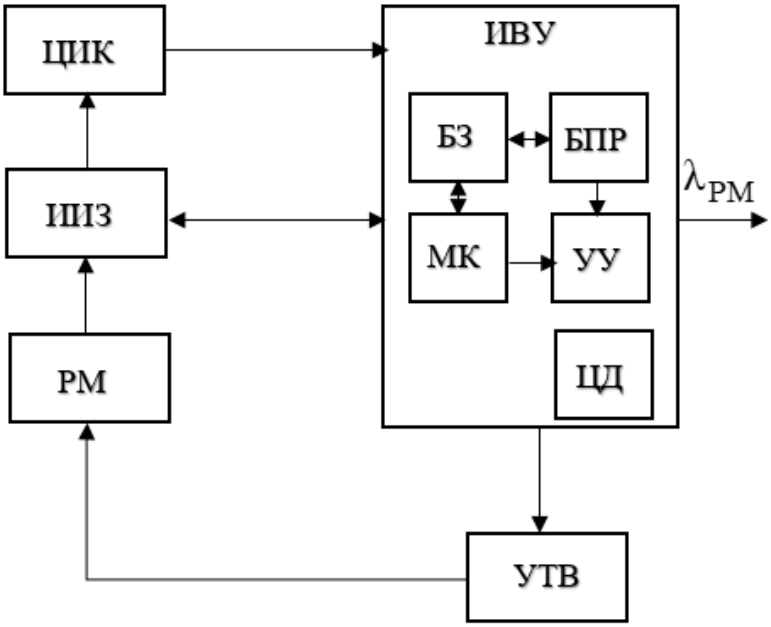


Рис. 1. Структурная схема ИИИС НК теплопроводности радиоматериалов:
РМ – радиоматериалы; ИИЗ – интеллектуальный измерительный зонд;
ЦИК – цифровой измерительный канал; ИВУ – интеллектуальное вычислительное устройство; БЗ – база знаний; БПР – блок принятия решений; МК – микроконтроллер;
УУ – устройство управления; УТВ – устройство теплового воздействия;
ЦД – цифровой дисплей; $\lambda_{РМ}$ – коэффициент теплопроводности радиоматериалов

Алгоритм функционирования ИИИС реализует разработанную методику неразрушающего контроля теплопроводности радиоматериалов. Методика включает следующие процедуры: снятие тестовой термограммы при заданном тепловом воздействии на исследуемый материал с помощью интеллектуального

измерительного зонда; определение теплопроводности объекта исследования, выбор метода контроля и установление режимных параметров эксперимента в соответствии с диапазоном теплопроводности материала с использованием методов искусственного интеллекта; проведение теплофизических измерений согласно сформированной измерительной ситуации. Микроконтроллер с использованием информации базы знаний, блока принятия решений, устройства управления реализует измерительную ситуацию, выполняет обработку измерительной информации, расчет коэффициента теплопроводности λ радиоматериалов с использованием экспериментальных термограмм и индикацию полученных результатов на цифровом дисплее.

Установлена зависимость коэффициентов теплопроводности радиоматериалов от одного из основных влияющих факторов – температуры окружающей среды [5, 6]. На рисунке 2 в качестве примера приведена зависимость $\lambda = f(T)$ для материала кермет.

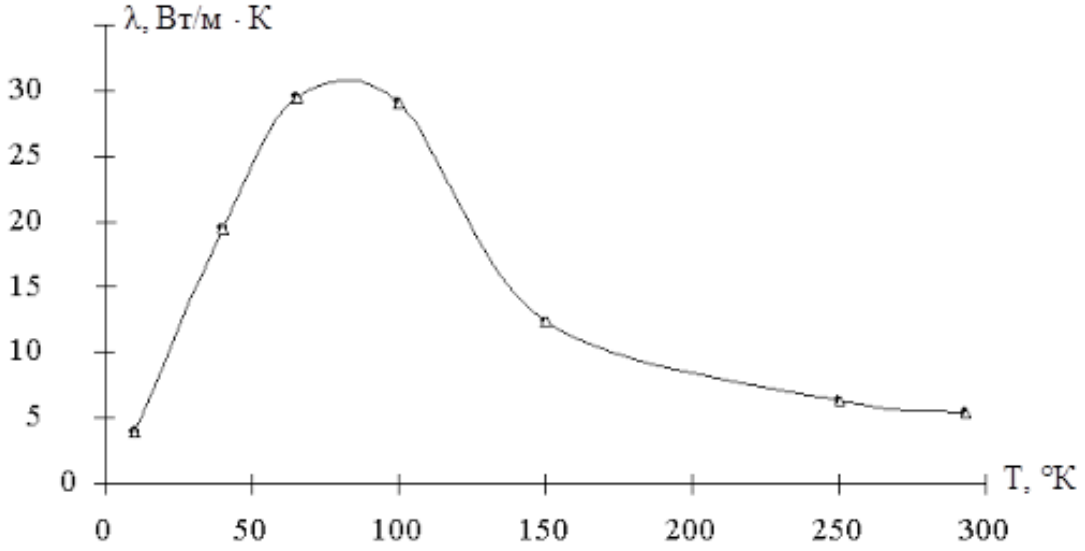


Рис. 2. График зависимости теплопроводности кермета от температуры $\lambda = f(T)$

Результаты экспериментальных исследований интеллектуальной информационно-измерительной системы НК теплопроводности радиоматериалов и относительная погрешность определения коэффициентов теплопроводности приведены в табл. 1. Результаты метрологического анализа данных теплофизического эксперимента показывают соответствие относительных погрешностей измерений (не превышает 6 %) допустимым нормируемым значениям.

1. Результаты расчета относительной погрешности определения теплопроводности диэлектриков в радиоэлектронной аппаратуре

Радиоматериалы	Справочная информация	Измеренная информация	Расчетная погрешность измерения
	λ, Вт/м·К	λ, Вт/м·К	δ_λ, %
Гетинакс	0,36	0,38	5,56
Полиамид	0,17	0,18	5,88
Стелотекстолит	0,25	0,26	4,00
Кермет	15,82	14,92	5,69
Кварцевое стекло	1,35	1,42	5,18
Фторопласт	0,24	0,25	4,17

Библиографический список

1. Покровский, Ф. Н. Материалы и компоненты радиоэлектронных средств / Ф. Н. Покровский. – М. : Горячая линия – Телеком, 2005. – 352 с.

2. Лыков, А. В. Теория теплопроводности : учеб. пособие / А. В. Лыков. – М. : Высш. школа, 1967. – 600 с.

3. Селиванова, З. М. Математические модели и алгоритм для совершенствования информационно-измерительной системы неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов / З. М. Селиванова, Т. А. Хоан // Вестник ТГТУ. – 2016. – Т. 22, № 4. – С. 520 – 534.

4. Selivanova, Z. M. Increasing the Accuracy of Data-Measuring Systems for the Nondestructive Testing of the Thermal Properties of Solids / Z. M. Selivanova, T. A. Khoan // Measurement Techniques. – Vol. 58, No. 9. December, 2015, P. 1010 – 1015.

5. Approximation of distribution law of experimental test data to assess reliability of information-measuring and control systems / Yu. T. Zyryanov, I. G. Ryazanov, A. Yu. Naumova, D. Yu. Muromtsev, N. G. Chernyshov, E.V. Trapeznikov // Journal of Physics: Conference Series.1441 (2020) 012081. – P. 1 – 8.

6. Application of Generalized Distribution Laws for the Reliability Assessment of Information and Measuring Systems of Energy Saving Control / Yu. T. Zyryanov, N. G. Chernyshov, I. G. Ryazanov, A. Yu. Naumova, M. F. Dioumessy // Journal of Physics: Conference Series. 1172 (2019) 012108, March, Vol. 1172, N. 1.

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

С. П. Юрченко, Д. А. Камнев

ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Россия
(e-mail: vaiu@mil.ru)

Развитие вычислительной техники и средств передачи информации привело к возникновению компьютерных сетей, сетей передачи информации В связи с этим активно проводили исследования по проектированию и анализу функционирования информационных сетей С. Браун, Д. Камер, М. Левин, Ю. Новиков, В. Г. Олифер, Ф. Паппас, Э. Рензинг, В. Самойленко, Д. Слайс, М. Спортак, А. П. Пятибратов, А. Ретана, Р. Уайт. Основной целью данных исследований являлась разработка положений и научно обоснованных технических решений, обеспечивающих эффективность и повышение качества администрирования информационных сетей (ИС).

В качестве аналитических моделей сети в целом и отдельных ее элементов использовали сети и системы массового обслуживания (СМО).

Каждая СМО предназначена для обслуживания (выполнения) некоторого потока заявок (или требований), поступающих на вход системы, большей частью не регулярно, а в случайные моменты времени. Обслуживание заявок, в общем случае, длится не постоянно и случайное время. После обслуживания заявки канал освобождается и готов к приему следующей заявки. Случайный характер потока и времени их обслуживания приводит к неравномерной загруженности СМО: в некоторые промежутки времени на входе СМО могут скапливаться необслуженные заявки (они либо становятся в очередь, либо покидают СМО необслуженными), в другие же периоды при свободных каналах на входе СМО заявок не будет, что приводит к недогрузке СМО, т.е. к простаиванию каналов.

Потребное количество каналов радиосвязи, телефонной и телеграфной связи определяется оперативно-тактическими требованиями к связи, вытекающими из задач управления истребительной авиации.

Система связи в условиях автоматизации управления истребительной авиации включает две составные части:

– систему связи, обеспечивающую командиру (штабу) управление подчиненными войсками при организации, планировании боевых действий и в ходе

операции, принципы построения которой вытекает из опыта современных локальных войн, а также управления боевой работой и перемещения отдельных технических средств автоматизированной системы;

– систему телекодовой связи, обеспечивающей передачу информации в интересах автоматизированного решения трудоемких задач, ручное выполнение которых сопряжено с бóльшими затратами времени и труда.

Потребное количество каналов связи сводится к определению числа каналов по коэффициенту их загрузки и коэффициенту исправного действия.

Коэффициент загрузки канала в час наибольшей нагрузки (ЧНН) определяется по формуле

$$Ю_{чнн} = \frac{Jчнн}{3600\ Rэ}, \qquad (1)$$

где $Jчнн$ – суммарное количество информации в двоичных единицах, которое необходимо передать на данном направлении в ЧНН; $Rэ$ – эксплуатационная скорость передачи информации.

Выражение (1) позволяет определить потребное количество каналов связи из условий наиболее плотной «упаковки» информации в канале связи. В процессе управления истребительной авиацией информация, за исключением данных о воздушной обстановки, носит нерегулярный характер. Если определить потребное количество каналов связи по указанной выше формуле, то в процессе передачи информации оперативная ценность сообщений может быть потеряна в результате совпадения времени поступления их в канал связи и связанной с этой задержкой в передаче по каналам связи, так как по степени срочности примерно равноценны.

Нам предоставляется целесообразным при определении потребного количества каналов связи для передачи нерегулярной информации воспользоваться теорией массового обслуживания.

Вероятность отказа $P_{отк}$ в М-канальной системе массового обслуживания с отказами при простейшем (Пауссоновском) потоке заявок выражается формулой Эрланга:

$$P_{отк} = \frac{\frac{\alpha^m}{M!}}{\sum_{к=0}^{m} \frac{\alpha^к}{M!}}, \qquad (2)$$

где α – приведенная плотность потока заявок (среднее число заявок, приходящееся на среднее время обслуживания одной заявки).

Вероятность потери сообщения $P_п$ одноканальной системе (M = 1) будет

$$P_п = \frac{\alpha}{1+\alpha}. \qquad (3)$$

Среднее время передачи сообщения (обслуживания заявки)

$$\bar{t}_{\text{пер}} = \frac{\bar{J}}{c}, \tag{4}$$

где $\bar{J}$ – среднее количество информации в сообщении; c – пропускная способность канала связи.

Решив (3) относительно α и подставив в полученное выражение $\alpha = \frac{c_{\text{р}}}{\text{c}}$, где $c_{\text{р}} = \alpha\bar{J}$ – реальная пропускная способность канала при заданной вероятности потери сообщения будем иметь

$$c_{\text{р}} = \frac{P_n\, c}{1 - P_n}.$$

Для оценки надежности связи необходимо пользоваться ее характеристикой, учитывающей динамику изменения надежности во времени.

При исследовании надежности электронного оборудования рекомендуется использовать экспоненциальный закон надежности, выражаемый соотношением

$$P = e^{-\frac{t}{t_{\text{бо}}}}, \tag{5}$$

где P – вероятность безотказной работы в течение заданного рабочего времени t (длительность выполнения задания); $t_{\text{бо}}$ – среднее время безотказной работы.

Для определения потребного количества каналов связи необходимо просуммировать плотности потоков информации по всем информационным группам раздельно по входной и выходной информации источника. Так как при этом учитывается частота повторения сообщений по видам информации, по плотности результирующих входящего и исходящего потоков представляют собой математическое ожидание плотностей этих потоков.

В процессе управления оперативно-тактической авиацией допустимо некоторое запаздывание информации, поэтому представляется целесообразным функционирование системы связи как системы с ограниченным временем ожидания.

Вероятность потери сообщений необходимо брать весьма низкой. Очевидно, что по своей величине она должна быть примерно одного порядка с вероятностью безотказной работы системы связи. При использовании системы автоматического запроса ошибки определяем эксплуатационную скорость передачи информации. Затем по графику $c_{\text{р}} = f(m)$ на основании неравенства

$\sum_{\kappa=0}^{m} \frac{\alpha^{\kappa}}{M!} \leq c_{\text{р}}$ и оперативно-тактических требований ко времени запаздывания информации находим требуемое количества каналов связи.

Библиографический список

1. Системы связи: учебное пособие для студентов (курсантов) вузов / С. И. Макаренко, В. И. Сапожников, Г. И. Захаренко, В. Е. Федосеев ; под общ. ред. С. И. Макаренко. – Воронеж : ВАИУ, 2011. – С. 285.
2. Гаврюшин, В. Н. Системы связи и телекоммуникаций: Авиационная аппаратура внутренней связи : учебное пособие / В. Н. Гаврюшин. – ВУНЦ ВВС «ВВА», 2017. – С. 144.
3. Войткевич, К. Л. Методы управления трафиком в наземно-воздушных сетях связи : дис. … д-ра техн. наук по спец. 05.13.01 / К. Л. Войткевич. – Н. Новгород : НПП «Полет», 1998. – С. 375.
4. Верба, В. С. Организация информационного обмена в сетецентрических боевых операциях / В. С. Верба, С. С. Поливанов // Радиотехника. – 2009. – № 8. – С. 57 – 62.

СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЕМ ТОЧЕК ДОСТУПА В РАМКАХ ПРОЕКТА «УСТРАНЕНИЕ ЦИФРОВОГО НЕРАВЕНСТВА» (УЦН)

Р. С. Сивков, Н. Г. Чернышов

Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов

(e-mail: mv-elegant@mail.ru, nchtamb@yandex.ru)

Сегодня ряд компаний, деятельность которых связана с развитием инфраструктуры коммуникаций различного типа, сталкивается с необходимостью обеспечивать централизованный контроль технических процессов и безопасность сети автономных аппаратных комплексов, которые могут быть «разбросаны» на больших расстояниях и находиться зачастую в труднодоступных районах, на незаселенных территориях или в местах, не оборудованных наземными каналами связи.

Такие задачи, например, приходится решать операторам сотовой связи при обслуживании базовых станций, энергетикам при построении сети ком-

плектных трансформаторных подстанций, теле и радиокомпаниям, транслирующим свои программы в отдаленные районы страны и, в том числе, провайдерам телеком услуг и цифровых сервисов.

Федеральный проект устранения цифрового неравенства стартовал в России в 2014 году и призван обеспечить доступом в Интернет все малые населенные пункты страны, в которых проживает от 250 до 500 человек. «Ростелеком», как национальный цифровой провайдер, стал исполнителем проекта. Точки доступа УЦН обеспечивают доступ в Сеть на скорости не менее 10 Мбит/с. Всего по проекту социальным доступом в Сеть должны быть обеспечены почти 14 тысяч российских сел и деревень до конца 2024 года. Для этого запланировано проложить 200 тыс. км новых оптоволоконных линий передачи.

Строительство сетей по технологии WiFi рассматривается как основной подход к решению проблемы цифрового неравенства в районах с низкой плотностью застройки.

В большинстве случаев оборудование размещается на вновь устанавливаемых опорах – столбах УЦН. При развертывании сети в населенном пункте первоначально выбирается место установки столба УЦН, на котором располагается все оборудование. К столбу УЦН подводится электропитание 220В и магистральная ВОЛС (волоконно-оптическая линия связи). На рисунке 1 представлен пример монтажа точки доступа по проекту «Устранение цифрового неравенства».

Рис. 1. Пример монтажа точки доступа по проекту «Устранение цифрового неравенства»

На столбе монтируется узел устранения цифрового неравенства (УУЦН), состоящий из шкафа, коммутатора Ethernet, АКБ и вспомогательного оборудования для мониторинга систем УУЦН. Коммутатор Ethernet в составе УУЦН подключается к оптическому кроссу ШЭ при помощи оптического патч-корда. Коммутатор служит точкой доступа к транспортной пакетной сети доступа и предназначен как для подключения к сети точек беспроводного доступа, так и для подключения возможных клиентов B2C, B2B, B2G, B2O при помощи технологии ETTH. Электроснабжение узла УУЦН осуществляется от ШЭ через дополнительный автомат, расположенный в шкафу УЦН.

На столбе монтируется оборудование точки доступа (ТД), на базе которого организуется WiFi Hot Spot.

Существует объективная необходимость в разработке и апробации системы контроля состояния и удаленного управления оборудованием точек доступа УЦН.

Оборудование должно предоставлять оператору следующий набор функций:

– возможность дистанционного контроля и при необходимости переключения фаз в сети 220 В;

– контроль сетевой активности и при ее отсутствии оповещение оператора;

– самостоятельное или по команде оператора формирование независимого канала связи;

– телеметрия основного оборудования с использованием датчиков температуры, запыленности;

– функции охранной сигнализации. Датчики открытия двери и нарушения положения шкафа.

Данный перечень не полон и может быть дополнен и другими опциями. Например, для частных домовладений и малоэтажной застройки будет полезна функция контроля систем автономного отопления.

Так же данное оборудование не должно быть дорогим, желательно использование серийно производимого оборудования и типовых легко интегрируемых и масштабируемых решений.

Библиографический список

1. Программа «Цифровая экономика Российской федерации»: постановление Правительства Рос. Федерации от 28.07.2017 № 1632-р // Собр. законодательства Рос. Федерации. – 2017.

2. Публичное акционерное общество Ростелеком [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.rt.ru/. – Дата обращения: 02.04.2021. – Загл. с экрана

3. Техническая политика проектирования и строительства узлов доступа в рамках проекта «Устранение цифрового неравенства» в ПАО «Ростелеком» / Редакция 3/, 2016.

4. Денисьева, О. М. Средства связи для «последней мили» / О. М. Денисьева, Д. Г. Мирошников. – М. : Эко-Трендз, 1998. – 130 с.

MIMO-АНТЕННЫЕ СТРУКТУРЫ ДЛЯ СИСТЕМ ШИРОКОПОЛОСНОГО ДОСТУПА НА ОСНОВЕ ДИСКОВОГО МИКРОПОЛОСКОВОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ В МИЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ

К. В. Скоморохов, Д. А. Караваев

Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов
(e-mail: Kirillv6812@gmail.com)

В наше время можно заметить бурный рост объемов информации в подвижных сетях связи четвертого поколения. Для обеспечения необходимой скорости абонентам, операторам приходится искать методы для повышения скорости передачи данных или по повышению эффективности использования частотного ресурса. Для решения таких задач прекрасно подходят MIMO-антенные структуры.

Пространственно-временная технология STP (Space-Time Processing) является одной из наиболее исследуемых технологий беспроводной связи, так как она предлагает решение таких проблем, как помехи, полосы пропускания и дальности действия [1].

Чтобы воспользоваться богатой структурой радиоканала с пространственно-временным разделением для систем, состоящих из нескольких антенных элементов, применяется адаптивная пространственно-временная обработка сигналов. В зависимости от числа антенн канал может быть одиночного SI (Single Input) или множественного входа MI (Multiple Input) – для передачи, или одиночного SO (Single Output) или множественного выхода MO (Multiple Output) соответственно. При использовании STP как в передающей, так и приемной стороне, принято говорить об использовании метода многоканального входа – многоканального выхода MIMO (Multiple Input, Multiple Output).

В MIMO-системе высокоскоростной поток двоичных сигналов разделяется в передатчике на независимые двоичные последовательности с их последующей одновременной передачей с помощью нескольких антенн. Затем осуществляется кодирование каждого подпотока в канальные символы. Так как используется один спектр частот, то при передаче происходит смешивание сигналов в беспроводном канале. После определения матрицы смешения с помощью настроечных символов для получения увеличенной скорости передачи сигнала осуществляется рекомбинация отдельных двоичных потоков [2]. Такое существенное увеличение эффективности заключается в том, что потоки данных, поступающие в приемники от передатчиков, являются слабо коррелированными, что обусловлено наличием сильного рассеивающей среды [3].

Пропускная способность канала является мерой передачи максимального возможного количества информации через канал связи и ее приема с пренебрежимо малой вероятностью возникновения ошибок [4]. При наличии одной передающей и одной приемной антенн предел максимальной скорости передачи данных для одного пользователя может быть представлен с помощью универсального выражения Шеннона:

$$C = B\log_2\left(1+\frac{P_T}{\sigma^2}|h|^2\right) \text{ [bits/s]}, \qquad (1)$$

где P_T – общая мощность излучения; σ^2 – мощность белого гауссова шума в пределах ширины полосы пропускания канала B и $|h|^2$ – коэффициент усиления по мощности (мгновенной) канала.

При использовании на передающей и приемной стороне нескольких антенн и отсутствии в канале передачи мгновенной информации, уравнение Шеннона может быть обобщено:

$$C = B\log_2\left[\det\left(I_N + \frac{P_T}{M\sigma^2}HH^H\right)\right] = \sum_{k=1}^{n}\log_2\left(1+\frac{\rho}{M}\frac{\lambda_k}{n}\right) \text{ [bits/s]}, \qquad (2)$$

где I_N – единичная матрица, $|h|^2$ заменяется на HH^H и P_T/σ^2 – на ρ (для удобства), $n = \min(M, N)$, где λ_k – собственные значения HH^H. Элементами матрицы H представлены h_{nm} независимые канальные коэффициенты между M передающими и N приемными антеннами. Следует отметить, что это выражение

предполагает, что доступная мощность передачи P_T равномерно распределена между M передающими антеннами. Общая пропускная способность широкополосного MIMO-канала определяется выражением

$$C = \frac{B}{L}\sum_{l=0}^{L-1}\log_2\left[\det\left(I_N + \frac{\rho}{MS}H_l H_l^H\right)\right] \text{ [bits/s]}, \quad (3)$$

$$C = BN\log_2\left(1+\frac{\rho}{N}\right) \to \frac{B}{\ln 2}\rho \text{ если } N \to \infty \quad (4)$$

В отличие от первого случая, где была использована одна передающая и одна приемная антенна, увеличение пропускной способности имеет линейный, а не логарифмический характер, причем с ростом отношения сигнал–шум, что свидетельствует о существенном преимуществе использования параллельной передачи [4]. В качестве MIMO-антенной структуры рассмотрим прямоугольную антенную решетку на основе дисковых микрополосковых излучателей. Структурная схема излучателя данной решетки представлена на рис. 1. На рисунке 2 приведены характеристики антенной решетки.

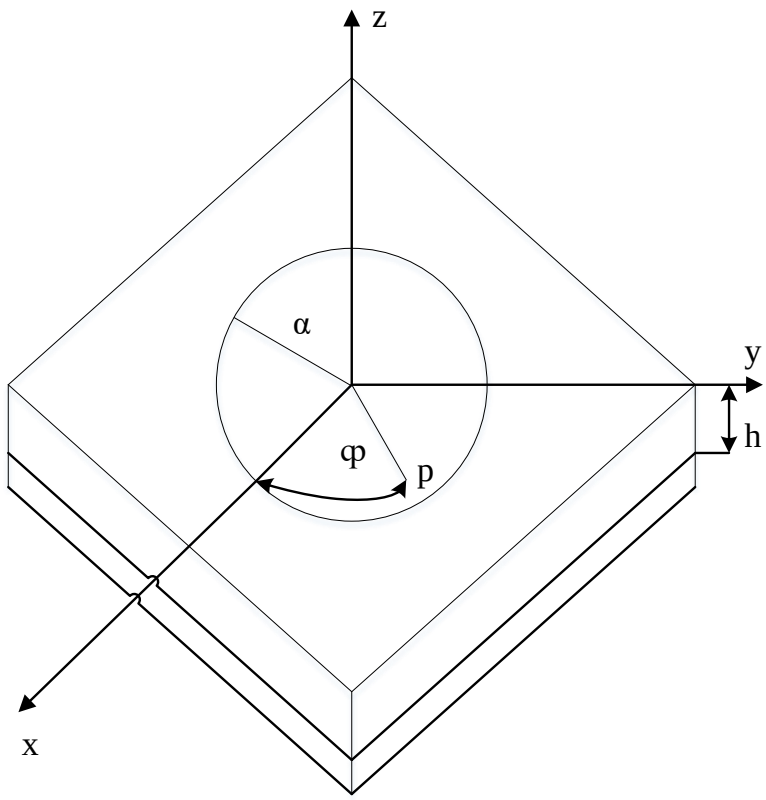


Рис. 1. Структурная схема излучателя

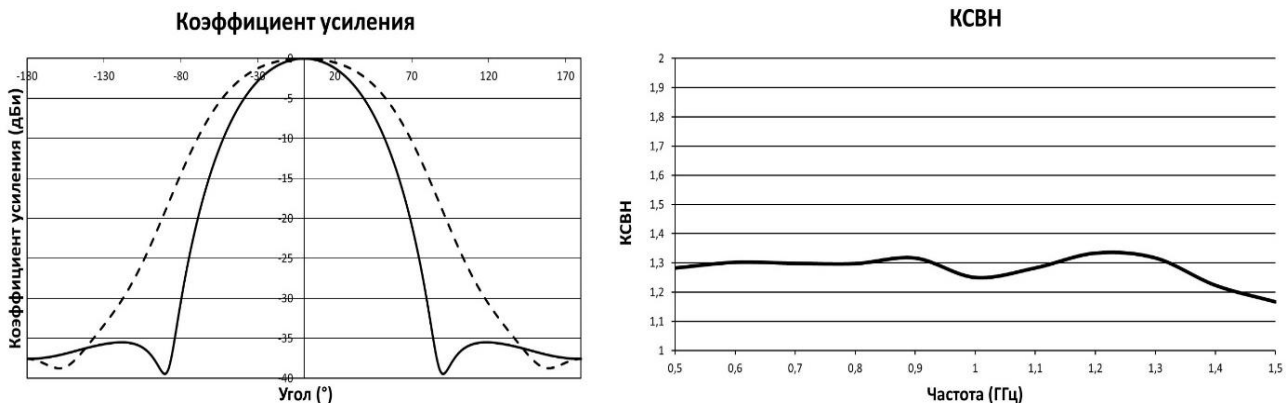


Рис. 2. Характеристики антенной решетки:
а – диаграмма направленности; *б* – зависимость КСВН от частоты

Применение MIMO-антенных структур на основе дисковых микрополосковых излучателей для систем широкополосного доступа позволит повысить надежность систем, а также упростить их ремонт за счет простоты своей конструкции. За счет применения современных алгоритмов диаграммообразования имеется возможность интеграции в интеллектуальные беспроводные широкополосные самоорганизующиеся сети.

Библиографический список

1. Белоусов О. А. Фазированная антенная решетка для систем цифрового телевидения / О. А. Белоусов, С. Н. Калашников // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – № 3(53). – С. 62 – 68.

2. Применение алгоритмов нечеткой логики в системе управления диаграммообразующим устройством гибридной зеркальной антенны / О. А. Белоусов, Е. В. Рязанов, А. С. Колмыкова, А. И. Дякин // Программные продукты и системы. – 2018. – № 4. – С. 757 – 762.

3. Approximation of distribution law of experimental test data to assess reliability of information-measuring and control systems / Yu. T. Zyryanov, I. G. Ryazanov, A. Yu. Naumova, D. Yu. Muromtsev, N. G. Chernyshov, E. V. Trapeznikov // Journal of Physics: Conference Series. XIII International Scientific and Technical Conference "Applied Mechanics and Systems Dynamics". – 2020. – С 1441:012081. – P. 1 – 8.

4. Application of Generalized Distribution Laws for the Reliability Assessment of Information and Measuring Systems of Energy Saving Control / Yu. T. Zyryanov, N. G. Chernyshov, I. G. Ryazanov, A. Yu. Naumova // & Dioumessy, M. F IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1172 (2019) 012108, 2019, March, Vol. 1172, No. 1.

СЕТЬ РАДИОСВЯЗИ С АДАПТИВНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ВРЕМЕНЕМ ИЗЛУЧЕНИЯ ПЕРЕДАТЧИКОВ

А. С. Скорик, А. В. Рябов

ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Россия
(e-mail: ryalvy@mail.ru)

Одним из ключевых вопросов при управлении авиационными формированиями в современных боевых действиях является обеспечение устойчивости и разведзащищенности системы связи. При этом наиболее выраженными демаскирующими признаками обладают средства радиосвязи, важность использования которых при построении системы связи авиационного формирования и обеспечения управления авиацией достаточно высока. В этих условиях обеспечение разведзащищенности системы радиосвязи авиационного формирования является актуальной задачей.

В качестве показателя разведзащищенности может использоваться коэффициент разведзащищенности $K_{рз}$, определяемый выражением [1]

$$K_{рз} = 1 - p_{обн} \cdot p_{оц}, \qquad (1)$$

где $p_{обн}$ и $p_{оц}$ – вероятности обнаружения и оценки параметров радиосигналов системами радио и радиотехнической разведки (РРТР).

Обнаружение источника радиоизлучения системой РРТР осуществляется по его энергетическим параметрам [1, 2]. Далее система РРТР проводит оценку параметров сигналов в целях идентификации источника радиоизлучения и отождествления его с определенным элементом системы управления. Точность оценки параметров сигналов зависит от соотношения между временем оценки $t_{оц}$ и временем излучения передатчиков $t_{и}$ на одной частоте. При этом коэффициент разведзащищенности элемента сети радиосвязи, при фиксированном значении вероятности его обнаружения, связан со временем излучения передатчика экспоненциальной зависимостью (рис. 1) [1]. Поскольку сети авиационной радиосвязи предназначены для передачи командной (речевой), телеграфной и телекодовой информации, то среднее время непрерывного излучения передатчика на одной частоте $t_{и}$, как правило, не превышает 10…15 с. При этом, как следует из представленной на рис. 1 зависимости, при времени излучения более 10 с $K_{рз}$ составляет менее 0,65. Таким образом,

при фиксированных значениях времени оценки, вероятность оценки полностью определяется параметрами сигналов и режимами работы средств радиосвязи [1, 2].

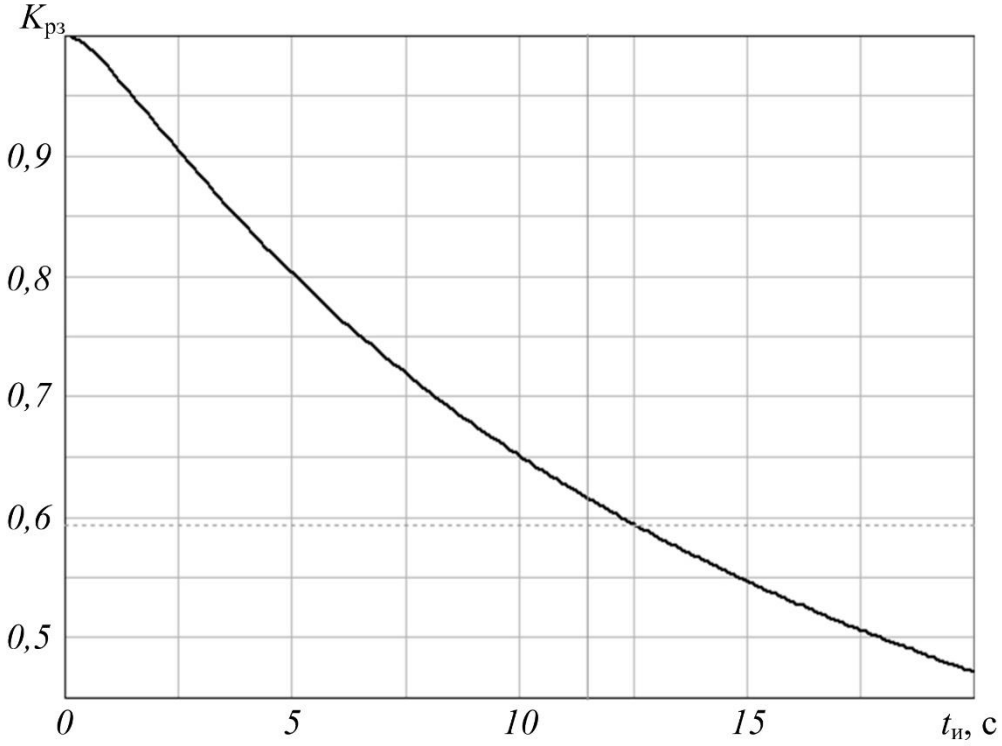


Рис. 1. Зависимость коэффициента разведзащищенности от времени излучения

В средствах радиосвязи авиационных формирований для минимизации времени излучения на одной частоте применяются радиосигналы с программной перестройкой рабочих частот (ППРЧ) [1]. Существенным недостатком такого способа повышения разведзащищенности является неизменность местоположения (для наземных радиосредств) передатчиков, что, в конечном итоге, позволяет противнику идентифицировать тип сигнала, и на его основе вскрыть принадлежность элемента системы управления [2].

Представляет интерес способ минимизации времени работы передатчиков на одной частоте при использовании сети радиосвязи с попеременной ретрансляцией [2]. Рассмотрим принцип работы такой сети. В общем случае отправитель сообщения является главной радиостанцией. Из совокупности элементов сети, распределенных на определенной территории, выбирается некоторое количество радиостанций для попеременной (поочередной) ретрансляции сигналов главной станции в режиме ППРЧ. При этом требования к скорости измене-

ния частоты могут быть снижены оптимизацией времени излучения одним радиосредством. В предельном случае переход на другую частоту происходит одновременно с переходом на другой ретранслятор. В процессе ретрансляции обеспечивается синхронизация передатчиков выбранных ретрансляторов [2].

В качестве примера рассмотрим сеть радиосвязи, состоящую из узла отправителя сообщения, узла получателя сообщения и четырех узлов-ретрансляторов (рис. 2). В такой сети оптимальной является попарная параллельная ретрансляция, обеспечивающая снижение как энергетических, так и временны́х показателей разведзащищенности [2]. Вариант распределения времени излучения между ретрансляторами для рассматриваемого примера приведен на рис. 3, *а*.

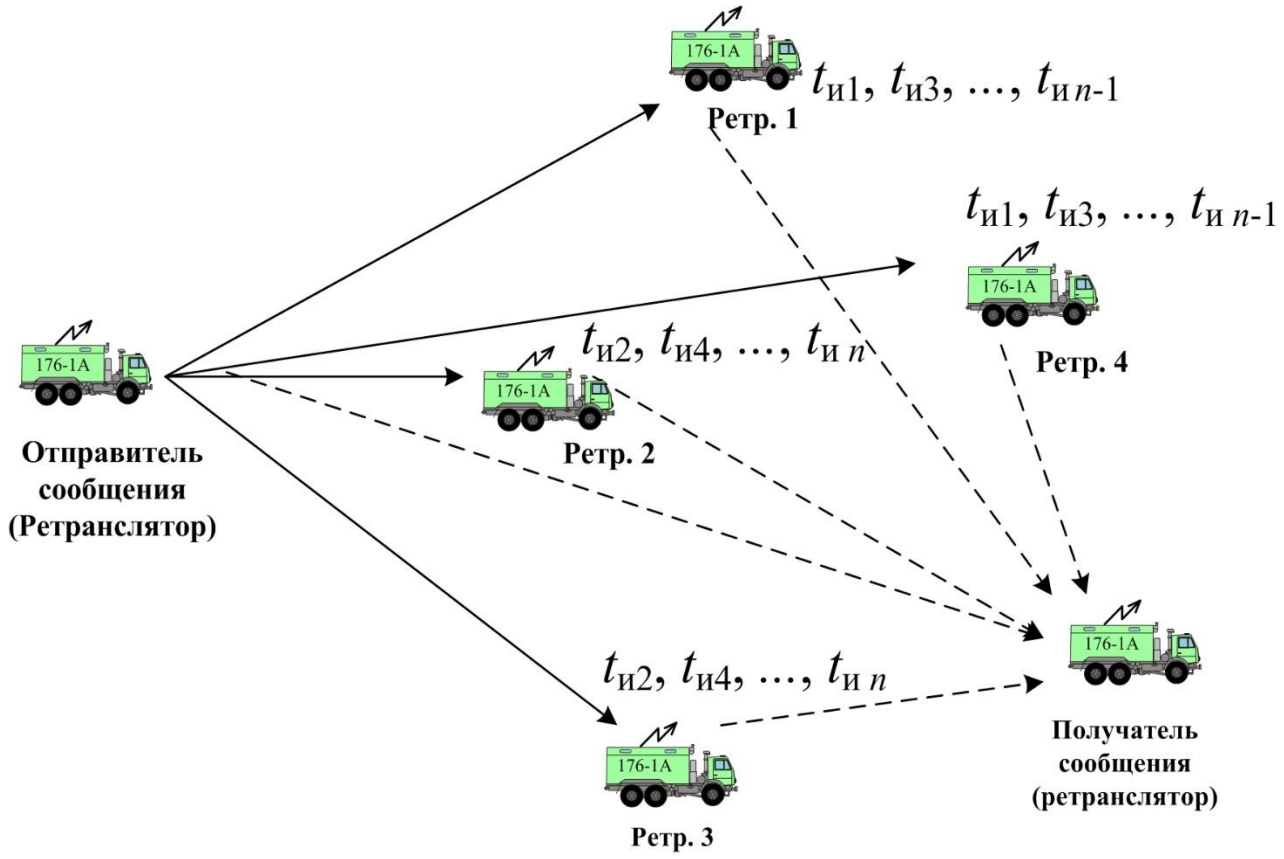


Рис. 2. Вариант сети радиосвязи с попеременным излучением передатчиков

Общее время передачи информации $t_{и\,\Sigma}$ разбивается на интервалы $t_{и\,i}$, которые распределяются между передатчиками, осуществляющими попарную попеременную параллельную ретрансляцию.

Величина интервала $t_{и\,i}$ может определяться характеристиками системы РРТР противника и, например, удовлетворять требованию

$$t_{и\,i} < t_{оц}. \qquad (2)$$

При уменьшении количества доступных ретрансляторов, рассматриваемая радиосеть в автоматизированном режиме перестраивает свою структуру. При этом возможны следующие комбинации попеременно излучающих ретрансляторов:

– для трех ретрансляторов: Ретр.1 и Ретр.2 – Ретр.2 и Ретр.3 – Ретр.3 и Ретр.1 – … (рис. 3, *б*);

– для двух ретрансляторов: Ретр.1 – Ретр.2 – Ретр.1 – … (рис. 3, *в*).

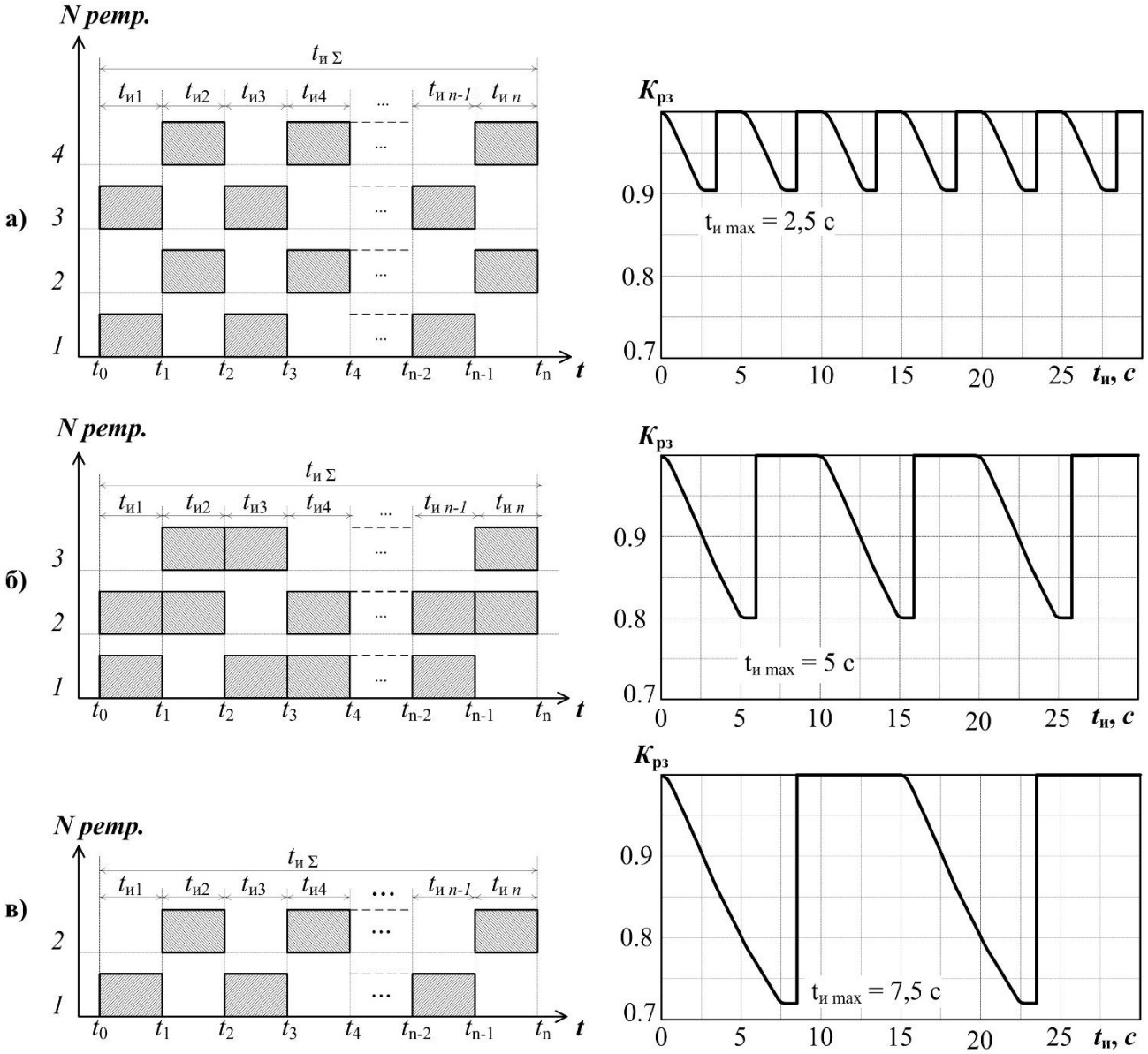


Рис. 3 Вариант распределения времени излучения между передатчиками:

а – система из 4-х ретрансляторов; *б* – система из 3-х ретрансляторов;

в – система из 2-х ретрансляторов

При увеличении количества доступных ретрансляторов увеличивается количество возможных комбинаций поочередно работающих групп ретрансляторов.

Анализ графиков зависимостей, представленных на рис. 3, показывает, что минимизация времени излучения передатчиков позволяет повысить разведзащищенность системы связи. При уменьшении времени излучения в 2 раза (с 15 до 7,5 с), коэффициент разведзащищенности увеличивается не менее чем на 15%. При уменьшении в 3 раза (с 15 до 5 с) – не менее чем на 25%. При уменьшении в 6 раз (с 15 до 2,5 с) – на 35%.

Таким образом, совокупность распределенных в пространстве ретрансляторов позволяет осуществить передачу сигнала с программной перестройкой радиочастоты в сети со случайно (программно) изменяющейся структурой. Практическое применение данного способа обеспечивает минимизацию времени работы отдельных радиосредств на одной частоте в сетях со случайной (программно изменяемой структурой), что в совокупности со способами оптимизации энергетических параметров снизит электромагнитную доступность средств радиосвязи.

Библиографический список

1. Боговик, А. В. Эффективность системы военной связи и методы ее оценки / А. В. Боговик, В. В. Игнатов. – СПб. : ВАС, 2006. – 184 с.

2. Рябов, А. В. Модель сети радиосвязи с адаптивным управлением энергетическими параметрами передатчиков / А. В. Рябов, А. С. Скорик // Информатика: проблемы, методология, технологии: сб. материалов XX международной научно-методической конференции. – Воронеж : Издательство «Научно-исследовательские публикации» (ООО «Вэлборн»), 2020. – С. 1518 – 1523.

СИНТЕЗ РЕБРИСТО-СТЕРЖНЕВОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ ДЛЯ СИСТЕМ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В Е-ДИАПАЗОНЕ

В. И. Тетюхин, М. А. Кудряшов, А. А. Тришаков, Д. А. Караваев

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: tetjukhin@mail.ru)

Большой интерес в настоящее время представляет использование миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов. К таким диапазонам можно отнести диапазон от 60 до 90 ГГц. Особенности этого диапазона заключаются в следующем: это диапазон, который не требует лицензии для работы, а также в данном диапазоне можно получить достаточно высокие скорости передачи данных, это связано с тем, что ширина канала находится в пределах от 0,5 до 1 ГГц [1 – 3].

Так же в этом диапазоне есть свои недостатки, такие как достаточно высокое затухание. Поэтому существующие антенные системы, которые представлены в этом диапазоне, в частности, радиорэлейные станции, радиомосты, точки доступа и т.д., не позволяют строить каналы радиосвязи на большие расстояния. Это связано с особенностью данного диапазона и тех антенных систем, которые применяются в составе этих комплексов [2].

Поэтому для эффективной работы в этом диапазоне зачастую основная нагрузка будет возлагаться на антенные системы. То оборудование, которое представлено на рынке в этом диапазоне, как правило, использует в своем составе рефлектор в виде зеркала и облучатель в виде рупора [1, 2]. Они обладают недостаточно высоким коэффициентом усиления и при протяженных радиотрассах, с учетом изменения погодных условий, возникают большие затухания, что приводит к снижению скорости передачи данных, а иногда – к разрыву соединения.

Вышеизложенные причины можно локализовать следующим образом, а именно использовать эффективные антенные системы, которые будут обладать достаточно высокими электродинамическими характеристиками и смогут минимизировать вышеизложенные недостатки.

Для решения поставленной задачи предлагается использовать в качестве эффективных антенных систем антенны, которые построены на основе излучателей в виде замедляющих структур. К таким излучателям, которые используют замедляющие структуры, можно отнести спиральные антенны, квадрифиляр-

ные антенны, ребристо-стержневые и т.д. Наибольшую эффективность по основным электродинамическим характеристикам показывают ребристо-стержневые антенны [1 – 3].

Ребристо-стержневой излучатель представлен в следующем виде (рис. 1).

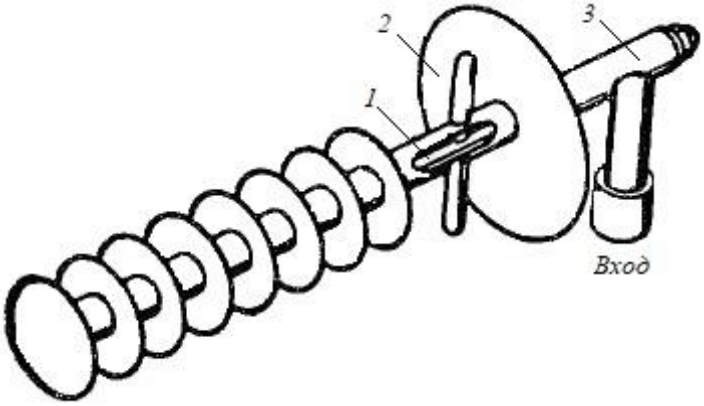


Рис. 1. Ребристо-стержневой излучатель:
1 – симметрирующее устройство; *2* – экран; *3* – металлический изолятор

Диаграмма направленности такого излучателя может быть записана в виде

$$g(\vartheta) = J_1(kr_2 \sin\vartheta), \tag{1}$$

где ϑ – угол относительно оси антенны; r_2 – внешний радиус цилиндрической структуры;

$$k = \omega\sqrt{\varepsilon\mu}\,, \tag{2}$$

где ω – частота колебаний поля; ε – диэлектрическая проницаемость; μ – магнитная проницаемость.

Используя аналитическое выражение для диаграммы направленности и геометрические размеры, которые мы получили, построим в программе электродинамического моделирования феноменологическую модель такого излучателя (приведен на рис. 2) [2, 4].

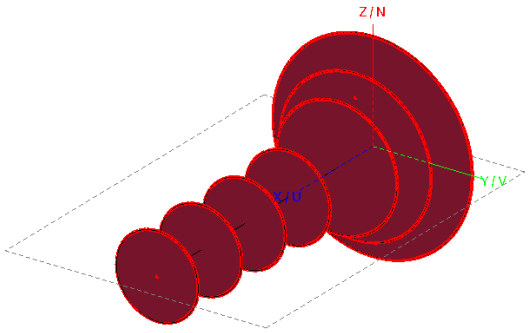


Рис. 2. Модель ребристо-стержневого излучателя

Основные характеристики такого излучателя приведены на рис. 3 – 5.

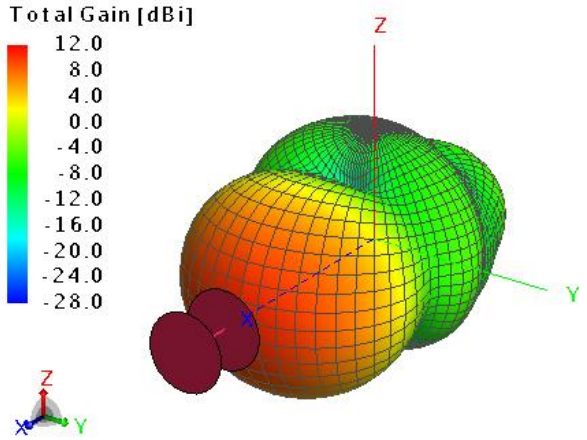


Рис. 3. Модель излучателя с трехмерной диаграммой направленности

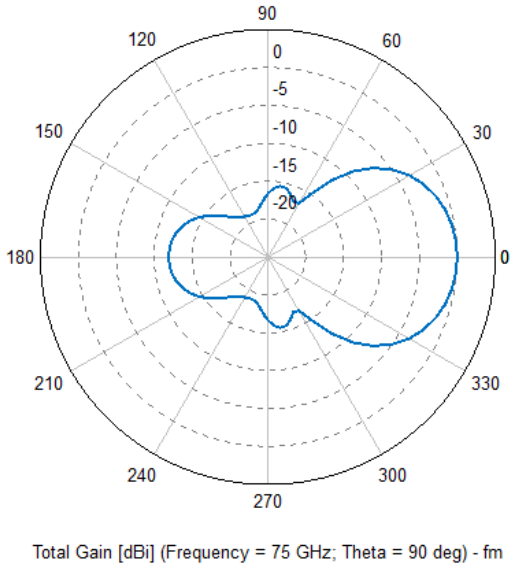


Рис. 4. Диаграмма направленности излучателя в полярной системе координат

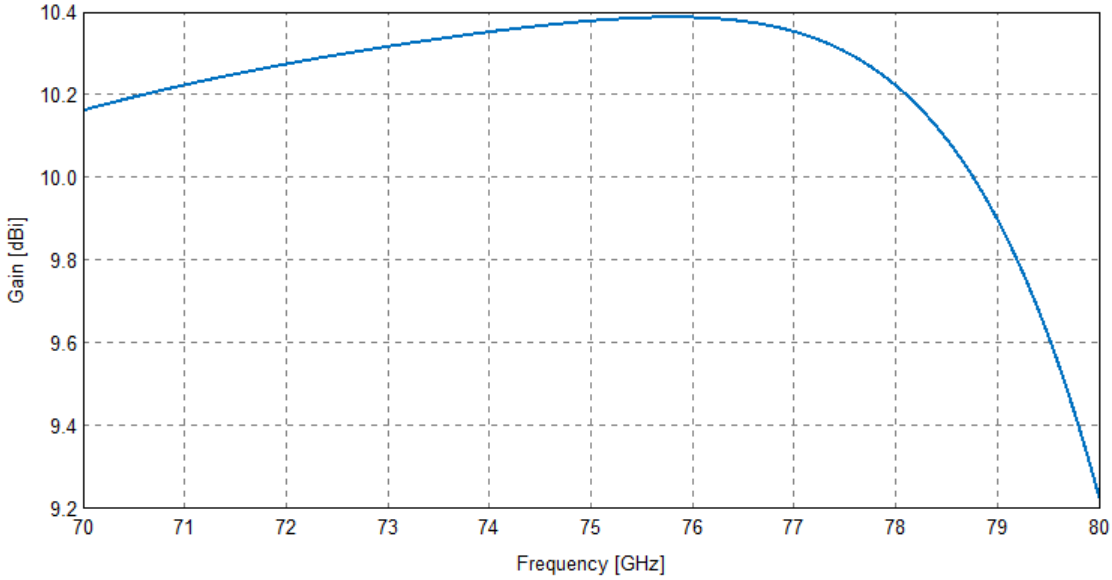


Рис. 5. Зависимость коэффициента усиления излучателя от частоты

На основе результатов анализа феноменологической модели мы получили следующие результаты: на основной частоте главный лепесток диаграммы направленности имеет ширину 60° по уровню −3 дБ, коэффициент усиления 10,4 дБи, коэффициент направленного действия 10,4 дБи.

Таким образом, применение такого типа излучателя в системах радиосвязи, работающих в Е-диапазоне, позволит увеличить дальность радиотрассы и надежность канала связи, а также повысить пропускную способность канала радиосвязи за счет применения технологии MIMO. Как следствие, системы, оснащенные такими излучателями, будут более устойчивы к влиянию атмосферных воздействий с позиции распространения радиоволн, а также будут обладать достаточно хорошими массогабаритными показателями и технологичностью, что положительно скажется на функционировании таких комплексов в целом.

Библиографический список

1. Построение сверхширокополосных излучателей с применением интегрированных печатных волноводов телевидения / А. С. Колмыкова, О. А. Белоусов, Р. Ю. Колмыков, А. И. Дякин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2017. – № 4(66). – С. 214 – 220.

2. Белоусов, О. А. Фазированная антенная решетка для систем цифрового телевидения / О. А. Белоусов, С. Н. Калашников // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – № 3(53) – С. 62 – 68.

3. Применение алгоритмов нечеткой логики в системе управления диаграммообразующим устройством гибридной зеркальной антенны / О. А. Белоусов, Е. В. Рязанов, А. С. Колмыкова, А. И. Дякин // Программные продукты и системы. – 2018. – № 4. – С. 757 – 762.

4. Muromtsev, D. Yu. Intelligent sensor in control systems for objects with changing thermophysical properties / D. Yu. Muromtsev, O. A. Belousov, M. P. Belyaev // Journal of Physics: Conference Series. – International Scientific and Technical Conference on Metrology, Standardization, Quality: Theory and Practice, MSQ 2017; Omsk; Russian Federation; Volume 998, Issue 1, 13 April 2018.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАШИРОКОПОЛОСНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ В СИСТЕМАХ РАДИОСВЯЗИ

А. А. Тришаков, Д. А. Караваев, В. И. Тетюхин

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: trishakov2016@yandex.ru)

Широкое развитие систем радиосвязи и радиодоступа, особенно высокоскоростных систем передачи данных, в настоящее время представляет достаточно большой интерес. Эффективность таких систем, как высокоскоростные сети передачи данных, построенных по системе 5G или Wi-Fi 6, во многом зависит от технических характеристик приема передающего оборудования как базовых станций, так и терминалов пользователей.

Для эффективного функционирования такого типа систем необходимо, чтобы эти системы имели достаточно высокую пропускную способность и возможность работы в агрегированном режиме. Для такого типа оборудования, чтобы оно обеспечивало более полное функционирование, во многом будет определяться эффективностью антенной системы. Большинство антенных систем, которые используются в таком типе оборудования, применяют как направленные, так и не направленные излучатели. С учетом того, что в большинстве современных стандартов беспроводных передач данных используется система агрегирования, которая позволяет работать на разных частотах и разных полосах пропускания, необходимо использовать те излучатели, которые в широком диапазоне частот не будут изменять свои основные электродинамические характеристики. К такому типу антенных систем можно отнести антенные излучатели, которые позволяют работать в нескольких диапазонах: сверхширокополосные или ультраширокополосные излучатели. Как правило, такие излучатели можно построить с использованием технологии полосковой линии или излучателей, которые будут выполнены в печатном исполнении. К таким можно отнести следующие типы: излучатель Вивальди; логопериодическая антенна; плоская эллиптическая дипольная антенна; микрополосковая линейная коническая щелевая антенна.

Сверхширокополосный излучатель – излучатель, который позволяет работать в нескольких диапазонах одновременно, при этом он должен сохранять свои электродинамические характеристики. Рассмотрим излучатель Вивальди.

Излучатель антенны условно разбит на три зоны (рис. 1), каждая из которых имеет определенные функции при преобразовании и излучении сигнала:

зона раскрыва, созданная металлизацией поверхности, используется для излучения сигнала; зона преобразователя, в которой микрополосковая линия переходит в сбалансированную щелевую линию, подключенную к раскрыву; и зона резонатора, функция которой заключается в согласовании электрических характеристик излучателя и питающей линии, расположена в начале щелевой линии [1].

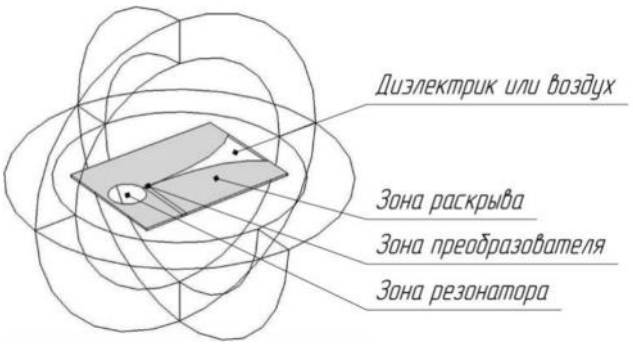


Рис. 1. Геометрия излучателя антенны Вивальди

У излучателя Вивальди есть несколько форм раскрыва, основные из них показаны на рис. 2.

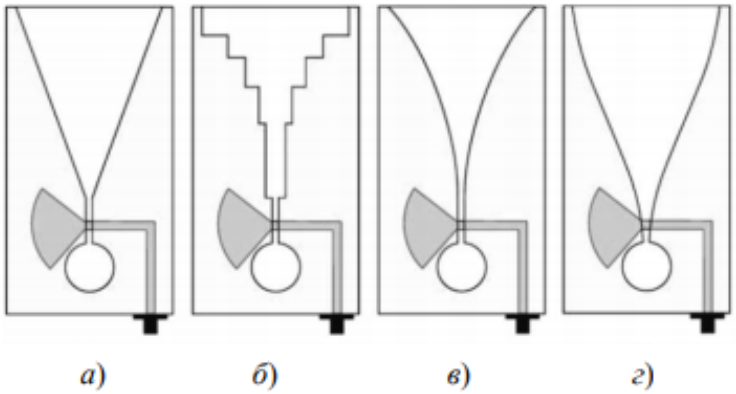


Рис. 2. Формы щелевых раскрывов антенны Вивальди:
а – линейного; *б* – ступенчатого; *в* – экспоненциального; *г* – Клопфестена

Достоинства данной антенны:

– конструктивная простота;

– малая стоимость и технологичность производства;

– широкая рабочая полоса.

К недостаткам можно отнести:

– узкую полосу пропускания;

– высокое входное сопротивление (преодолен в двухстороннем излучателе Вивальди) [2].

Так же существует логопериодическая антенна (рис. 1), которую относят к сверхширокополосным антеннам, работающим в непрерывном диапазоне ультравысоких (УВЧ) и сверхвысоких (СВЧ) частот и предназначенным для использования в радиотехнических системах различного назначения.

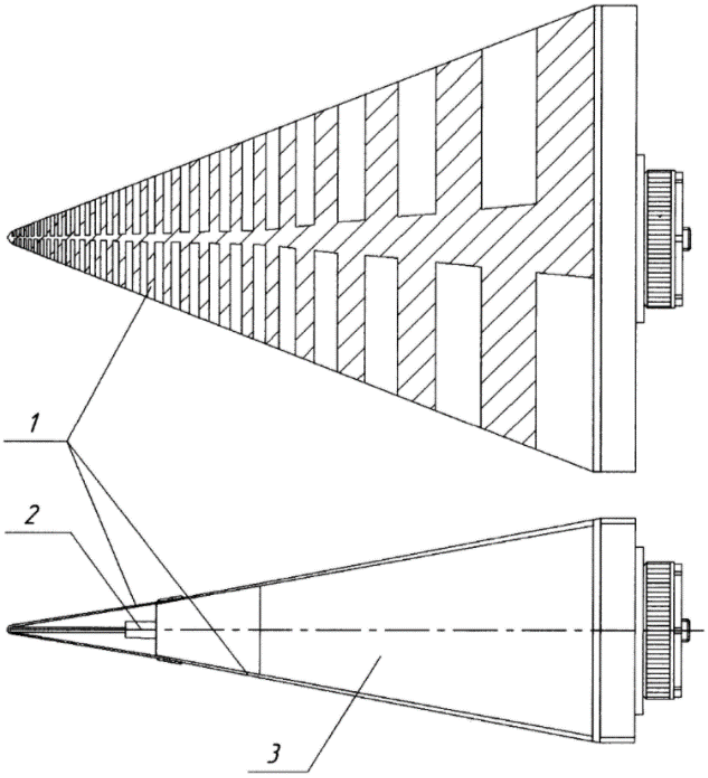


Рис. 3. Сверхширокополосная логопериодическая антенна:
1 – логопериодические структуры; *2* – линия питания; *3* – опорный диэлектрический корпус

Сверхширокополосная логопериодическая антенна (ЛПА) состоит из двух одинаковых плоских металлических логопериодических структур, выполненных в виде печатной платы на одной стороне пластины гибкого фольгированного диэлектрика. Структуры на печатной плате располагаются соосно вершинами друг к другу с необходимым зазором. Перед сборкой антенны логопериодические структуры вырезаются по вершинам зубцов (вибраторов), причем в месте зазора между структурами остается участок диэлектрической пластины, свободный от металла. Далее пластина, согнутая с помощью приспособления в месте зазора между вершинами структур на требуемый угол, устанавливается на опорный диэлектрический корпус. Логопериодические структуры возбуждаются в противофазе, расположенной по оси антенны линией питания, выполненной в виде сверхширокополосного симметрирующего согласующего трансформатора. Высокочастотная граница рабочего диапазона частот ЛПА теоретически не ограничена и на практике зависит от типа и размеров линии питания и

достижимой точности изготовления вибраторов, расположенных вблизи вершин логопериодических структур [3].

Таким образом, применение ультраширокополосных излучателей в современных системах беспроводной высокоскоростной передачи данных, позволяет строить эффективные системы связи, в частности, как базовые станции, так и оконечные терминалы, которые позволят работать не только в основной частоте, заложенных в стандарте этой сети передачи данных, но и смогут работать в других диапазонах используя агрегацию каналов.

Библиографический список

1. Антенны: учебное пособие / Ю. Т. Зырянов, П. А. Федюнин, О. А. Белоусов и др. – 4-е изд., стер. – СПб. : Издательство «Лань», 2020. – 412 с.

2. Белоусов, О. А. Анализ и синтез широкополосной планарной щелевой антенны с экспоненциальным изменением ширины щели для систем широкополосного доступа / О. А. Белоусов, А. А. Бякин, И. Г. Рязанов // Университет им. Вернадского : сб. науч. тр. – 2013.

3. Сверхширокополосные антенны / пер. с англ. С. В. Попова и В. А. Журавлева; под ред. Л. С. Бененсона. – Москва : Мир, 1964. – 416 с.

ПОВЫШЕНИЕ УПРАВЛЯЕМОСТИ СИСТЕМЫ СВЯЗИ И РАДИОТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВИАЦИОННОГО ФОРМИРОВАНИЯ

М. А. Стафеев, В. С. Федюченко

ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Россия
(e-mail: vaiu@mil.ru)

Актуальность рассматриваемых вопросов повышения управляемости системы связи и радиотехнического обеспечения авиационного формирования обусловлена наличием следующего противоречия. С одной стороны, для своевременной и эффективной реализации боевых возможностей авиационных формирований необходимо качественное управление ими, с другой стороны техническая основа системы управления – система связи и радиотехнического

обеспечения в прогнозируемых условиях выполнения боевых задач не в полной мере обладает способностью к переводу своего текущего состояния в требуемое при соответствующих управляющих воздействиях, т.е. не обладает требуемым уровнем управляемости. Главным образом, это связано с отсутствием необходимых ресурсов и резервов, а также проблемными вопросами в построении технической основы системы управления связью и радиотехническим обеспечением авиационного формирования.

Управляемость в полной мере характеризует основное (функциональное) предназначение систем связи и радиотехнического обеспечения авиационного формирования в различных условиях обстановки, имеет ясный физический смысл, проста в понимании, но в то же время, является сложной (интегральной) по своей внутренней структуре.

Под управляемостью системы связи и радиотехнического обеспечения понимается способность системы связи и радиотехнического обеспечения изменять свое состояние в заданных пределах при управленческих воздействиях на нее органов управления связью и радиотехническим обеспечением в соответствии с изменениями обстановки. Выполнение требований по управляемости системы связи и радиотехнического обеспечения, ее элементами, главным образом достигается:

– созданием и постоянным развитием системы управления связью и радиотехническим обеспечением;

– внедрением на пунктах управления связью и радиотехническим обеспечением средств автоматизации, отвечающих современным условиям;

– обеспечением взаимодействия средств автоматизации пунктов управления связью и радиотехнического обеспечения с автоматизированными системами управления войсками;

– своевременным и качественным решением поставленных задач за счет высокой профессиональной подготовки должностных лиц органов и пунктов управления связью и радиотехническим обеспечением;

– непрерывным сбором, обработкой и анализом данных обстановки по связи и радиотехническому обеспечению;

– детальным планированием связи и радиотехнического обеспечения;

– своевременным принятием решений и оперативным доведением задач до подчиненных;

– совершенствованием процессов оперативного управления связью и радиотехническим обеспечением, внедрением новых информационных технологий;

– созданием и постоянным восполнением резервов сил и средств связи и радиотехнического обеспечения.

Таким образом, одним из направлений повышения управляемости системы связи и радиотехнического обеспечения является создание и внедрение в структуру системы управления связью и радиотехническим обеспечением авиационного формирования элемента, позволяющего по результатам сбора, анализа и обработки сведений об обстановке и состоянии системы связи и радиотехнического обеспечения оказывать помощь в принятии оптимального решения, отвечающего конкретным условиям обстановки. В настоящее время, в структуре системы связи и радиотехнического обеспечения отсутствует подобный элемент, а имеющиеся средства вычислительной техники по большому счету выполняют только функцию хранения информации. Для достижения наибольшей эффективности необходимо внедрение информационных систем, обладающих способностью обеспечивать управление с применением методов моделирования в интересах формирования, приближенных к оптимальному варианту решения поставленных задач.

Эффект от внедрения системы поддержки и принятия решения в системе управления связью и радиотехническим обеспечением возможен за счет рассмотрения большого количества возможных вариантов решения возникающих задач, их оптимизации посредством использования специализированных алгоритмов за определенный промежуток времени.

На практике проблема управляемости систем связи и радиотехнического обеспечения, главным образом, возникает при первичном развертывании элементов системы:

– цифрового телекоммуникационного оборудования;
– средств радиотехнического обеспечения;
– средств радиосвязи
– сетей засекреченной связи.

Решение этих задач требует проведения моделирования развертываемой системы связи и радиотехнического обеспечения на этапе ее проектирования с возможностью наращивания и адаптивного изменения параметров системы. По результатам моделирования орган управления связью и радиотехническим обеспечением должен быть способен разработать комплект необходимых данных (радиоданных) и необходимых настроек цифрового телекоммуникационного оборудования.

Объективным является тот факт, что орган управления связью и радиотехническим обеспечением должен иметь в своем распоряжении систему

управления, реализующую функции организационного, оперативно-технического и технологического управления [1].

При этом, экспертная система – как составляющая автоматизированной системы управления связью и радиотехническим обеспечением, должна отражать все важные направления взаимодействия системы связи и радиотехнического обеспечения как «поставщика» услуг связи и радиотехнического обеспечения и потребителей услуг, а эффект применения системы управления связью и радиотехническим обеспечением должен быть соразмерен затратам на ее внедрение [2].

Применение системы поддержки принятия решений должностных лиц органа управления связью и радиотехническим обеспечением позволит поднять на новый уровень качество и сроки выполнения поставленных задач, а также проводить передачу (прием) команд и распоряжений в режиме реального времени, отображение всей необходимой графической и текстовой информации о состоянии подчиненных подразделений связи и радиотехнического обеспечения, решение расчетных задач по наиболее рациональному применению средств связи и радиотехнического обеспечения в ходе выполнения задач, а также контроль над состоянием системы (средств) связи и радиотехнического обеспечения в реальном масштабе времени.

Таким образом, внедрение перспективных цифровых средств связи и автоматизации управления, а также создание на их основе систем поддержки принятия решений позволит значительно сократить время на принятие решения, повысить оперативность управления, что позволит в любых условиях обстановки обеспечить упреждающую готовность системы связи и радиотехнического обеспечения относительно готовности пунктов управления авиационного формирования.

Библиографический список

1. Автоматизированная система управления связью Вооруженных Сил Российской Федерации и приоритетные направления ее развития / Х. А. Арсланов и др. // Связь в Вооруженных Силах Российской Федерации. – Москва, 2016. – С. 17 – 20.

2. Ермишян, А. Г. Теоретические основы построения систем военной связи в объединениях и соединениях : учебник для слушателей войск связи / А. Г. Ермишян. – СПб. : МО, 2005. – 740 с.

МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ ФИЛЬТРАЦИИ ДАННЫХ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ И МОНИТОРИНГА

М. В. Хорошайлова , А. В. Чернышов, Д. А. Леденев

Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия
(e-mail: kipr@vorstu.ru)

Сегодня практически невозможно вести постоянный контроль и мониторинг параметров систем электроснабжения (СЭС), не имея рабочего места оператора, которое бы включало в свой функционал как просмотр параметров СЭС в режиме реального времени, так и ведение базы данных (DB) с подробной хронологией событий и учетом флагов состояний.

В данной статье представлена методика разработки программно-аппаратных средств фильтрации данных, позволяющая реализовывать эффективные алгоритмы стабилизации напряжения и тока заряда аккумуляторной батареи, а также устойчивость к негативному воздействию повышенного уровня импульсных коммутационных помех, излучаемых со стороны вторичных импульсных источников электропитания, каналы контроля состояния аккумуляторной батареи в отсутствии качественного заземления [1]. При разработке интегрированной системы контроля и мониторинга возникает необходимость использовать внешние прецизионные контрольно-измерительные приборы для последующей калибровки каналов измерений системы. Учитывают специфику RS232, в современных ЭВМ всегда есть возможность использовать hub для подключения большего количества приборов. Рассмотрено использование QSerialPort и QThread для реализации работы по стандарту RS232 с универсальным прецизионным мультиметром GDM-78341 производства GW Instek и создания процесса с одним потоком [2].

Реализация COM-порта.

1. Определение структуры настроек COM-порта (скорость передачи в бодах, стартовый и стоповый биты, контроль потока, размер посылки, имя COM-порта).

2. Определение класса Port, наследника класса [3].

– определение слотов. Пользовательские слоты полностью построены на методах модуля QserialPort;

```
public slots:
void  DisconnectPort();
```

void ConnectPort(void);

void Write_Settings_Port(QString name, int baudrate, int DataBits, int Parity, int StopBits, int FlowControl);

void process_Port();

void WriteToPort(QByteArray data);

void ReadInPort();

private slots:

void handleError

(QSerialPort::SerialPortError error);

– отключение COM-порта. Если COM-порт открыт, то его необходимо закрыть и вывести сообщение о закрытии;

– подключение COM-порта. Установить имя COM-порта. Если COM-порт открыт режимом OpenMode, то проверить, установлены ли его параметры корректно;

– запись настроек COM-порта. Связать пользовательские настройки COM-порта с перечислениями в QserialPort;

– создание процесса COM-порта;

– методы чтения и записи. Дублирование методов QserialPort с предварительной проверкой состояния COM-порта;

– проверка наличия ошибок во время работы COM-порта.

Объявление потока и подключение класса COM-порта к нему:

```
QThread *thread_New = new QThread;
//создание потока для COM-порта
Port *PortNew = new Port();
//создание объекта класса
PortNew→moveToThread(thread_New);
//подключение класса к потоку
PortNew→thisPort.moveToThread(thread_New);
//подключение COM-порт к потоку
thread_New→start();
//запуск потока
```

Данная методика разработки программно-аппаратных средств фильтрации данных позволяет вести логирование данных работы какого-либо изделия по последовательному порту. Современные ЭВМ включают в себя такой стандарт связи, учитывая специфику RS232, есть возможность использовать hub для подключения большего количества приборов.

Библиографический список

1. Шлее М. Qt 5.10. Профессиональное программирование на C++. – СПб. : БХВ-Петербург, 2018.

2. IEEE Standard Codes, Formats, Protocols, and Common Commands for Use With IEEE Std 488.1-1987, IEEE Standard Digital Interface for Programmable Instrumentation.

3. John, A. O'Connor. U-131. Simple Switchmode Lead-Acid Battery Charger.

ОЦЕНКА МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ БЛОКА АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ С УЧЕТОМ ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Т. И. Чернышова, Р. Ю. Курносов

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: romankurnosov@yandex.ru)

Одной из важнейших характеристик качества измерительных средств является метрологическая надежность. Структурная, конструктивная и алгоритмическая сложность современных информационно-измерительных систем обусловливает выполнение требований по обеспечению необходимого уровня их метрологической надежности, которая определяет свойство измерительных средств сохранять метрологические характеристики с течением времени в пределах нормативов, установленных в определенных режимах и условиях эксплуатации, хранения и транспортировки [1, 3]. Важное место в современной структуре измерительного канала информационно-измерительных систем занимает блок аналого-цифрового преобразования, при этом основными требованиями, предъявляемыми к рассматриваемому блоку, являются высокая точность, сложность, ответственность выполняемых функций, а также широта функциональных возможностей. Основным показателем метрологической надежности аналого-цифрового преобразователя в структуре информационно-измерительных систем является метрологический ресурс [2, 4].

Разработанная методика оценки метрологической надежности (рис. 1) при проектировании аналого-цифрового преобразователя, в зависимости от постановки задачи, включает в себя два подхода:

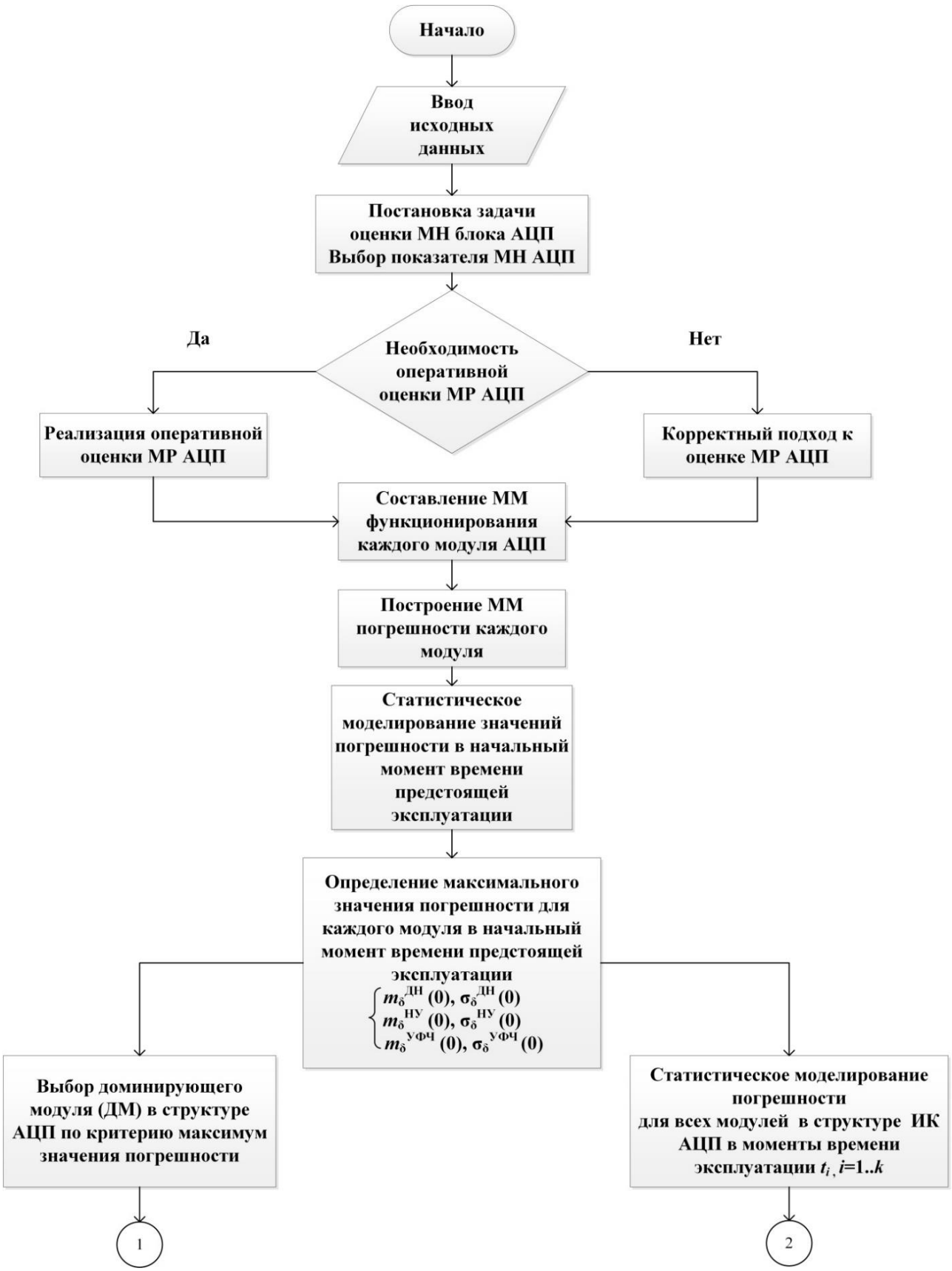


Рис. 1. Методика оценки метрологической надежности (начало)

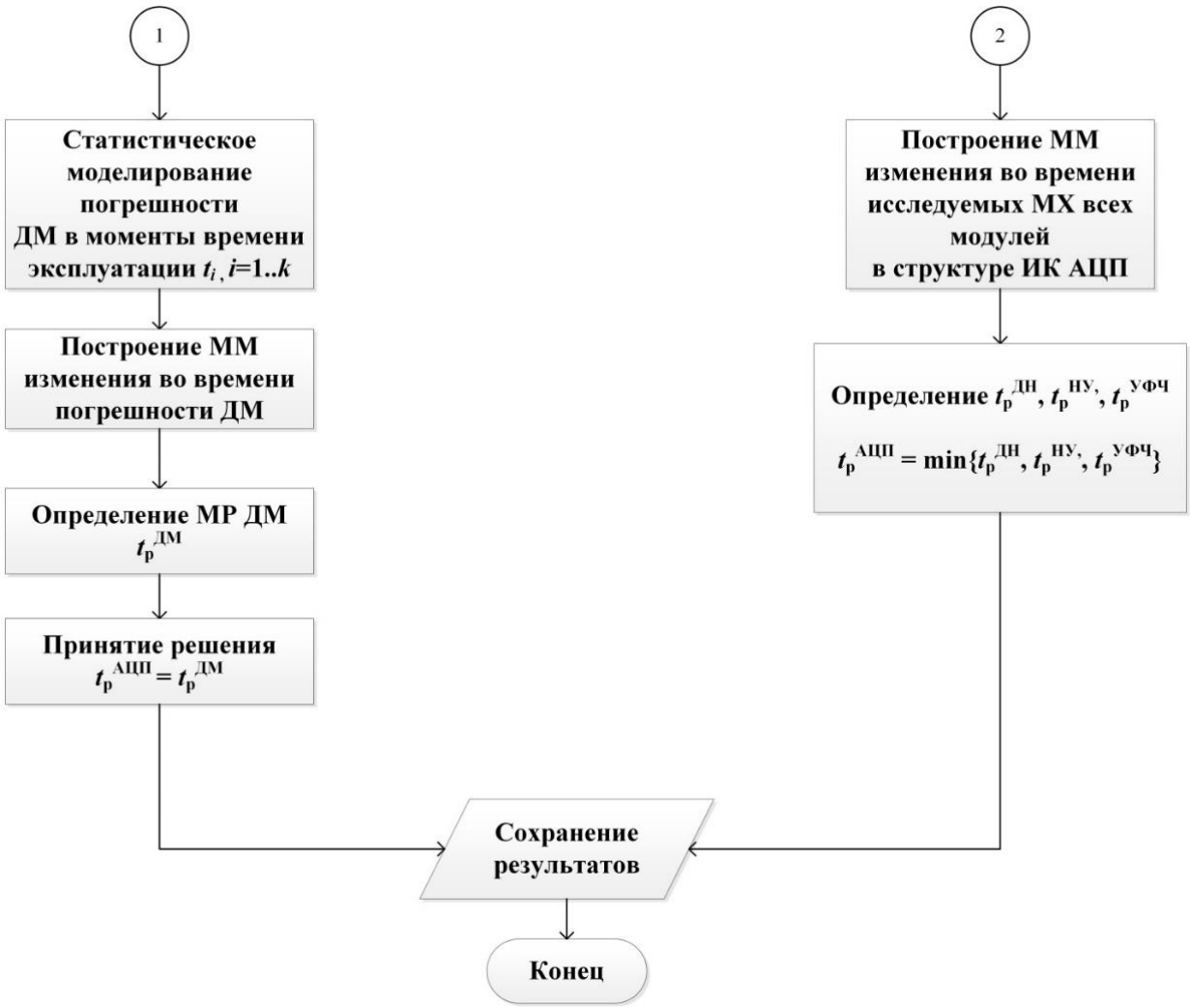


Рис. 1. Окончание

– оперативный, который позволяет определить метрологический ресурс с учетом доминирующего влияния основного модуля в структуре аналого-цифрового преобразователя;

– уточненный, являющийся более корректным, дающий возможность повысить достоверность и точность прогнозирования выбранного показателя метрологической надежности блока, используя для этого результаты расчета выбранного показателя МН для всех модулей, составляющих измерительный канал аналого-цифрового преобразователя.

Таким образом, разработанная методика по оценке метрологической надежности блока аналого-цифрового преобразования, в зависимости от постановки задачи проектирования электронно-измерительного средства, позволяет выбрать один из двух предложенных подходов и, тем самым, провести оперативную или корректную оценку метрологического ресурса блока

аналого-цифрового преобразования, что позволит в дальнейшем дать рекомендации по метрологическому обслуживанию блока в процессе его дальнейшей эксплуатации.

Библиографический список

1. Мищенко, С. В. Метрологическая надежность измерительных средств / С. В. Мищенко, Э. И. Цветков, Т. И. Чернышова. – М. : Машиностроение, 2001. – 218 с.

2. Kurnosov, R. Yu. Improving Metrological Reliability of Information-Measuring Systems Using Mathematical Modeling of Their Metrological Characteristics / R. Yu. Kurnosov, T. I. Chernyshova, V. N. Chernyshov // International Conference Information Technologies in Business and Industry 2018 IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1015 (2018) 032077 doi :10.1088/1742-6596/1015/3/032077.

3. Чернышова, Т. И. Оценка метрологической надежности аналого-цифрового преобразователя в структуре информационно-измерительной системы на этапе проектирования / Т. И. Чернышова, Р. Ю. Курносов, М. А Каменская // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та – 2019. – Т. 25, № 2. – С.180 – 189.

4. Чернышова, Т. И. Применение методов математического моделирования при оценке метрологической надежности блока аналого-цифрового преобразователя / Т. И. Чернышова, Р. Ю. Курносов, // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та – 2017. – Т.23, № 4. – С. 589 – 594.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И СИНТЕЗ АСИНХРОННЫХ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ RS-ТРИГГЕРОВ

Н. И. Шепелев, И. В. Тюрин, В. В. Помещиков

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: shepelyov.kolya@mail.ru, tyrinilja@yandex.ru, v.pomeschikov@yandex.ru)

Цифровой автомат – это логическое устройство, способное находиться в одном из нескольких устойчивых состояний, обрабатывать, хранить и получать дискретную информацию по определенному алгоритму [1].

Для их проектирования используются не только логические элементы (ЛЭ), но и элементы памяти (ЭП), которые чаще всего используются в качестве триггеров. Элементы памяти и триггеры являются элементарными автоматами.

Модель асинхронного потенциального RS-триггера как асинхронного потенциального автомата, описываемого функцией переходов $Q^{+} = f\ (R, S, Q)$, показана на рис. 1, *а* [2].

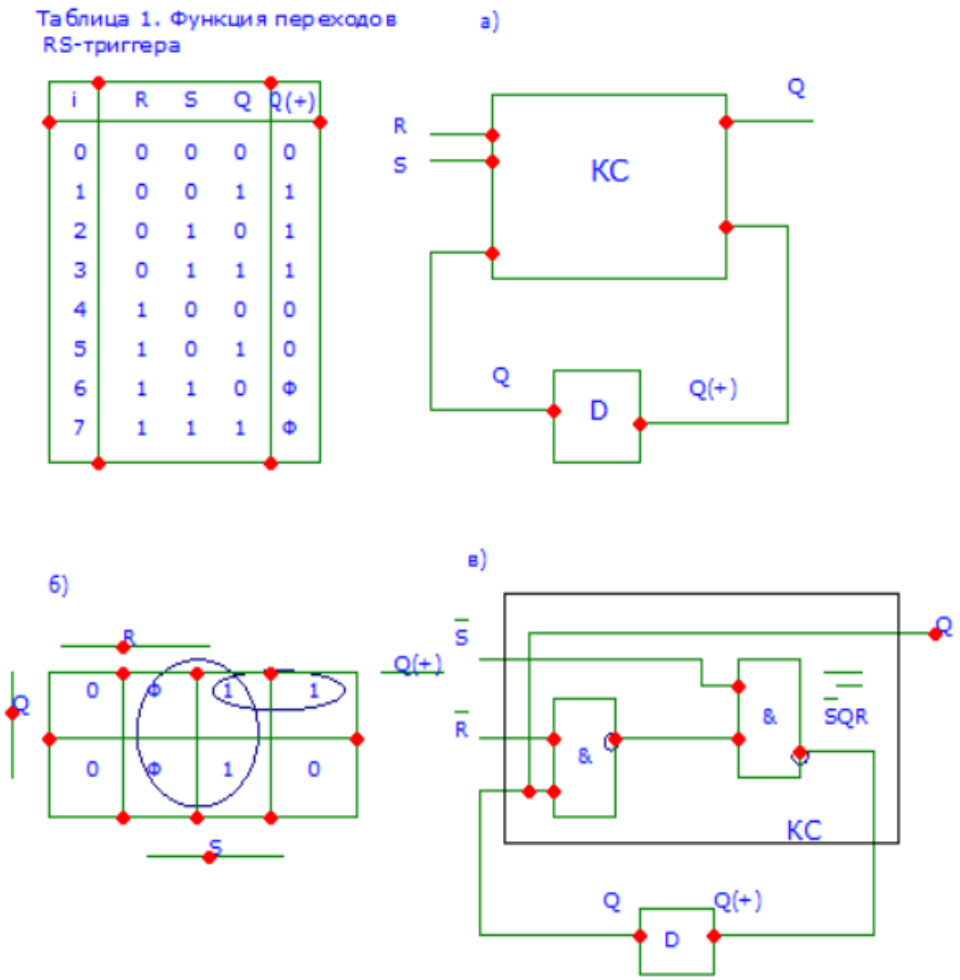


Рис 1. Синтез триггера типа RS

Такой RS-триггер имеет вход S (Set) установки в состояние Q = 1 и вход R (Reset) установки в состояние Q = 0, причем, значения R = 1 и S = 1 одновременно подавать запрещено:

$S = 1, R = 0 \Rightarrow Q^{+} = 1$ (установка состояния 1),

$S = 0, R = 1 \Rightarrow Q^{+} = 0$ (установка состояния 0),

$S = 0, R = 0 \Rightarrow Q^{+} = Q$ (сохранение состояния),

$S = 1, R = 1 \Rightarrow Q^{+} = \Phi$ (неопределенное состояние, требующее для входных сигналов выполнения условия $R * S \equiv 0$).

Составив на основе словесного описания функции переходов RS-триггера таблицу истинности (табл. 1), а затем диаграмму Вейча (рис. 1, *б*), получим функцию переходов:

$$Q^{+} = S \vee Q * \overline{R}, R * S = 0. \quad (1.1)$$

Второе соотношение в выражении (1.1) указывает на то, что запрещается одновременно подавать значения входных сигналов R = 1 и S = 1.

Первое выражение в (1.1) используется для построения схемы ЭП типа RS в базисе И–НЕ:

$$Q^{+} = S \vee Q * \overline{R} = \overline{\overline{S} * \overline{Q * R}} \quad (1.2)$$

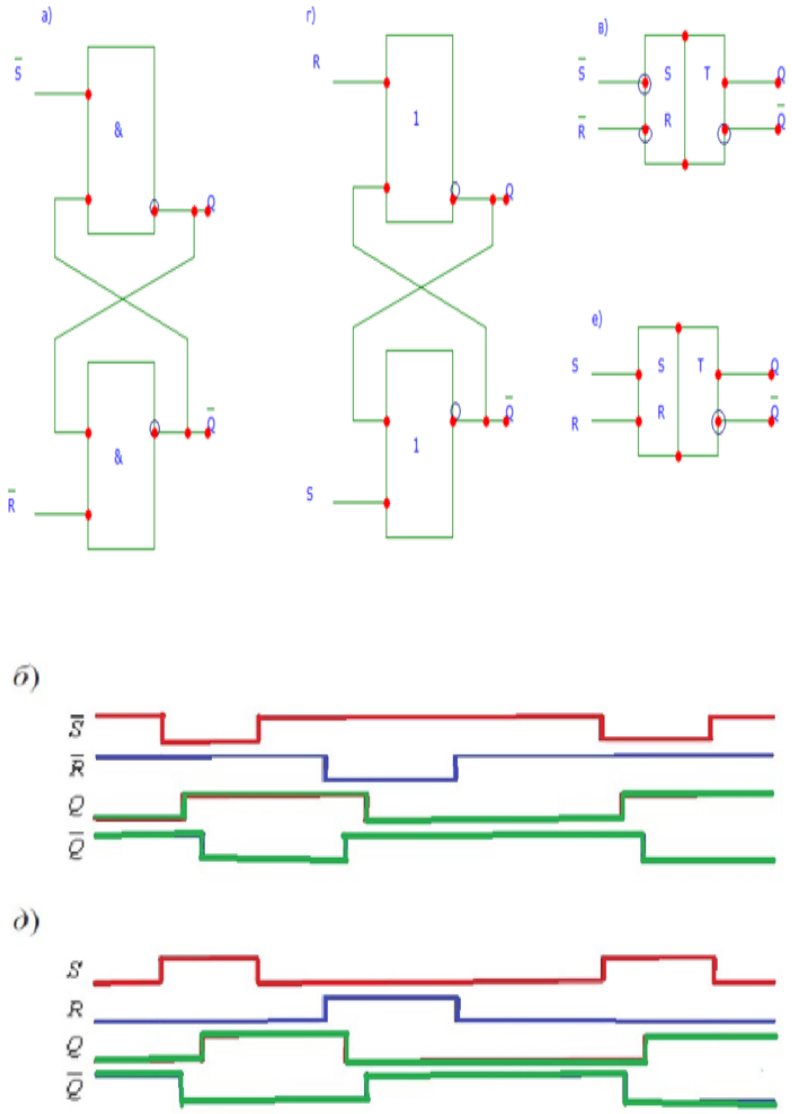


Рис. 2 Триггеры типа RS с инверсными и прямыми входами

На рисунке 1, *в* показана схема ЭП типа RS, выполненная на ЛЭ И–НЕ в соответствии с выражением (1.2). Отличие триггера от ЭП состоит только в отсутствии асинхронного потенциального элемента задержки D. Замкнув обратную связь без элемента задержки D, получим схему RS-триггера, показанную на рис. 2, *а.* Анализ схемы показывает, что триггер в устойчивых состояниях имеет прямой Q и инверсный $\overline{Q}$ выходы. На рисунке 2, *б* изображены временны́е диаграммы, объясняющие работу триггера типа RS, из которых следует, что при переходных процессах на время задержки сигналов в одном ЛЭ И–НЕ значения выходных сигналов Q и $\overline{Q}$ равны 1 [2].

Условное графическое обозначение синтезированного триггера представлено на рис. 2, в. Из рисунка 1, *б* следует, что

$$Q^{+} = R \vee \overline{S} * \overline{Q} = R \vee \overline{S * Q} => Q^{+} = \overline{R \vee \overline{Q \vee S}}\,. \qquad (1.3)$$

Выражению (1.3) соответствует выполненная на ЛЭ ИЛИ–НЕ схема триггера типа RS, изображенная на рис. 2, *г*. На рисунке 2, *д* показаны временны́е диаграммы, поясняющие работу этого триггера. В устойчивых состояниях триггер имеет прямой Q и инверсный $\overline{Q}$ выходы.

На время переходного процесса выходные сигналы триггера Q и $\overline{Q}$ принимают одинаковые значения, равные 0. Условное графическое обозначение этого триггера приведено на рис. 2, *е* (активные уровни входных сигналов высокие – R = 1 и S = 1).

Можно использовать RS-триггеры с двумя и более входами сброса R и установки S. Если $S = S_1 \vee S_2$ и $R = R_1 \vee R_2$, то в соответствии с функцией переходов (1.1)

$$Q^{+} = S_1 \vee S_2 \vee Q * \overline{R_1 \vee R_2} = \overline{S_1 * S_2 * \overline{Q * \overline{R_1} * \overline{R_2}}}\,. \qquad (1.4)$$

Схема, соответствующая функции (1.4), показана на рис. 3, *а*. Схема RS-триггера с двумя входами сброса и установки, выполненная на ЛЭ ИЛИ–НЕ, изображена на рис. 3, *б*.

Построим еще одну схему RS-триггера с использованием функции переходов (1.1) без дополнительных преобразований. Такая схема изображена на рис. 3, *в*. Данный триггер не имеет инверсного выхода – в устойчивых состояниях сигнал α = Q. Из рисунка 3, в следует, что [3]

$$Q^{+} = S \vee Q * \overline{R},\ \alpha^{+} = (S \vee \alpha) * \overline{R} = S * \overline{R} \vee \alpha * \overline{R}.$$

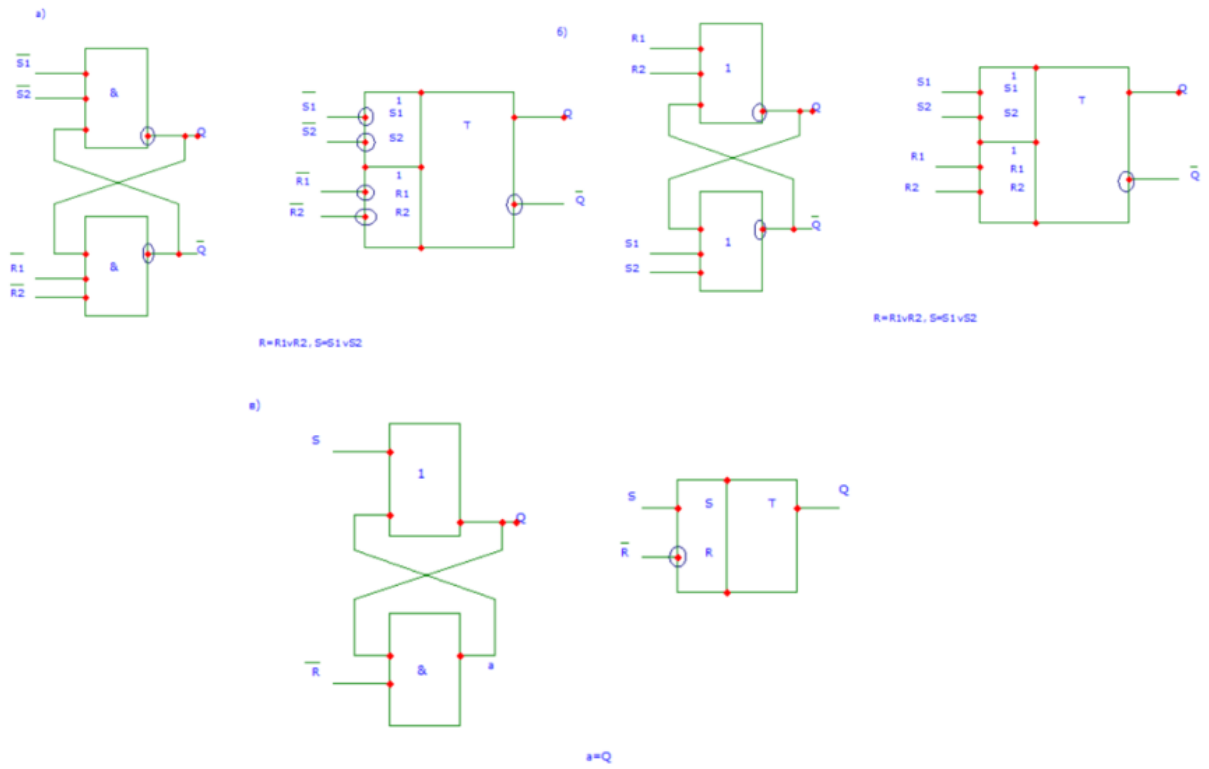


Рис. 3. Триггеры типа RS с входной логикой и без сигнала $\overline{Q}$

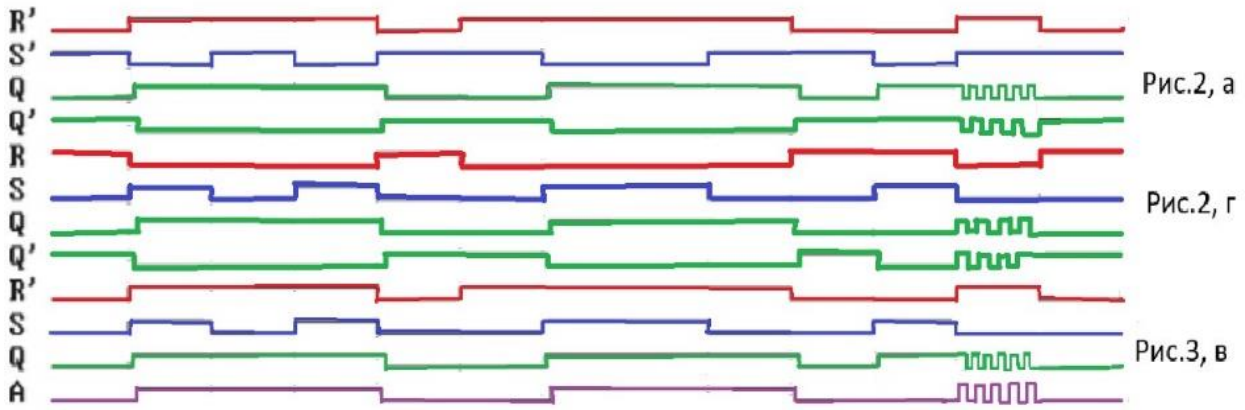


Рис. 4. Моделирование асинхронных потенциальных RS-триггеров

Так как при использовании RS-триггеров должно выполняться условие $R * S = 0$, то функция переходов

$$\alpha^{+} = S * \overline{R} \vee \alpha * \overline{R} = S * \overline{R} \vee \alpha * \overline{R} \vee R * S = S \vee \alpha * \overline{R}.$$

Это означает, что в качестве выходного сигнала RS-триггера можно использовать выходной сигнал любого ЛЭ.

На рисунке 4 представлен результат моделирования синтезированных выше трех схем триггеров типа RS. При подаче запрещенных значений вход-

ных сигналов R = S = 1 устанавливаются значения выходных сигналов Q =$\overline{Q}$. Если далее подать значения сигналов R = S = 0, то в триггерах возникает автоколебательный процесс. В реальных RS-триггерах такие автоколебания отсутствуют из-за неидентичности ЛЭ и их нечувствительности к воздействиям сверхмалой длительности.

Таким образом, комбинация сигналов на входах S = 0, R = 0 сохраняет предыдущее состояние триггера, выполненного на ЛЭ ИЛИ-НЕ. Если хотя бы на одном входе ЛЭ существует уровень логической единицы, то управление по другому входу ЛЭ неэффективно, т.е. не приводит к изменениям его состояния.

Библиографический список

1. Савельев, А. Я. Прикладная теория цифровых автоматов : учеб для вузов по спец. ЭВМ / А. Я. Савельев. – М. : Высш. шк., 1987. – 272 с.
2. Пухальский, Г. И. Проектирование цифровых устройств : учебное пособие / Г. И. Пухальский, Т. Я. Новосельцева. – СПб. : Издательство «Лань», 2012. – 896 с.
3. Глушков, В. М. Синтез цифровых автоматов / В. М. Глушков. – М. : Физматлит, 1962. – 476 с.

ЗАДАЧИ ДИАГНОСТИКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

И. О. Шибирина, Д. С. Гурин, Л. Б. Гоберкорн, Н. Г. Чернышов

Тамбовский государственный технический университет
(e-mail: inna.shibirina@mail.ru)

На данный момент возрастает актуальность вопроса диагностики промышленных объектов. Современные системы обладают множеством параметров, имеют огромное количество различных управляемых элементов, поэтому для корректного хода технологических процессов необходимо диагностировать состояние и параметры этих элементов. Это напрямую связано с тем, что анализ режима работы промышленного объекта связан с его управлением. Это и является, собственно, основными задачами диагностики – оперативный кон-

троль, обеспечение безопасности, функциональной надежности и повышение эффективности управления процессами на объекте.

Общей проблемой технической диагностики является достижение адекватной оценки истинного состояния исследуемого объекта и точная классификация этого состояния (нормальное или аномальное).

Основными преимуществами проведения своевременной диагностики промышленного многопараметрического объекта являются:

– снижение потребления тепло-, энергоресурсов за счет оптимизации работы оборудования;

– значительная экономия средств при достижении необходимого качества работы системы;

– повышение качества и эффективности оперативного управления за счет обеспечения персонала точной информацией о текущем положении контролируемых систем;

– планомерное техническое обслуживание объекта и ремонт по его реальному техническому состоянию;

– возможность масштабирования (наращивание системы без изменения существующей структуры);

– повышение производительности труда и значительное улучшение условий труда сотрудников, объективная оценка их деятельности;

Главным преимуществом диагностирования является возможность вести непрерывный контроль над объектом, при этом минимально завися от «человеческого фактора». Следовательно, диагностика обеспечивает полный сбор информации об основных процессах, которые происходят на объектах, и проверку их на соответствие определенным параметрам [1 – 5].

Среди объектов диагностирования в промышленности можно выделить следующие категории:

– опасные производственные объекты (например, газифицированные объекты, объекты химической промышленности, электростанции и т.д.). Постоянная диагностика параметров опасных объектов помогает предотвратить крупные аварии на производстве.

– технологические объекты (например, объекты пищевой промышленности, химической, энергетической, водоканалы, теплосети, объекты рыбного хозяйства, птицефабрик и т.д.). Необходимость диагностики данных объектов заключается в оптимизации и улучшении качества работы или продукции, когда нужно знать точные параметры протекающих процессов:

– исследовательские объекты (например, научно-технические разработки, испытательные аппараты, технологические процессы и т.д.). Контроль параметров таких объектов является экспериментальной частью исследований, необходимой для выявления «слабых» и «сильных» мест, оптимизации работы как отдельных частей объекта, так и всего объекта в целом.

По функционированию устройства диагностирования и сбора данных можно классифицировать на две группы: пассивные и активные:

– пассивные устройства (например, тепловычислители, корректоры газа, терморегуляторы, модули, платы ввода-вывода и т.д.). Они передают информацию по запросу интерфейса человек–машина.

– активные устройства (например, программируемые контроллеры, панели оператора, терминалы, встраиваемые компьютеры и т.д.). Такие устройства передают информацию как по запросу интерфейса человек–машина, так и по событию на объекте диагностирования [6 – 8].

Большая часть современного технологического оборудования отличается высокой степенью механизации и автоматизации производственных процессов, что приводит к необходимости постоянной диагностики большого числа параметров и характеристик. И как говорилось выше, есть опасная категория объектов, которая из-за высокой сложности и экстремальных условий работы (повышенная температура, давление, запыленность помещения, наличие агрессивных средств и т.д.) требует непрерывного контроля со стороны технического персонала. И по понятным причинам, нахождение вблизи данных объектов может быть опасно для жизни и здоровья людей. Именно в данном случае является целесообразным прибегнуть к удаленному контролю, что значительно снизит риск возникновения аварийных ситуаций.

Удаленная диагностика обеспечивает управление объектом и контроль его деятельности с помощью центрального диспетчерского поста, территориально расположенного на удалении от самого объекта. Для максимальной автономности работы система диспетчеризации оснащается встроенным источником бесперебойного питания, который может поддерживать работу системы на протяжении суток без доступа к электросети. Расходы на диспетчеризацию объекта быстро окупаются за счет сокращения рабочих мест операторов (и всех взаимосвязанных затрат).

Но, конечно, существует и локальная диагностика, которая предусматривает размещение всех необходимых элементов системы управления (в том числе диспетчерского пункта) в пределах инженерного объекта. В свою очередь,

несколько объектов, оборудованных локальными диагностическими пультами, могут объединяться под управлением одного удаленного центрального диспетчерского поста. Технически удаленная диагностика осуществляется с помощью технологий GSM и GPRS.

Библиографический список

1. Approximation of distribution law of experimental test data to assess reliability of information-measuring and control systems / Yu. T. Zyryanov, I. G. Ryazanov, A. Yu. Naumova, D. Yu. Muromtsev, N. G. Chernyshov, E. V. Trapeznikov Journal of Physics: Conference Series. XIII International Scientific and Technical Conference “Applied Mechanics and Systems Dynamics”. 2020. C 1441:012081., P. 1 – 8. doi:10.1088/1742-6596/1441/1/012081

2. Application of Generalized Distribution Laws for the Reliability Assessment of Information and Measuring Systems of Energy Saving Control / Y. T. Zyryanov, N. G. Chernyshov, I. G. Ryazanov, A. Y. Naumova, M. F. Dioumessy // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1172 (2019) 012108, 2019, March, Vol. 1172, No. 1. doi:10.1088/1742-6596/1172/1/012108

3. Белоусов, О. А. Применение алгоритмов нечеткой логики в системе управления диаграммообразующим устройством гибридной зеркальной антенны / О. А. Белоусов, Е. В. Рязанов, А. С. Колмыкова, А. И. Дякин // Программные продукты и системы № 4. Т. 31. 2018. С. 757 – 762 DOI: 10.15827/0236-235X.031

4. Построение сверхширокополосных излучателей с применением интегрированных печатных волноводов телевидения / О. А. Белоусов, А. С. Колмыкова, Р. Ю. Колмыков, А. И. Дякин // Журнал вопросы современной науки и практики. университет им. В. И. Вернадского. – 2017. – № 4(66). – С. 214

5. Selivanova, Z. M. Modelling of intelligent information measuring system to control hermophysical properties of materials and products / Z. M. Selivanova, D. S. Kurenkov, T. A. Hoang // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1278. P. 012040. DOI:10.1088/1742-6596/1278/1/012040

6. Селиванова, З. М. Интеллектуальная информационно-измерительная система дистанционного контроля качественных параметров теплоизоляционных материалов в условиях воздействия дестабилизирующих факторов / З. М. Селиванова, Д. С. Куренков // Вестник Тамбовского государствен-

ного технического университета. – 2020. – Т. 26, № 1. – С. 6 – 19. DOI: 10.17277/vestnik.2020.01.pp.006-019

7. Kurnosov, R. Yu. Metrological Ana.lysis of Analog-To-Digital Conversion Measurement Procedure in Information-Measuring and Control Systems / R. Yu. Kurnosov, T. I. Chernyshova, V. N. Chernyshov, M. A. Kamenskaya // Proceedings – 2020 2nd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2020, 2020, P. 61 – 64, 9280766

8. Kurnosov, R. Yu. Improving Metrological Reliability of Information Measuring Systems Using Mathematical Modeling of Their Metrological Characteristics / R. Yu. Kurnosov, T. I. Chernyshova, V. N. Chernyshov // International Conference Information Technologies in Business and Industry 2018IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1015 (2018) 032077 doi:10.1088/1742-6596/1015/3/032077.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ АППАРАТОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСОНТЕРАПИИ

А. Р. Аветисян, Я. И. Шнякина

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

Процедура электросонтерапии основана на воздействии низкочастотных импульсов прямоугольной формы на центральную нервную систему человека с помощью соответствующих электродов. Последовательность импульсов с дополнительной постоянной составляющей (ДПС) выходного тока приведена на рис. 1.

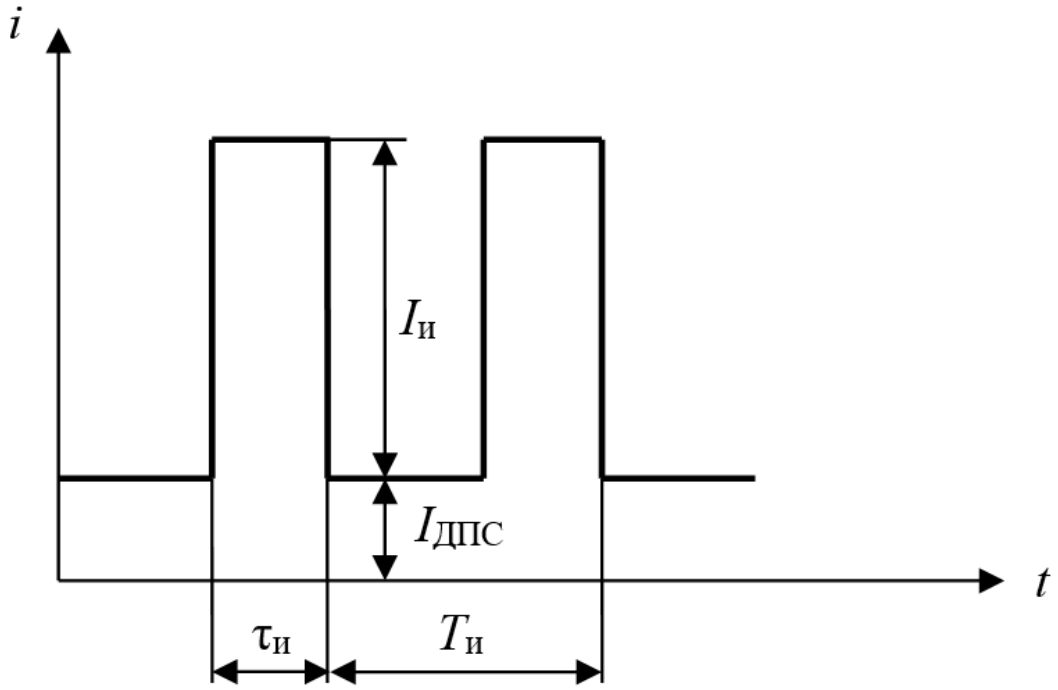


Рис. 1 Электрические импульсы при электросонтерапии:
$I_и$ – амплитуда импульсов; $I_{ДПС}$ – ДПС тока; $\tau_и$ – длительность импульсов; $T_и$ – период импульсов

Длительность импульсов лежит в диапазоне от 0,2 до 0,5 мс. Амплитуда регулируется от 0 до 10 мА при сопротивлении нагрузки, равной 5 кОм. Частота следования импульсов вычисляется по формуле $f_и = 1/T_и$ и, как правило, для процедуры электросна она лежит в пределах от 1 до 160 Гц.

Относительная погрешность выставляемых параметров на современном оборудовании сведена к минимуму и составляет порядка 5%. Этот факт дает уверенность в том, что ток, к примеру, не будет выше нормированного для электросна значения.

Воздействие тока оказывается на сенсорные ядра черепных нервов и гипногенные центры ствола мозга (гипоталамус, гипофиз, внутренняя область моста мозга, ретикулярная формация) с помощью электродов. Результатом такого воздействия является угнетение импульсной активности аминергических нейронов голубоватого ядра и ретикулярной формации, что приводит к снижению восходящих активирующих влияний на кору большого мозга и усилению внутреннего торможения. На рисунке 2 показаны точки приложения импульсного тока при электросонтерапии [1].

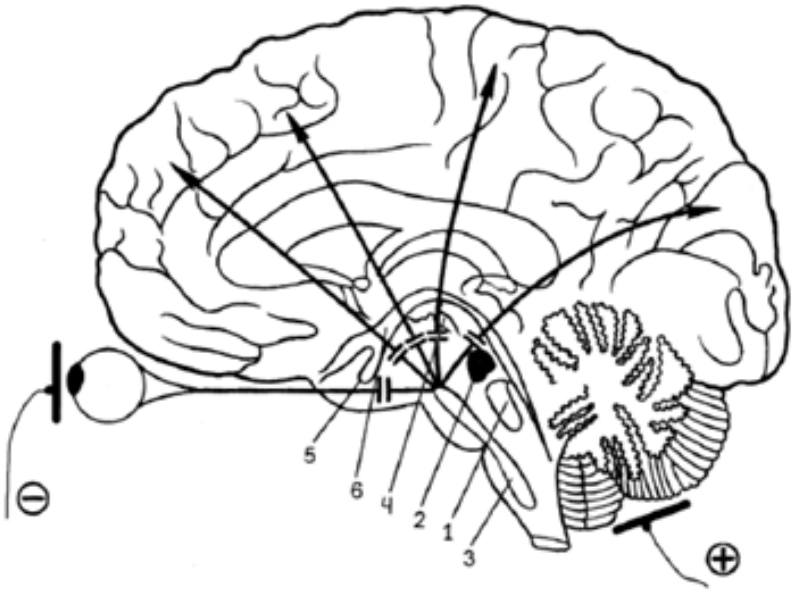


Рис. 2. Точки приложения тока:
1 – дорсальные ядра шва; *2* – голубоватое ядро; *3* – ретикулярная формация; *4* – таламус; *5* – гипофиз; *6* – гипоталамус

В настоящее время терапия электросном не пользуется популярностью, так как существует большое количество иных физиотерапевтических процедур, нацеленных на восстановление центральной нервной системы. Отсюда и небольшая распространенность данного метода в мировой практике и, соответственно, единичные варианты аппаратов для электросонтерапии.

В основном используются комплексные электротерапевтические аппараты, включающие в себя несколько видов воздействий, в том числе электросон. Примером послужит аппарат «Радиус-01 ФТ» (рис. 3).

Рис. 3. Аппарат электротерапевтический «Радиус-01 ФТ»

Он может использоваться в физиотерапевтических кабинетах, в лечебно-профилактических, санаторных, косметологических учреждениях, а также в частной медицинской практике и для лечения больных на дому.

Рассматривая возможности современных комплексных аппаратов, следует отметить высокий уровень безопасности и возможность сохранения индивидуальных параметров различных пациентов, что облегчает лечебный процесс.

Можно предположить, что в скором времени аппараты для электросонтерапии будут полностью замещены, так как электротерапевтическая аппаратура является более перспективным и, с экономической точки зрения, более выгодным решением [1 – 3].

Библиографический список

1. Лавринов, А. В. Использование метода воздействия малых токов при разработке терапевтических аппаратов / А. В. Лавринов, В. В. Недосекин, Т. А. Фролова // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2016. – Вып. 2, Т. I. – С. 170 – 174.

2. Фролов, С. В. Рациональный выбор медицинской техники для лечебно-профилактического учреждения на основе системы поддержки принятия решений / С. В. Фролов, М. С. Фролова, А. Ю. Потлов // Врач и информационные технологии. – 2014. – № 3. – С. 35 – 45.

3. Современные тенденции развития рынка медицинских информационных систем / С. В. Фролов, С. Н. Маковеев, С. В. Семенова, С. Г. Фареа // Вестник Тамбовского государственного университета. – 2010. – Т. 16, № 2. – С. 266 – 272.

ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЗАКУПОК УЛЬТРАЗВУКОВЫХ АППАРАТОВ

Б. З. Аль-Джабуби

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: bmt@nnn.tstu.ru)

УЗИ-сканер – универсальный диагностический инструмент, который за короткий промежуток времени позволяет оценить состояние исследуемых органов человека [1 – 4]. Современное УЗИ-оборудование можно смело назвать «глазами» врача: с помощью сканера специалист может оценить форму органа, его размеры, расположение. УЗИ-сканеры – оборудование не дешевое, но быстро окупающееся. Сканеры никогда не будут стоять без дела, при этом они не требуют использования дорогостоящих расходных материалов (например, специальной пленки), всю информацию можно сохранять на электронных носителях.

В связи с востребованностью метода, разработка информационной модели УЗИ, включающей общие требования, технические характеристики и требования к ПО, является актуальной задачей для лечебного учреждения.

На рисунке 1 представлена информационная модель в виде пакета классов, образующих ИМТ – «Ультразвуковой диагностический аппарат» (медицинский прибор (in vivo)). На верхнем уровне иерархии ИМТ «Ультразвуковой диагностический аппарат» находится класс «Область применения», который описывает области, где предполагается применение прибора. Для исследования каждой анатомической структуры в ультразвуковом диагностическом аппарате применяются специальные датчики и настройки. Поэтому при выборе прибора необходимо четко понимать, в какой из областей здравоохранения он будет использоваться.

В отношении композиции с классом «Область применения» состоят классы «Характеристики основного блока», «Характеристики монитора», «Кинопамять», «Устройства для ввода и вывода и сохранения информации», «Дополнительные принадлежности», «Тип прибора», «Измерение и анализ», и пакеты классов «Режимы сканирования», «Датчики». В отношении *агрегация* с классом «Область применения» стоит пакет классов «Дополнительное ПО». Отношение *агрегация* является одним из типов ассоциации, которая устанавливает связь между классами. В отношении *агрегация* классы выступают в форме «часть–целое», но в отличие от отношения *композиция* отношение *агрегация* не устанавливает обязательную связь между классами. Класс верхнего уровня иерархии в отношении *агрегация* может существовать без класса нижнего уровня иерархии. Это невозможно, если классы состоят в отношении *композиция*.

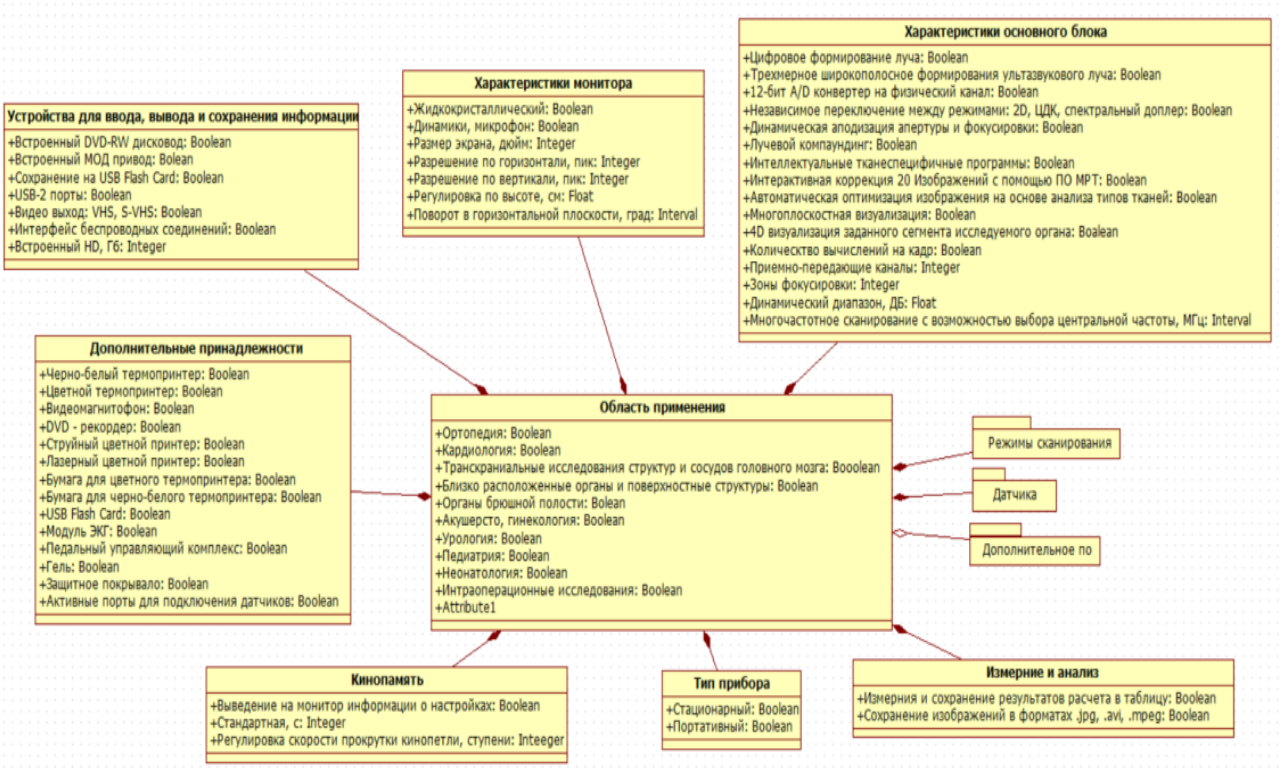


Рис. 1. Диаграмма классов: пакет классов «Ультразвуковой диагностический аппарат»

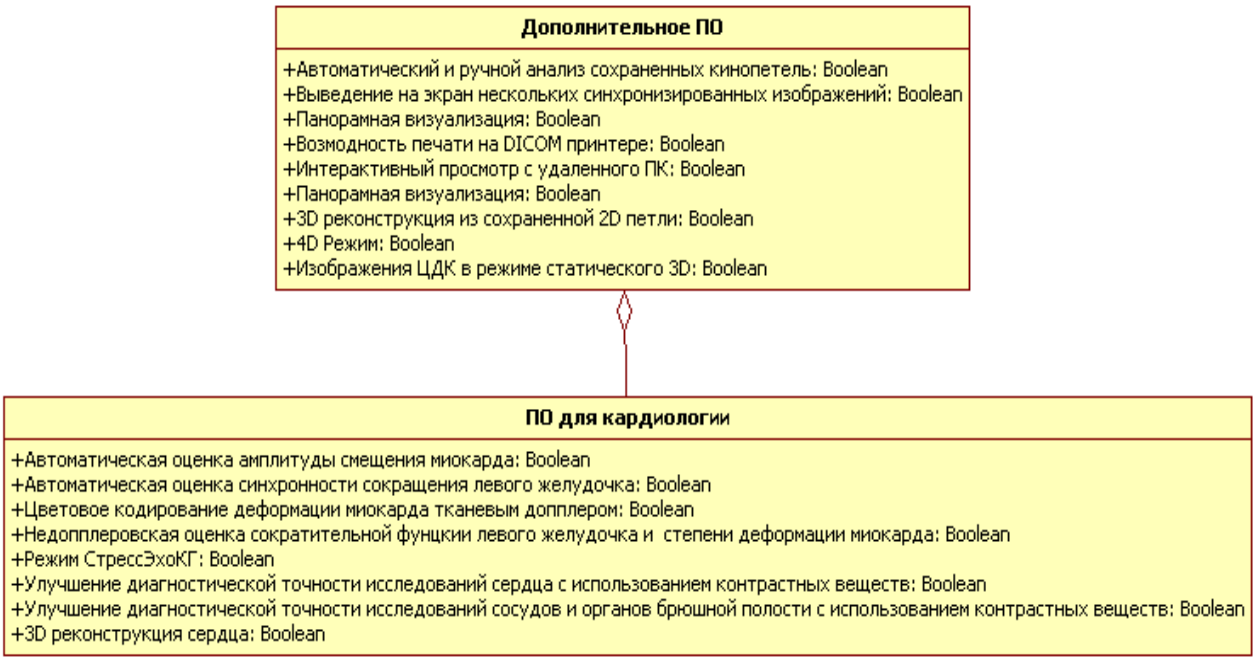


Рис. 2. Диаграмма классов: пакет классов «Дополнительное ПО»

Класс «Характеристики основного блока» имеет следующие атрибуты типа Boolean: «Цифровое формирование луча», «Трехмерное широкополосное формирование ультразвукового луча», «12-бит A/D конвертер на физический канал», «Независимое переключение между режимами 2D, ЦДК, спектральный доплер», «Динамическая аподизация апертуры и фокусировки», «Лучевой

компаундинг», «Интеллектуальные тканеспецифичные программы», «Градация серого», «Кодированное излучение», «Интерактивная коррекция 2D-изображения с помощью ПО МРТ», «Кодирование тканевой гармоники», «Автоматическая оптимизация изображения на основе анализа типов тканей», «Многоплоскостная визуализация», «4D-визуализация заданного сегмента исследуемого органа», «Количество вычислений на кадр», «Усреднение кадров», «Одновременное использование нескольких фокусных расстояний», «Гармоника фазовой инверсии», «Разворот и переворот изображения», «Послойное усиление изображения».

В ходе данной работы была разработана модель аппаратов УЗИ на языке UML, которая может служить для повышения эффективности работы служб закупки медицинской техники в лечебного учреждениях.

На рисунке 2 представлен пакет классов «Дополнительное ПО». Класс «Дополнительное ПО» состоит в отношении *агрегация* с классом «ПО для кардиологии». Программное обеспечение – важная часть ультразвукового диагностического аппарата, так как оно расширяет диагностические возможности прибора.

Опишем некоторые атрибуты класса. Атрибут дополнительного программного обеспечения класса «4D-Mode» имеет логический тип (Boolean). Это объемное сканирование, а четвертое измерение означает время. 4D – это трехмерное изображение в реальном времени. Когда мы говорим об объемном сканировании, мы имеем в виду группу кадров, объединенных в объем. В 4D-эхокардиографии датчик располагается на теле пациента. На экране отображаются два стандартных изображения сердца и его трехмерная модель. Сохранив изображение, врач может повернуть его и получить различные его участки, которые невозможно или труднее получить при других видах ультразвукового исследования.

Кроме того, есть технологии, позволяющие визуализировать несколько секций одновременно с одним сердечным циклом. Возможны комбинации многоплоскостных или трехмерных изображений с другими технологиями, например, с тканью допплер.

Атрибут «Режим СтрессЭхоКГ» класса «ПО для кардиографии» имеет тип Boolean. Использование стресс-эхокардиографии позволяет исследовать нарушение сократительной способности миокарда по сегментам: в каком из сегментов сердечной мышцы есть изменение кровотока, и с чем это изменение связано (рис. 3).

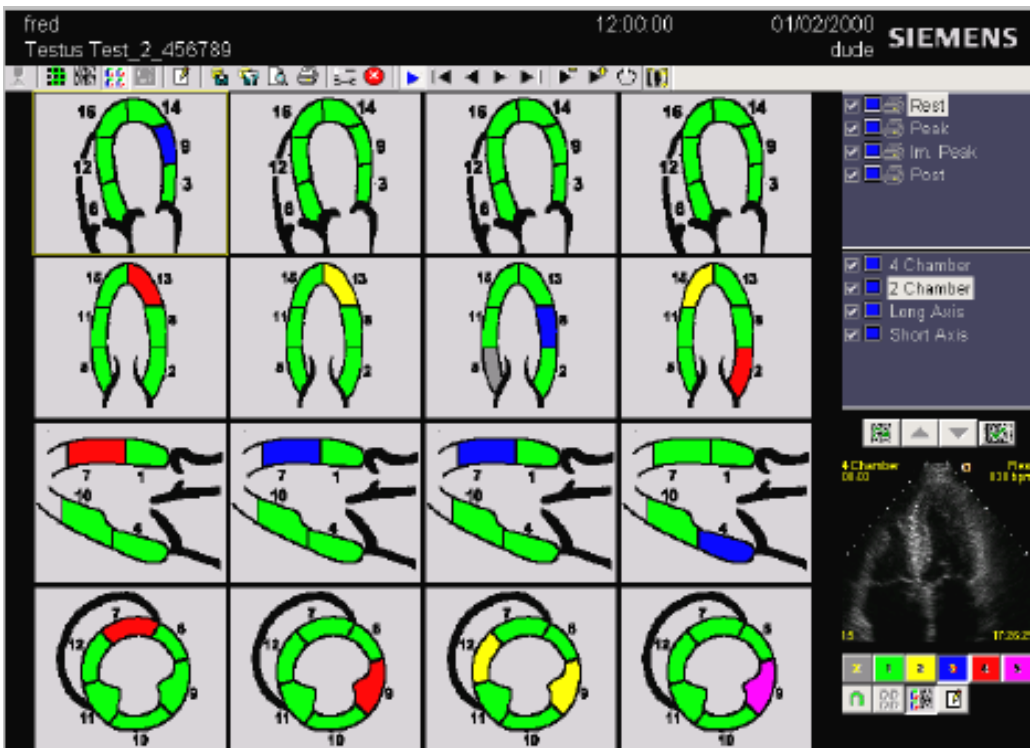


Рис. 3. Изображение на экране УЗИ аппарата при режиме Стресс-эхокардиография

Таким образом, диаграммы классов (рис. 1, 2) образуют информационную модель аппарата ультразвуковой диагностики.

Библиографический список

1. Фролова, М. С. Информационная модель медицинской техники на основе объектно-ориентированного подхода / М. С. Фролова, Т. А. Фролова, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2015. – № 4(58). – С. 139 – 145.

2. Фролов, С. В. Информационное моделирование медицинского изделия для задач оснащения учреждения здравоохранения медицинской техникой / С. В. Фролов, Т. А. Фролова. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2018. – 171 С. – С. 39–40.

3. Система поддержки принятия врачебных решений для формирования протокола ультразвуковых исследований / С. В. Фролов, В. В. Дубровин, А. Ю. Куликов, Р. А. Куликов // Врач и информационные технологии. – 2019. – № 1. – С. 64 – 72.

4. Информационная система формирования протоколов ультразвуковых исследований / Р. А. Куликов, С. В. Фролов, А. Ю. Куликов, В. В. Дубровин // Цифровая трансформация в энергетике: материалы Всероссийской научной конференции. – Тамбов : Издательский центр. ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2020. – С. 33 – 36.

ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПОЗИТРОННО-ЭМИССИОННОГО ТОМОГРАФА ДЛЯ НУЖД КОНТРАКТНОЙ СЛУЖБЫ ПРИ ЛЕЧЕБНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ УЧРЕЖДЕНИЯХ

Н. В. Венцерова, Т. М. Тымчук

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: bmt@nnn.tstu.ru)

Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ), она же двухфотонная эмиссионная томография, – это эффективный метод диагностики онкологических заболеваний. Данный метод сочетает в себе возможности ПЭТ и компьютерной томографии (КТ) или магнитно-резонансной томографии (МРТ), что позволяет с высокой долей точности установить наличие злокачественного образования [1 – 8].

Метод основан на регистрации пары гамма-квантов, возникающих при столкновении позитронов с электронами. Позитроны возникают при позитронном бета-распаде радионуклида, входящего в препарат, который вводится в организм пациента перед исследованием. Детекторы, расположенные вокруг пациента, регистрируют распределение радионуклида в сканируемом объекте и с помощью компьютерной обработки сигнала позволяют выполнить трехмерную реконструкцию объекта.

В настоящее время насчитывается около 8 видов ПЭТ в различных модификациях и обширным количеством различных настроек. В связи с этим значительно усложняется процесс составления технического задания в контрактных службах при больницах и в организациях технического обслуживания и ремонта [1 – 8].

Передовыми компаниями-разработчиками в данной отрасли являются *Philips Healtcare* с аппаратом ПЭТ/КТ *Philips Vereos* с высокой точностью снимков, сокращенным временем исследования пациента и технологией *4D*, которая способна учитывать синхронизацию реконструкцию изображения по дыханию. И другие компании как: *General electric Healtcare, Siemens Healthineers* и *Canon Medical Systems*.

Решением данной проблемы будет создание информационной модели, содержащей общие требования к позитронно-эмиссионным томографам, требования к ПО, полный список технических характеристик, требования

к безопасности, описание работы и конструкции томографов. Основным языком программирования данной модели будет служить *Unified Modeling Language (UML)* – унифицированный язык моделирования – язык графического описания для объектного моделирования в области разработки программного обеспечения, для моделирования бизнес-процессов, системного проектирования и отображения организационных структур.

В ходе разработки информационной модели было рассмотрено 10 технических заданий на закупку, международные статьи и произведен патентный поиск, на основании которых была разработана информационная модель (ИМТ), включающая инновации к аппаратам ПЭТ, на языке *UML*, представленная на рис. 1.

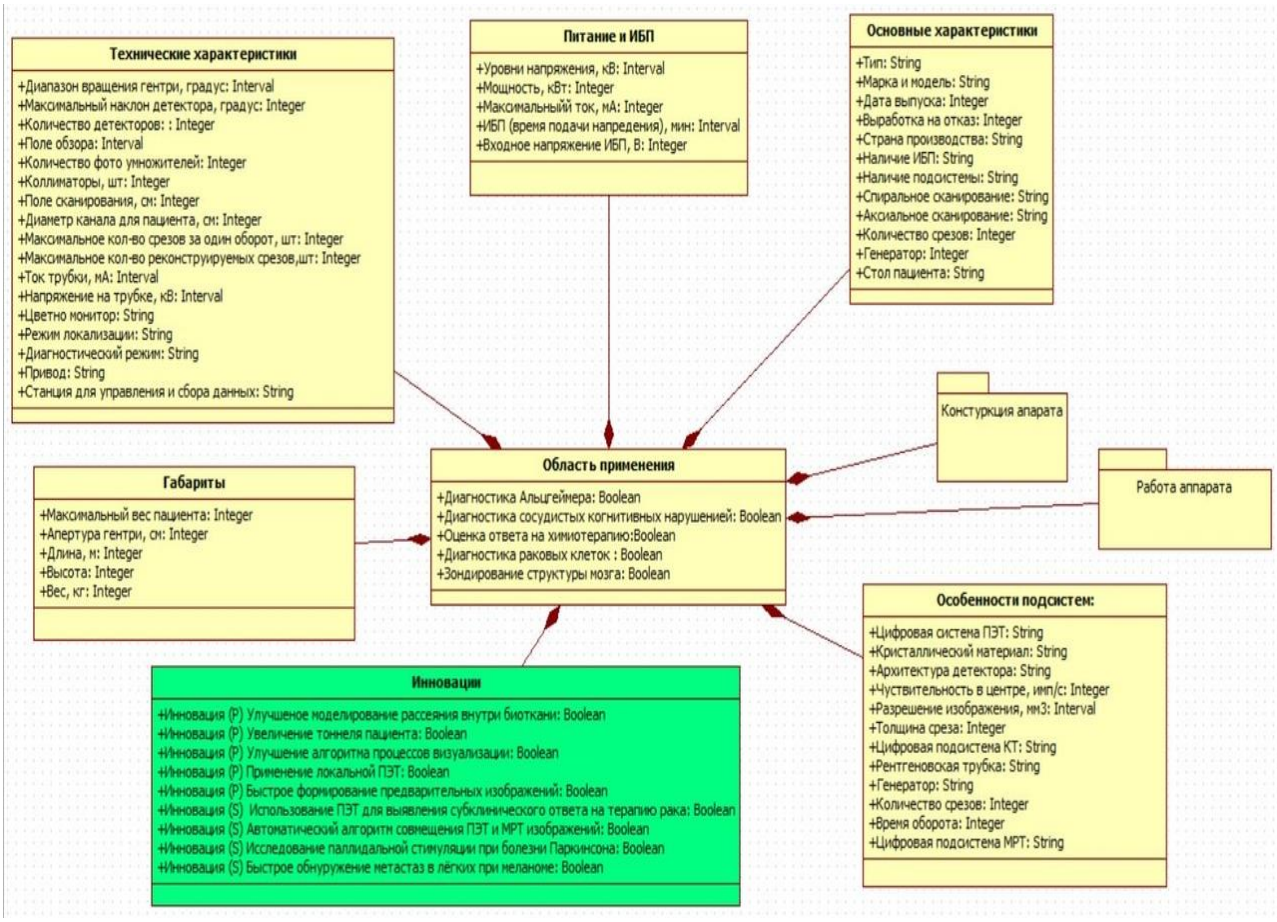


Рис. 1. Информационная модель позитронно-эмиссионных томографов на языке UML

Таким образом, показано, что основной задачей, определяющей эффективность работы контрактных служб, является составление технического задания с помощью информационной модели, которая представляет собой иерархическую связанную систему классов, что помогает выбрать определенный аппарат, отвечающий всем заявленным требованиям.

Библиографический список

1. Фролова, М. С. Оптимальный выбор изделия медицинской техники с использованием информационных систем в здравоохранении / М. С. Фролова, С. В. Фролов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013. – Т. 19(3). – С. 553 – 561.

2. Фролов, С. В. Мировые проблемы при выборе медицинского изделия для учреждения здравоохранения / С. В. Фролов, М. С. Фролова // Менеджер здравоохранения. – 2013. – № 11. – С. 50 – 61.

3. Фролова, Т. А. Information models of a medical device for its evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.

4. Фролова, Т. А. Информационные модели для оценки медицинского устройства / Т. А. Фролова, М. С. Фролова // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО«ТГТУ», 2017. – Вып. 4, Т. 3. – С. 123 – 128.

5. Фролова, М. С. Информационная модель медицинской техники на основе объектно-ориентированного подхода / М. С. Фролова, Т. А. Фролова, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2015. – № 4(58). – С. 139 – 145.

6. Коновалова, К. Н. Современные средства обработки информации в ядерной медицине / К. Н. Коновалова, Т. А Фролова // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. – 2016. – Вып. 2, Т. II. – С. 259 – 263.

7. Гундарцова, Е. С. Применение GMR-датчиков в медицине / Е. С. Гундарцова, Т. А. Фролова // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. – 2016. – Вып. 2, Т. II. – С. 255 – 259.

8. Коновалова, К. Н. Использование методов радионуклидной диагностики для выявления отклонений на ранних стадиях заболеваний / К. Н. Коновалова, Т. А Фролова // Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах : тез. 3-й Междунар. конф. с элементами научной школы. – Тамбов, 2016. – С. 444–445.

СИСТЕМА ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПОДКОЖНЫХ ВЕН В ИНФРАКРАСНОМ ДИАПАЗОНЕ СПЕКТРА ИЗЛУЧЕНИЯ

Т. К. Гончарова, И. А. Попов, Е. Н. Родина

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: streltsova.ttanya@yandex.ru)

Система относится к медицине, а именно к области лучевой диагностики, анестезиологии и реанимации, и может быть использована для визуализации функционирующих подкожных вен конечностей в процессе лечения тромбофлебитов или при выборе участка вены, наиболее пригодного для катетеризации.

На рисунке 1 представлена блок-схема способа инфракрасной визуализации подкожных вен конечности.

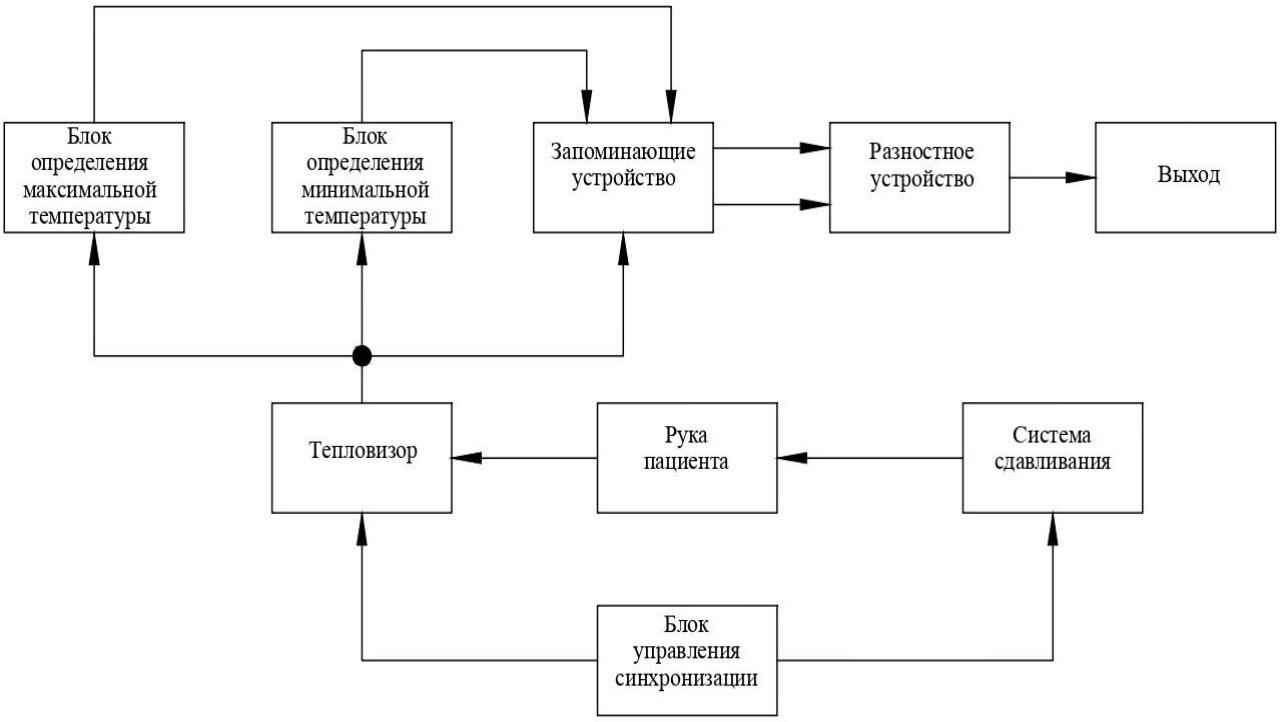


Рис. 1. Блок-схема способа инфракрасной визуализации подкожных вен конечности

Принцип работы. Рука пациента сдавливается до прекращения движения крови. После этого сдавливание прекращается и запускается тепловизор, для каждого изображения определяется минимальное и максимальное значение средней температуры кадра, в моменты времени максимального термоконтрастирования вен изображения запоминаются в ОЗУ, на выходе блок-схемы формируется нормированное разностное тепловизионное изображение.

Преимущество способа заключается в подавлении слабо изменяющегося температурного фона кожи руки.

К недостаткам данного способа относится невысокая глубина обнаружения вен, что обусловлено низкой температурной разрешающей способностью тепловизоров.

Большинство тепловизоров имеют температурное разрешение, в лучшем случае 0,1 градуса, а для обнаружения вен требуется температурное разрешение в 0,01 градуса.

При дистанционном измерении температуры тело человека приравнивается к абсолютно черного телу и примерно равно значению 0,98.

Главным условием при измерениях инфракрасным пирометром, является расстояние между инфракрасным измерителем и объектом, которое должно быть таким, чтобы в диаметр измеряемой области попадал только объект измерения.

Оптическое разрешение (D:S) – величина, которая определяется как отношение расстояния между пирометром и измеряемой поверхностью (D) к диаметру (S) измеряемой области на этой поверхности (рис. 2). Достаточное оптическое разрешение 10:1 или 12:1.

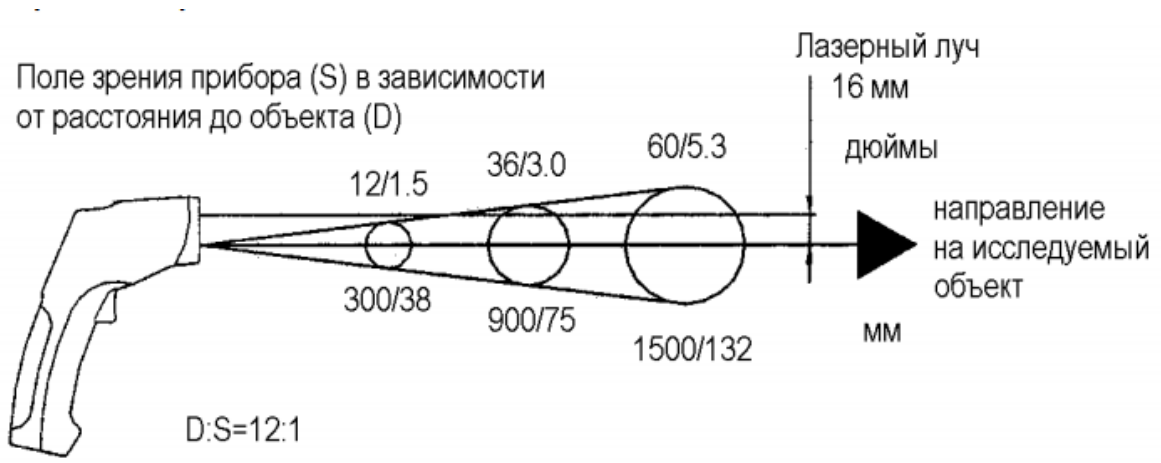


Рис. 2. Оптическое разрешение пирометра

Время отклика является важным критерием при множестве измерений или если измеряемая температура меняется быстро. Достаточное время отклика до 0,15 секунды или до 0,5 секунды.

Так, при разработке экспериментальной системы для визуализации подкожных вен в инфракрасном диапазоне спектра излучения для отображения данных используется персональный компьютер.

Устройство включает в себя: 1 – бесконтактный датчик температуры с лазерной указкой; 2 – плата Arduino; 3 – ПК.

Для фиксирования температурного измерения выбран бесконтактный датчик температуры и 13-позиционная лазерная указка из инфракрасного термометра Smart Sensor ST 490+.

Для того, чтобы датчик начал опрос портов и вывод информации на ПК, необходимо разработать программу для измерения температуры и вывода данных в среде Arduino.

Блок-схема алгоритма представлена на рис. 3.

Рис. 3. Блок-схема алгоритма работы разрабатываемой системы

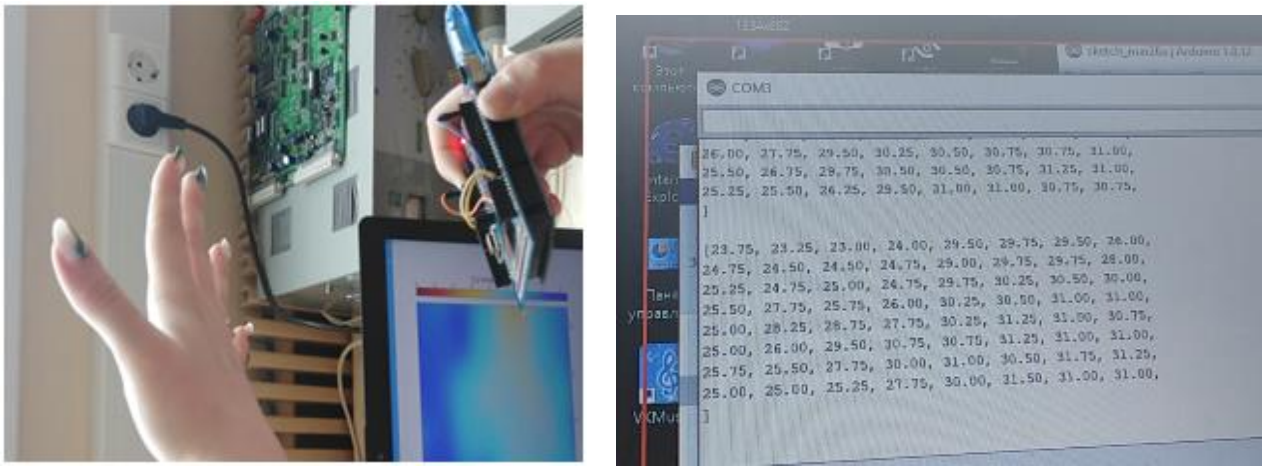


Рис. 4. Результат проведения экспериментального исследования

На рисунке 4 представлены результаты измерения температуры на кисти человека.

По полученным данным очень хорошо проглядывается изменение температуры, следовательно, где происходит увеличение температуры – это свидетельствует о наличии подкожных вен.

Таким образом, разработана пирометрическая система для обнаружения подкожных вен с требуемым разрешением. Особенностью данной системы является повышение разрешающей способности за счет сокращения динамического температурного диапазона и внесения изменений в систему измерения температуры.

Библиографический список

1. Строев, В. М. Способ визуализации подкожных вен в инфракрасном диапазоне спектра излучения / Строев В. М., Фесенко А. И. ; заявка № 2013131681/14, 09.07.2013, МПК A61B 5/01 ; опубл. 20.01.2015, Бюл. 2.

АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРЕВЕНТИВНОЙ МЕДИЦИНЫ. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ОСНАЩЕНИИ КАБИНЕТОВ ФИЗИОТЕРАПИИ

Е. А. Дудина

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: ekaterina.dudina.2002@mail.ru)

Современная ситуация в сфере здравоохранения такова, что традиционная медицинская помощь адресована, как правило, уже заболевшему человеку [1 – 6]. А один из главных моментов – мониторинг индивидуального здоровья, в основе которого лежат активно разрабатываемые в мире технологии превентивной медицины, – попросту отсутствует. Этап прогнозирования способен по настоящему стабилизировать показатели заболеваемости и снизить инвалидность трудоспособного населения, существенно сократив традиционно высокие расходы на лечение уже заболевших людей. Физиотерапия – это комплекс методов лечения, в которых используется влияние на организм естественных и искусственно созданных факторов – света, воды, электрического тока, магнитного поля, механического и температурного воздействия.

Более популярными становятся направления лазеротерапии, криотерапии и ударно-волновой терапии. Лазерная терапия направлена на профилактику и лечение заболеваний, вызванных нарушением работы функциональных систем организма, лечение и реабилитацию пациентов после ожогов, разрывов тканей, переломов. Сети медцентров используют высокотехнологичный магнито-инфракрасный аппарат экспертного класса: «РИКТА 04/4». Функционирование аппарата лазерной терапии «РИКТА 04/4» строится на реакции биологических тканей организма к конкретным электромагнитным излучениям. Импульсное лазерное излучение проходит сквозь ткани человеческого организма на глубину до 13 см, тем самым оказывая сильное стимулирующее воздействие на клеточный обмен веществ и гемодинамику. Импульсное инфракрасное светодиодное излучение дает возможность прогреться тканевым структурам поверхностных слоев, усиливает микроциркуляцию. Пульсирующий красный свет действует на довольно небольшой глубине проникновения в тканевую структуру. Значительно уменьшает интенсивность воспалительных процессов. Пульсирующий синий свет наделен лечебным эффектом. Обладает бактерицидным, ранозаживляющим, успокаивающим действием. Чрескожная электростимуляция (ЧЭНС) – метод

электрической стимуляции, направленный, в первую очередь, на обеспечение симптоматического облегчения боли за счет возбуждения нервных волокон.

Криотерапия – это лечение некоторых заболеваний с помощью воздействия холодом. В качестве хладагента чаще всего используется жидкий азот – прозрачная жидкость без запаха, с темп. кипения –196 °С, он не огнеопасен и обладает высокой терапевтической активностью. Криокапсула ICEQUEEN – это уникальная разработка российской компании (GRAND-CRYO), медицинский комплекс нового поколения. В отличие от аналогичного оборудования других производителей, криокапсула ICEQUEEN имеет ряд преимуществ. Герметичный корпус обеспечивает не только стабильное поддержание температуры от –130 до –160 °С, но и равномерное распределение холода внутри рабочей камеры, а также его одновременное воздействие на все тело пациента. Размещение пациента в практически полностью закрытой камере обеспечивает максимально полезное лечебное (терапевтическое) воздействие благодаря широкому охвату поверхности тела – до 98%. Полностью автоматизированное управление – производитель криокапсул гарантирует абсолютную безопасность криопроцедур, благодаря использованию высокотехнологичных компонентов компании Siemens. Подъемный электрический пол и сниженный уровень шума внутри камеры сделали криопроцедуру намного комфортнее для пациента. Экономичность оборудования – на 4–5 сеансов общей криотерапии расходуется всего 35 литров жидкого азота (один сосуд Дьюара).

Ударно-волновая терапия (УВТ) – метод экстракорпорального кратковременного воздействия на ткани акустическими импульсами значительной амплитуды низкой частоты (16…25 Гц в спектре инфразвука). Masterpuls MP 200 – это оптимальное решение для медицинского учреждения любого уровня, которое планирует использовать аппарат для ударно-волновой терапии в различных областях медицины. Masterpuls MP 200 обеспечивает применение технологии вакуумной терапии VACU-ACTOR. Данная методика применяется для бережного растяжения тканей и массажа, лечения острой и хронической боли. Вакуум создает дренирующий эффект, уничтожает фиброзные элементы. Благодаря терапии происходит расщепление метаболических токсинов и других нежелательных соединений. Аппараты серии Masterpuls поддерживают технологию вибромассажа V-Actor или биомеханическую стимуляцию, которая позволяет целенаправленно воздействовать на ткани пневматически генерируемыми виброимпульсами. Компрессия и декомпрессия усиливает микроциркуляцию, как следствие, – продукты метаболизма и токсины эффективно удаляются через кровь

и лимфатическую систему. В аппаратах серии Masterpuls используются сенсорные экраны управления с русифицированным интерфейсом, имеются предустановленные программы лечения, включая электронный анатомический атлас Visible Body, и управление базой данных пациентов.

Направления физиотерапии становятся популярны в современном мире, поскольку отмечаются высокий уровень безопасности и положительно сказывающиеся воздействия на организм пациента. Из основных достоинств данных направлений можно выделить: мощную стимуляцию нервной системы, коррекция факторов специфического и неспецифического иммунитета, улучшение кровообращения, обезболивание, снижение возбудимости вегетативных центров.

Библиографический список

1. Фролова, Т. А. Information models of a medical device for its evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.
2. Рикта. Аппарат лазерной-терапии. – URL : https://rikta-lazer.ru/ (дата обращения: 14.04.2021).
3. Криокапсула ICEQUEEN. – URL : http://icequeen-cryo.com (дата обращения: 14.04.2021).
4. Masterpuls MP200 – аппарат ударно-волновой терапии. – URL : https://longway-med.ru/ (дата обращения: 14.04.2021).
5. Фролова, Т. А. Информационные модели для оценки медицинского устройства / Т. А. Фролова, М. С. Фролова //Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО«ТГТУ», 2017. – Вып. 4. – С. 123 – 128.
6. Фролова, Т. А. Проектирование биомедицинских информационных систем / Т. А. Фролова, А. Н. Ряшенцева // Энергосбережение и эффективность в технических системах : материалы VI Междунар. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов. – Тамбов : Изд-во Першина Р.В., 2019. – С. 419 – 421.

ИЗУЧЕНИЕ КОНЦЕПЦИИ И ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ В ОПЕРАЦИОННОЙ КОМНАТЕ

Е. С. Дьячкова, А. А. Данилов

Национальный исследовательский университет
Московский институт электронной техники, Россия, Москва
(e-mail: frambuesa1234@yandex.ru, arseny.danilov@gmail.com)

Обеспечение стерильности медицинского оборудования и операционных помещений является актуальной задачей современной медицины. Нарушение стерильности повышает риск развития у пациента послеоперационных осложнений, связанных с развитием инфекций [1]. Стерилизация помещений, оборудования и инструментов может осуществляться с использованием пара, горячего воздуха, инфракрасного излучения, растворов химических средств и др. Стоит отметить, что одной из причин, затрудняющих создание полностью стерильных медицинских помещений, является наличие в этих помещениях розеток и удлинителей, необходимых для питания медицинского оборудования. В процессе работы в операционных на розетках и удлинителях скапливается пыль и грязь, и, зачастую, данные элементы изготовлены из материалов, которые могут быть повреждены при стерилизации.

Возможным способом решения данной проблемы может стать замена розеток и удлинителей на модули беспроводной передачи энергии к медицинскому оборудованию. Другим преимуществом такого подхода является меньшее количество проводов на полу в операционной, что облегчит передвижение медицинского персонала. В данной статье была выполнена оценка возможности реализации данного концепта.

На первом этапе с целью выбора подходящего способа беспроводной передачи энергии была выполнена оценка мощности, потребляемой медицинским оборудованием в операционной. В перечень этого оборудования входят хирургический аспиратор, стерилизатор, коагулятор, аппарат искусственной вентиляции легких, аппарат для ультразвукового исследования, рентгеновский аппарат и т.д. В таблице 1 показаны средние потребляемые мощности этих устройств. Из-за высокой потребляемой медицинским оборудованием мощности предпочтительным является реализация устройств беспроводной передачи энергии на основе индуктивной связи [2 – 4]. Индуктивная передача энергии происходит следующим образом. Первичная катушка генерирует изменяющееся магнитное

поле, которое проходит через вторичную катушку и индуцирует ток в ней. Также стоит отметить, что общая потребляемая мощность близка к мощности, требуемой для зарядки электромобилей. Как следствие, возможно разумным является заимствование отдельных технических решений, применяемых в данной области [5, 6].

1. Потребляемая мощность оборудования, используемого в операционной

Прибор	Потребляемая мощность, Вт
Аспиратор	44…120
Стерилизатор	50…145
Коагулятор	350
ИВЛ	200
УЗ аппарат	60
Мобильный рентген	800
Операционный микроскоп	150
Итог	1654…1825

Далее была выполнена оценка безопасности применения предложенной системы беспроводной передачи энергии при помощи индуктивной связи. В предлагаемой концепции передающая катушка или, например, массив катушек располагаются в полу. В свою очередь, принимающая катушка располагается на тележке, на которую устанавливается подключаемое к принимающей части системы беспроводного питания медицинское оборудование. Параметры предложенного прототипа: передающая катушка состоит из 14 витков, внутренний радиус катушки 0,2 м, шаг между витками 0,2 м, диаметр провода 4 мм. Использование таких размеров обусловлено российскими стандартами, применяемыми к этому типу помещений и величиной протекающего по катушке тока [7].

Основным возможным препятствием для реализации предложенной концепции является ее низкая электромагнитная безопасность – высокий уровень передаваемой мощности может привести к высокой удельной поглощаемой мощности и значительному нагреву тканей медицинского персонала и пациента. Чтобы оценить безопасность предложенной концепции в программе для численного моделирования на основе метода конечных элементов было выполнено моделирование операционной комнаты с модулем беспроводной передачи энергии.

Эта модель операционной для оценки удельной поглощенной мощности включает в себя катушку, расположенную в полу операционной, и цилиндрическую трехслойную модель человека. Модель человека состоит из слоя кожи толщиной 1 мм, слоя жира толщиной 3 см и мышц. Ее диаметр и высота выбраны равными 0,6 м и 1,7 м.

Удельная поглощенная мощность рассчитывается по следующей формуле:

$$\text{УПМ} = \frac{\sigma |E|^2}{\rho},$$

где σ [См/м] – удельная электропроводимость, ρ [г/см^3] – плотность ткани, а E [В/м] – напряженность электрической составляющей излучения в ткани [8].

В ходе моделирования были получены графики распределения удельной поглощенной мощности для токов в передающей катушке от 10 до 50 А и рабочих частот от 1 кГц до 1 МГц. В соответствии со стандартами максимально допустимое усредненное по всему телу значение удельной поглощенной мощности составляет 0,08 Вт/кг [9]. Распределение удельной поглощенной мощности было также усреднено по всему объему модели человека для сопоставления результатов. На рисунке 2 показано распределение удельной поглощенной мощности в тканях при токе 50 А и частоте 1 МГц. Максимальное значение удельной поглощенной мощности и максимальное среднее значение удельной поглощенной мощности составляют 12,2 Вт/кг и 0,89 Вт/кг соответственно.

На рисунке 3 показана безопасная зона для всего набора рассмотренных частот и токов.

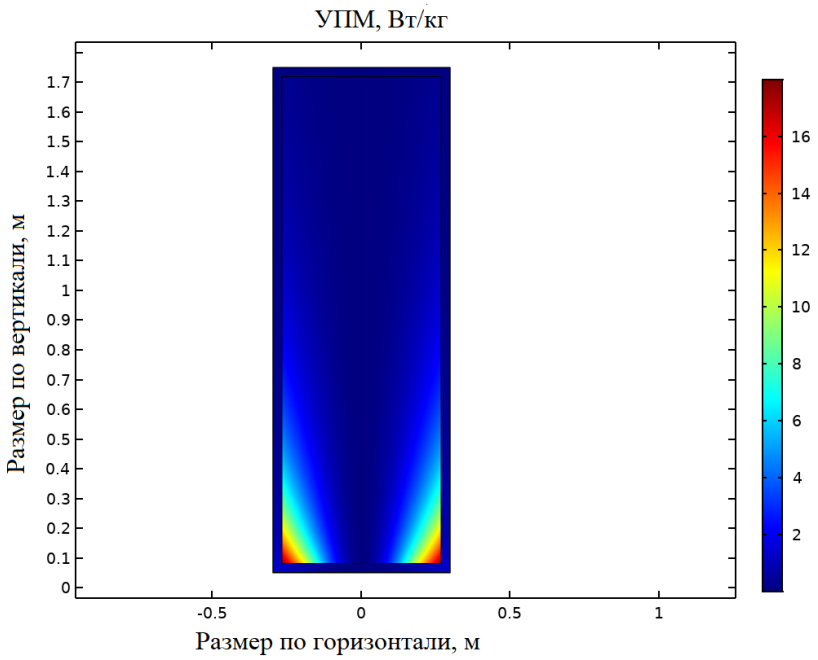


Рис. 2. Распределение УПМ в модели при протекании через катушку тока величиной 50 А с частотой 1 МГц

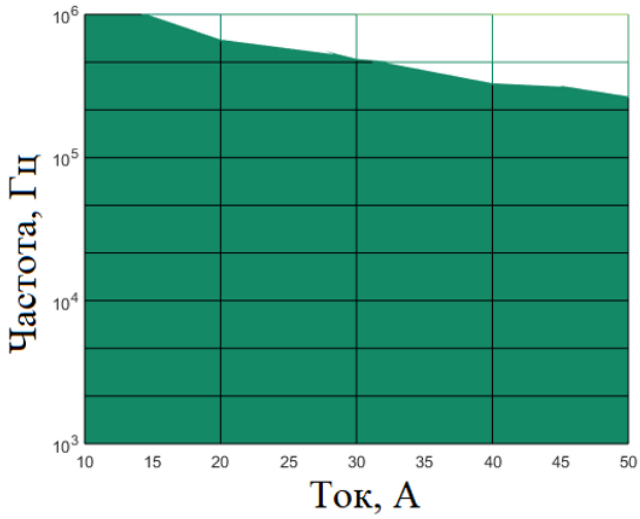


Рис. 3. График, иллюстрирующий безопасные наборы параметров тока и частоты. В зеленой зоне расположены наборы параметров, приводящие в возникновению УПМ ниже допустимого значения

В результате моделирования продемонстрирована возможность реализации идеи беспроводной передачи энергии в операционной комнате с точки зрения ее безопасности для человека.

Работа выполнена в рамках государственного задания, Соглашение № 075-03-2020-216 от 27.12.2019 г.

Библиографический список

1. Gaines S., Luo J.N., Gilbert J., Zaborina O., Alverdy J.C. Optimum operating room environment for the prevention of surgical site infections // Surgical Infections, 2017. V. 18. N. 4. P. 503-507.

2. Poon A.S.Y., O'Driscoll S., Meng T.H. Optimal operating frequency in wireless power transmission for implantable devices // Proc. Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol., 2007. P. 5673–5678.

3. Bocan K.N., Sejdic E. Adaptive transcutaneous power transfer to implantable devices: A state of the art review // Sensors, 2016. V. 16. N. 3.

4. Данилов, А. А. Развитие методов чрескожного беспроводного энергообеспечения имплантируемых систем вспомогательного кровообращения / А. А. Данилов, Г. П. Иткин, С. В. Селищев // Медицинская техника. – 2010. – № 4(262). – С. 8 – 15.

5. Schöttke S., Meyer J., Schegner P., Bachmann S. Emission in the frequency range of 2 kHz to 150 kHz caused by electrical vehicle charging // 2014 International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Gothenburg, 2014. P. 620-625.

6. Asa E., Mohammad M., Onar O. C., Pries J., Galigekere V., Su G. -J. Review of Safety and Exposure Limits of Electromagnetic Fields (EMF) in Wireless Electric Vehicle Charging (WEVC) Applications // 2020 IEEE Transportation Electrification Conference & Expo (ITEC), Chicago, IL, USA, 2020. P. 17-24.

7. СанПиН 2.1.3.2630-10 «Санитарно-эпидемиологические требования к организациям, осуществляющим медицинскую деятельность».

8. Кудряшов, Ю. Б. Радиационная биофизика: радиочастотные и микроволновые электромагнитные излучения / Ю. Б. Кудряшов, Ю. Ф. Перов, А. Б. Рубин. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008.

9. ICNIRP (International Commission on Non-Iodizing Radiation Protection). Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz) // Health Phys., vol. 74, no. 4, 1998, pp. 494–522.

МНОГОМОДАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПЕРСОНИФИЦИРОВАННОЙ ДИАГНОСТИКИ И ТЕРАПИИ ПРЕДСТАТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

Д. С. Забанов[1], Е. В. Кривина[1], Р. И. Сафронов[2]

[1]*Юго-Западный государственный университет, Россия, Курск*
(e-mail: SFilist@gmail.com),
[2]*Курская государственная сельскохозяйственная академия*
имени И. И. Иванова, Россия, Курск
(e-mail: russafronov@yandex.ru)

Одной из актуальных задач цифровой медицины является разработка и внедрение эффективных систем реабилитации, которые, используя методы интеллектуального анализа данных, помогают врачам в задачах оценки эффективности лечения и т.д. Особый интерес представляет мониторинг эффективности терапевтических электромагнитных воздействий внутренних органов человека при лечении инфекционных и онкологических заболеваний [1, 2].

Для оптимизации терапевтического воздействия на внутренние органы используется биотехническая обратная связь (БТОС) и модуль нечеткого управления (МНЧУ) [3, 4]. Однако использование только БТОС недостаточно для эффективной магнитотерапии, так как управляющее воздействие необходимо формировать не только по текущему функциональному состоянию (ФС) органа-мишени, но и по динамике его ФС в процессе курсового лечения. Следовательно,

в процессе терапии необходимо осуществлять и диагностику ФС органа-мишени согласно методике контроля эффективности терапии, описанной в [5].

Структурная многомодальная система персонифицированной диагностики и терапии предстательной железы (ПЖ) с включенными в ее состав модулями БТОС и МНЧУ представлена на рис. 1. Магнитотерапия, осуществляемая этой системой, включает курсовое воздействие электромагнитным излучением на предстательную железу после эндоректального ввода аппликатора. Внутри аппликатора находится катушка индуктивности, которая является источником терапевтического электромагнитного поля. С катушкой индуктивности соединен генератор звуковой частоты (ГЗЧ). Для снижения нелинейных искажений сигнал с ГЗЧ проходит через фильтр нижних частот. Интенсивностью электромагнитных колебаний управляют посредством аудиусилителя. Вектор состояния объекта-мишени формируется посредством датчиков фотоплетизмограммы (ФПГ), датчиков температуры, установленных на аппликаторе, а также автоматического анализа УЗИ-изображения ПЖ [1].

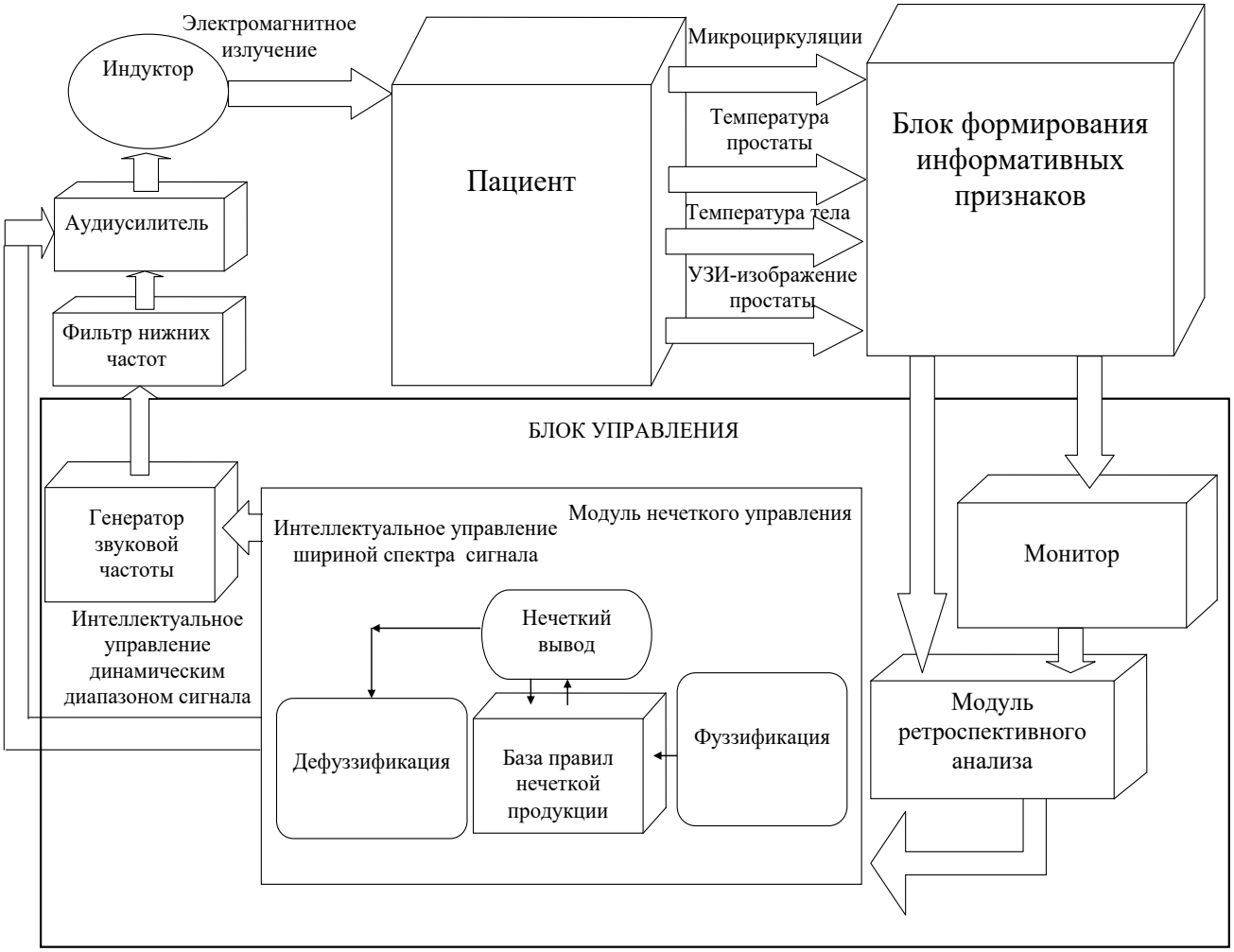


Рис. 1. Структурная схема мультимодальной системы для интеллектуального управления магнитотерапией предстательной железы

Для управления магнитотерапией используется множество суррогатных маркеров, таких как параметры межклеточных соотношений, артериальное давление, температура и т.д. [3]. При магнитотерапии по результатам мета-анализа в качестве суррогатных маркеров используем результаты мониторинга ФПГ и температуры [5], а также результаты анализа УЗИ-изображения ПЖ.

Сущность управления состоит в следующем. Данные ФПГ и датчиков температуры оцифровываются соответствующими датчиками и поступают в блок управления (рис. 1). Блок управления выполняет две функции: а) определяет ФС органа-мишени; б) управляет параметрами терапевтического электромагнитного поля.

Для диагностике ФС ПЖ анализируется текущее изображение ПЖ и УЗИ-изображения ПЖ, полученные в реперных точках курсового лечения, что позволяет определять эффективность магнитотерапии на основе ретроспективного анализа УЗИ-изображений ПЖ. Векторы информативных признаков, сформированные в различных реперных точках, хранятся в Мониторе (рис. 1). В модуле ретроспективного анализа осуществляется анализ текущего вектора ФС органа-мишени, а также векторов ФС, полученных в других реперных точках. На основе этого анализа на входе МНЧУ формируется соответствующий входной вектор.

При магнитотерапии простатита использовался аппликатор аппарата УЛП-01-ЕЛАТ [5]. На аппликаторе имеется технологическое плато, которое было использовано для установки инфракрасного излучателя и приемника инфракрасного излучения. Динамический диапазон ГЗЧ и аудиусилителя формируется МНЧУ на основе анализа датчиков БТОС.

С помощью первого (основного) и второго (индифферентного) датчиков температуры измерялась температура в окрестности простаты и в индифферентной точке. В качестве датчика температуры использовалась интегральная микросхема серии «HTU21D» фирмы «TE Connectivity», которая обеспечивает максимальную разрешающую способность измерения температуры до 0,01 °С.

Таким образом, на выходе фуззификатора (входе блока нечеткого вывода) имеем лингвистические переменные, которые характеризуют изменение суррогатных маркеров в процессе магнитотерапии, на входе – числовую переменную, которая характеризует величину информативного признака.

Блок нечетного вывода включает совокупность решающих правил, каждому из которых присваивается определенная степень активности в зависимости от конкретного значения, как информативных признаков, так и выходных параметров блока нечетного вывода. Процесс формирования правил в значительной степени зависит от размещения функций принадлежности нечетных множеств. В процессе экспериментальных исследований рассматривались различные варианты этих функций и каждый раз получалась другая база правил с другим

качеством управления. Подбор наилучшего размещения функций принадлежности представляет собой самостоятельную задачу, которая в настоящей работе не рассматривается.

Проведенные клинические испытания магнитотерапии совместно с противобактериальной терапией показали, что интеллектуальная магнитотерапия эффективным средством в лечении острого и хронического воспаления ПЖ.

Библиографический список

1. Филист, С. А. Магнитотерапия простатита с биологической обратной связью по оптическому каналу связи / С. А. Филист, Д. С. Забанов, А. А. Трифонов // Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии : докл. XIII Междунар. науч. конф. – Владимир, 2018. – Кн. 1. – С. 147 – 153.

2. Филист, С. А. Магнитотерапевтический аппарат с адаптируемым спектром электромагнитного излучения для лечения простатита и гинекологических заболеваний / С. А. Филист, А. А. Кузьмин, Д. В. Мешковский // Медицинская техника. – 2008. – № 4. – С. 20 – 24.

3. Пат. 2012234 РФ, МПК А61В8/06. Способ определения эффективности магнитотерапии при лечении цереброваскулярных заболеваний / Мясников И. Г., Сорокина Г. А. ; патентообладатель Нижегородский государственный медицинский институт. – Заявл. 11.06.1990 ; опубл. 15.05.1994.

4. Алгоритмы мета-анализа эффективности диагностических и терапевтических решений на основе мониторинга суррогатных маркеров, получаемых по результатам анализа сложноструктурируемых изображений / С. А. Филист, А. Г. Курочкин, А. А. Кузьмин и др. // Известия Юго-Западного государственного университета. Сер. Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2016. – № 4(21). – С. 41 – 55.

5. Биотехническая система персонифицированной магнитотерапии с комбинированной обратной связью / М. А. Ефремов, С. А. Филист, Д. С. Забанов и др. // Известия ЮЗГУ. Сер. Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2020. – Т. 10, № 2 – С. 46 – 66.

6. Система коррекции функционального состояния организма человека на основе медицинского мониторинга параметров внутренних органов / К. В. Подмастерьев, Д. С. Забанов и др. // Искусственный интеллект в решении актуальных социальных и экономических проблем XXI века : сб. ст. по материалам Четвертой Всерос. науч.-практ. конф. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2019. – Ч.1. – С. 186 – 191.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ДОППЛЕРОГРАФИИ КРОВЕНОСНЫХ СОСУДОВ МЯГКИХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ

И. А. Карак

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: iren68rus@gmail.com)

Острые нарушения кровообращения в сосудах зрительной системы относятся к числу наиболее тяжелых форм патологий глаза, приводящих к частичной или полной потере зрения. В связи с этим разработка методов допплерографии кровеносных сосудов в мягких биологических тканях на основе спектральной оптической когерентной томографии (ОКТ) является актуальной.

Целью проводимых исследований является разработка алгоритма (рис. 1) доплеровского картирования кровеносных сосудов в мягких биотканях с повышенным пространственным разрешением и повышенной детализацией.

Рис. 1. Алгоритм обработки ОКТ-сигналов

Согласно приведенному выше алгоритму (рис. 1), первоначально вводятся данные для обработки и управляющие параметры.

Исходными данными является совокупность из по меньшей мере двух структурных ОКТ-изображений. Все сканы получены под одним и тем же углом сканирования, через равные короткие промежутки времени и принадлежат одному исследуемому участку.

Полученные во время эксперимента изображения подвергаются предварительной обработке. Предварительная обработка состоит из трех этапов:

– применение полосовой фильтрации;
– применение порогового ограничения;
– контрастирование.

Далее производится оценка местоположения кровеносных сосудов посредством оценки дисперсии спеклов, как в пределах одного изображения, так и между последовательными изображениями.

Изображение, полученное после оценки дисперсии спеклов, обрабатывается с помощью медианного фильтра. Это обеспечивает сглаживание результирующего изображения.

Последний этап алгоритма – визуализация изображений, полученных на разных стадиях обработки.

Таким образом, разработан алгоритм доплеровского картирования в спектральной ОКТ, потенциально пригодный для широкого применения в реальной клинической практике, в первую очередь, в офтальмологии.

Библиографический список

1. Фролова, Т. А. Information models of a medical device for its evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.

2. Эластография мягких биологических тканей и эндоскопические исследования с помощью оптической когерентной томографии: монография / С. В. Фролов, А. Ю. Потлов, С. В. Синдеев, С. Г. Проскурин. – Тамбов : Тамбовский государственный технический университет, ЭБСАСВ, 2017. – 80 с.

3. Ильясова, Н. Ю. Диагностический комплекс анализа изображений сосудов глазного дна / Н. Ю. Ильясова // Биотехносфера. – 2014. – № 3(33) – С. 20 – 24.

СОЗДАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО АППАРАТА НА ЯЗЫКЕ UML ДЛЯ УПРОЩЕНИЯ СОСТАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ КОНТРАКТНОЙ СЛУЖБОЙ ЛПУ

И. А. Карак

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: iren68rus@gmail.com)

Современная медицина немыслима без ультразвуковых исследований, и УЗ-сканеры сегодня стали постоянными помощниками врачей практически всех специальностей. Высокотехнологичное медицинское оборудование выводит медицину на новый качественный уровень, делая ее все более точной наукой.

Являясь незаменимым и востребованным медицинским оборудованием, УЗ-сканер позволяет проводить различные обследования в разных областях медицины высокоточно и эффективно. В связи с вышесказанным разработка информационной модели ультразвукового аппарата является актуальной задачей для лечебно-профилактических учреждений.

В ходе выполнения представленной работы было рассмотрено 17 технических заданий на закупку ультразвуковых аппаратов, на основании которых была разработана информационная модель ИМТ – аппаратов УЗИ на языке UML, представленная на рис. 1.

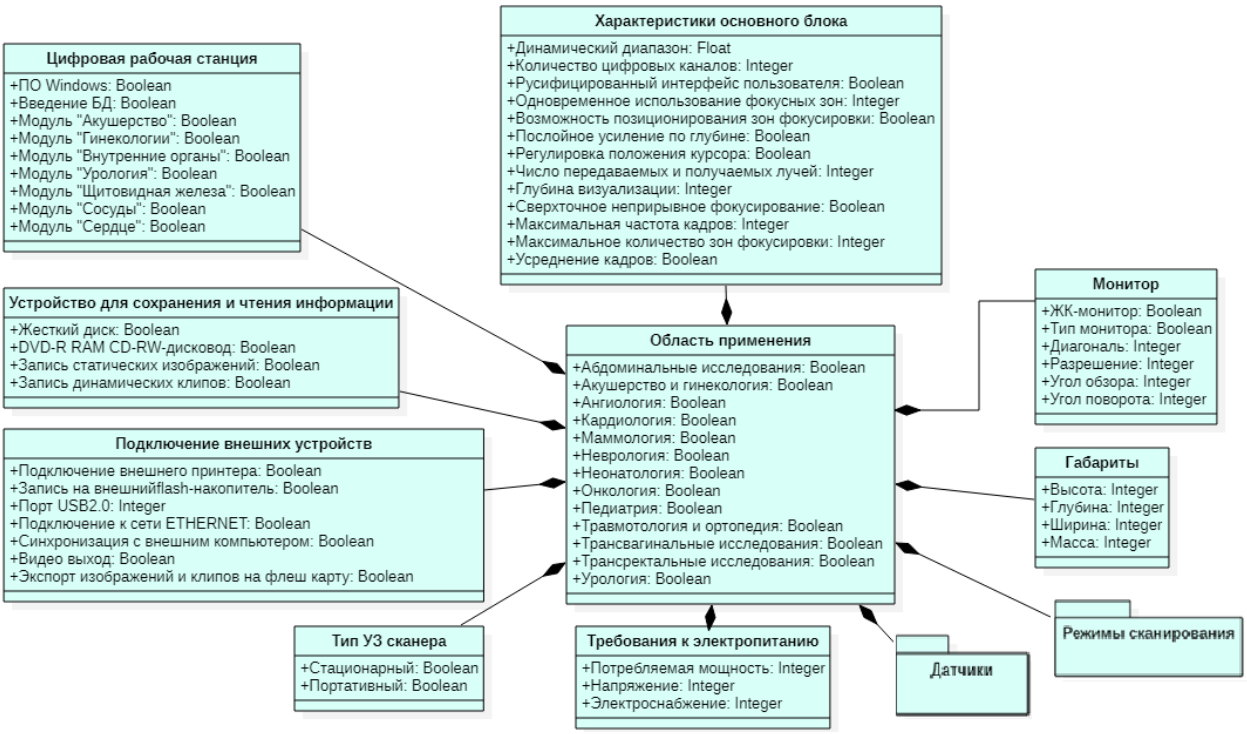


Рис. 1. Диаграмма классов: пакет классов «Аппараты УЗИ»

Класс «Область применения» включает в себя атрибуты, имеющие тип Boolean.

В отношении композиции с классом «Область применения» состоят классы «Цифровая рабочая станция», «Характеристики основного блока», «Монитор», «Устройство для сохранения и чтения информации», «Режимы сканирования», «Датчики», «Габариты», «Подключение внешних устройств», «Требования к электропитанию», «Тип УЗ сканера».

Класс «Цифровая рабочая станция» имеет следующие атрибуты типа Boolean. Класс «Характеристики основного блока» имеет ряд атрибутов типа Boolean, так же данный класс имеет атрибуты типа, в состав класса входит атрибут типа Float. В состав класса «Монитор» входят атрибуты типа Boolean и Integer. Класс «Устройство для сохранения и чтения информации» имеет атрибуты типа Boolean. Класс «Габариты» содержит атрибуты типа Integer. Класс «Подключение внешних устройств» имеет атрибуты типа Boolean и также имеется атрибут типа Integer. Класс «Требования к электропитанию» имеет атрибуты типа Integer. Класс «Тип УЗ сканера» имеет два атрибута типа Boolean.

В ходе данной работы была построена информационная модель ультразвукового аппарата на основе метода объектно-ориентированной декомпозиции, представляющую собой иерархическую связанную систему классов. Построенная модель способствует повышению эффективности работы контрактной службы в лечебно-профилактических учреждениях.

Библиографический список

1. Фролова, Т. А. Information models of a medical device for its evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.

2. Современные тенденции развития рынка медицинских информационных систем / С. В. Фролов, С. Н. Маковеев, С. В. Семенова, С. Г. Фареа // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2010. – Т. 16, № 2. – С. 266 – 272.

СИСТЕМА УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ БЕРЕМЕННОЙ ЖЕНЩИНЫ

И. П. Корнеева

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова-Ленина. Россия, Санкт-Петербург
(e-mail: korneeva.inkorn@gmail.com)

Постановка проблемы. В настоящее время технологии удаленного мониторинга состояния здоровья получают все более широкое распространение. Такие технологии позволяют отслеживать изменение жизненно важных показателей пациентов с хроническими заболеваниями в режиме реального времени и оперативно реагировать на их изменения.

Одной из основных категорий людей, для которых целесообразно применение системы удаленного мониторинга, являются беременные женщины. За 2019 год в Санкт-Петербурге было зарегистрировано около 55 тысяч беременных женщин, из которых 78% имели хронические заболевания. Поскольку во время беременности еще важнее наблюдать и оценивать состояние здоровья женщины, чем в обычной жизни, системы удаленного мониторинга оказываются необходимыми. Их наличие может иметь критическое значение в ситуациях, когда у беременной женщины нет возможности посетить женскую консультацию, сдать анализы и получить рекомендации врача. Примером такой ситуации может служить пандемия вируса COVID-19.

Одним из наиболее серьезных осложнений во время беременности является преэклампсия. Преэклампсия – это осложнение беременности, возникающее во второй половине гестации и сопровождающееся обширной дисфункцией внутренних органов и систем беременной женщины. Преэклампсия классифицируется как гипертензивное расстройство беременности и является одной из основных причин материнской смертности. По данным всемирной организации здравоохранения материнская смертность от преэклампсии достигает 1,8% в развитых странах и 14% в развивающихся. В настоящее время наблюдается увеличение частоты встречаемости преэклампсии вне зависимости от экономического развития страны. На исход беременности пациенток с преэклампсией существенно влияет своевременность диагностики, а также правильное определение степени тяжести расстройства [1].

Для выявления нарушений, приводящих к развитию преэклампсии, необходимо периодически контролировать состояние здоровья беременной, особенно если имеет место наличие хронических заболеваний. Система удаленного

мониторинга позволяет своевременно отслеживать возникающие нарушения и проводить интегральную оценку состояния пациентки.

Цель работы. На основе анализа выявленных случаев преэклампсии выявить основные диагностически значимые показатели, отслеживая изменение которых, можно с большой долей вероятности судить о развитии этого осложнения беременности, а также предложить технические средства для системы удаленного мониторинга этих показателей.

Диагностически значимые показатели развития преэклампсии. Основными диагностически значимыми показателями при определении преэклампсии в клинической практике считаются [2]:

– артериальная гипертензия;

– протеинурия.

Артериальная гипертензия при преэклампсии характеризуется систолическим артериальным давлением (далее – АД) > 140 мм рт. ст. и/или диастолическим АД > 90 мм рт. ст., измеряется дважды с интервалом 6 часов. В случае если повышенное АД зафиксировано как минимум два раза при соответствующем временном интервале измерений, у пациентки диагностируется артериальная гипертензия.

Протеинурия – это повышение уровня концентрации белковых соединений в моче пациентки. В норме количество белка в пробе мочи беременной женщины может достигать 0,3 г/л в суточном заборе. Диагностически значимым показателем является превышение порога в 0,3 г/л в суточном заборе или в двух пробах, взятых с интервалом в 6 часов.

Для корректной постановки диагноза и принятия решения о назначении лечения необходим совместный мониторинг и анализ уровня концентрации белковых соединений в моче беременной женщины, а также ее АД.

Предполагаемая структура системы удаленного мониторинга. Предлагаемая система удаленного мониторинга состоит из нескольких уровней [3]: уровень пациента, включающий в себя портативный монитор для регистрации АД, а также биохимический анализатор мочи, второй уровень – смартфон пациентки, с помощью которого происходит предварительная обработка данных с монитора и анализатора, а также формируется комплекс диагностически значимых показателей. Третий уровень – сервер лечебного учреждения, на этом уровне проводится оценка комплекса показателей и дается оценка состояния пациентки. И четвертый уровень – компьютер лечащего врача, с помощью которого врачом осуществляется контроль состояния пациентки, а также принимается решение о назначении лечения, если необходимо. Структурная схема системы удаленного мониторинга представлена на рис. 1.

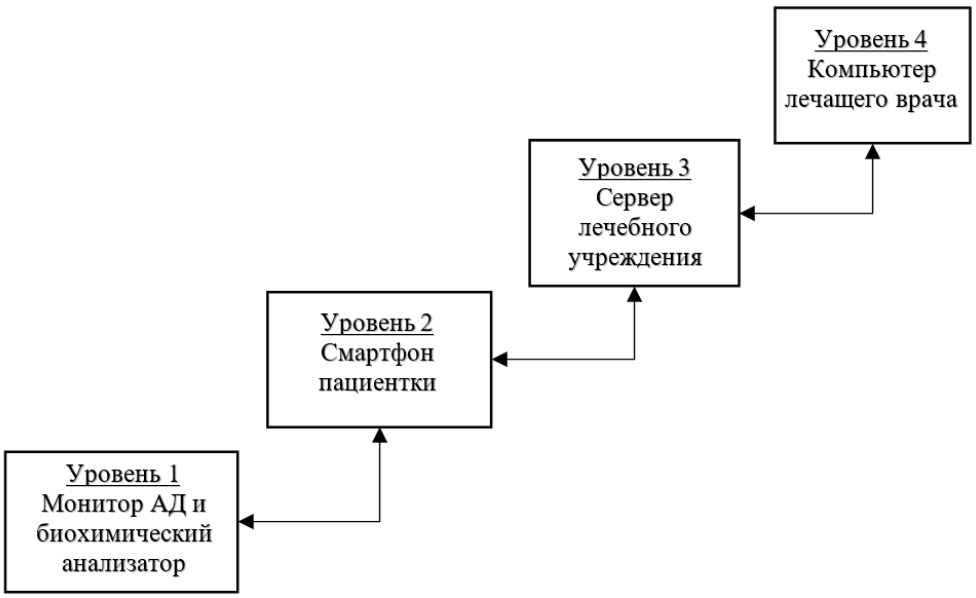


Рис. 1. Структура предлагаемой системы удаленного мониторинга по уровням

Выводы. Системы удаленного мониторинга приобретают все большую значимость, особенно в условиях изменившейся реальности после пандемии 2020 года. Предложенная система удаленного мониторинга позволит контролировать состояние здоровья беременной женщины, в частности ее биохимические показатели, а также артериальное давление для своевременного выявления одного из наиболее опасных осложнений беременности – преэклампсии. Предложенная система состоит из нескольких уровней, на каждом из которых выполняется определенная часть задачи по оценке состояния пациентки. На выходе лечащий врач имеет интегральную оценку диагностически значимых показателей пациентки. При необходимости в предложенную систему возможно добавить другие портативные устройства и мониторы для расширения спектра отслеживаемых физиологических параметров пациентки.

Библиографический список

1. Гипертензивные расстройства во время беременности, в родах и послеродовом периоде. Преэклампсия. Эклампсия: клинические рекомендации (протокол лечения) / Российское общество акушеров-гинекологов ; сост. : Л. В. Адамян, Н. В. Артымук, Н. В. Башмакова и др. – М., 2016. – 71 с.

2. Chesley’s Hypertensive Disorders in Pregnancy, 4th ed. / R. N. Taylor [et al.]. – Amsterdam: Academic Press, 2014. – 484 p.

3. Юлдашев, З. М. Система удаленного интеллектуального мониторинга состояния здоровья людей / З. М. Юлдашев, А. А. Анисимов // Медицинская техника. – 2017. – № 1. С. – 45 – 48.

ПРИБОР ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ КОЖИ НА ОСНОВЕ РЕГИСТРАЦИИ СПЕКТРА АВТОФЛУОРЕСЦЕНЦИИ И СПЕКЛ-КОНТРАСТНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ КОЖИ

Д. И. Кочетов, Г. В. Арышева

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

Усовершенствование существующих методик диагностики и сопровождения кожных новообразований в дерматологии сегодня является перспективным направлением в биомедицинской инженерии. Применение методики спекл-контрастной визуализации лазерных спеклов, полученных отражением от кожи человека, позволяет получить важные количественные и количественные характеристики местного кровообращения на участке кожи, что является очень важным при диагностике новообразований кожи. Дополнение устройства в виде устройства возбуждения автофлуоресценции в УФ-области со спектральным анализатором позволит увеличить количество диагностических данных. Спектры автофлуоресценции позволяют идентифицировать тканевую принадлежность опухоли, а также отличать опухоль от здоровых тканей. Также применение техники модулирования зондирующего светового потока и фильтрация отраженного излучения светофильтрами и цифровыми фильтрами позволяет проводить диагностику в условиях внешней засветки без применения затенения, что планируется реализовать в устройстве.

Способностью к аутофлюоресценции обладают в основном следующие виды биологических молекул:

1. Молекулы НАД*Н, НАДФ*Н (аутофлюоресценция в диапазоне …500 нм) и флавиносодержащие молекулы (аутофлюоресценция в диапазоне

2. Эндогенные порфирины (аутофлюоресценция в диапазоне 600…750 нм). Эндогенные порфирины в основном входят в состав цитохромов клеточных митохондрий.

Клетки злокачественных новообразований содержат эндогенных порфиринов в несколько раз больше по сравнению со здоровыми тканями. Соответственно интенсивность аутофлюоресценции в диапазоне 600…750 нм значительно возрастает [1].

Также в устройстве предусмотрен режим локальной флуоресцентной спектроскопии и флуоресцентной визуализации. Для флуоресцентной визуализации

используется светодиод 660…680 нм, плотность мощности излучения 40 мВт/см^2. Для оценки накопления экзогенного флуорофора применяется локальная флуоресцентная спектроскопия. Накопление флуорофора пропорционально количеству опухолевых клеток. Флуоресцентная визуализация позволяет оценить распределение флуорофора в пространстве [2]. В качестве источника УФ излучения используется лазерный модуль SLD3235VF мощностью 10 мВт и длиной волны 405 нм. В качестве регистратора используется ПЗС-линейка ILX554A. В качестве источника красного излучения используется модуль КМОП-камера на контроллере OV7670. Для создания излучения с длинной волны, близкой к длине волны гелий-неонового лазера, чье излучение сильно рассеивается эритроцитами, используется лазерный диод с длиной волны

Для регулировки глубины исследования во всех режимах используется поляризованное излучение. Свет, отраженный от поверхности кожи или излученный при флуоресценции с ее поверхностных слоев, имеет плоскость поляризации, совпадающую с плоскостью поляризации падающего излучения, а излучение, рассеянное во внутренних слоях или излученное при флуоресценции в ее внутренних слоев, имеет радиальную поляризацию. Путем регулировки плоскостей поляризации поляризатора и анализатора можно регулировать глубину исследования.

Фактически лазерные спеклы являются случайной интерференционной картиной, возникающей вследствие взаимодействия когерентного света с рассеивающей поверхностью и/или с мутной негомогенной средой. В условиях экспериментального наблюдения изображение, формирующееся на каждом пикселе фотодетектора (ПЗС или КМОП камера), является суперпозицией множества амплитудных функций рассеяния, каждая из которых возникает от различных точек рассеяния наблюдаемой среды. Таким образом, функции рассеяния имеют различные фазы, что и приводит к возникновению случайной интерференционной картины, получившей название спеклы или спекл-структуры. Изменения локальной динамики в наблюдаемом объекте (движение рассеивающих частиц) приводит к флуктуациям спекл-структуры. Детектирование подобной спекл-структуры при помощи камеры с конечным временем экспозиции приводит к размытию получаемого спекл-изображения в областях, соответствующих движению рассеивающих частиц. Более того, чем интенсивнее движение в наблюдаемом объекте, тем более размытым будет спекл-изображение, регистрируемое камерой [3]. Обычно контраст спекл-изображения определяется отношением стандартного отклонения к среднему значению интенсивностей записанных для каждого пикселя в анализируемом квадрате пикселей и данный параметр может использоваться в качестве анализируемой характеристики:

где σ(T) и ‹I› – соответственно среднеквадратичное значение пространственных флуктуаций и среднее значение интенсивности регистрируемого спеклмодулированного изображения, T – время усреднения (время экспозиции). При условии, что время корреляции τ меньше времени экспозиции:

$$\tau_c = 2TK^2.$$

Самый простой подход приводит к характерной скорости:

$$\upsilon = \frac{\lambda}{2K\tau_c}.$$

Опытным путем выяснено, что пространственный контраст спекл-изображения лучше всего рассчитывается по изображению 5×5 или 7×7 пикселей:

$$K(T) = \frac{\sigma(T)}{\langle I \rangle} = \frac{\sqrt{\frac{1}{N^2-1}\sum_{i=1}^{N^2}\left(I_i - \frac{1}{N^2}\sum_{j=1}^{N^2} I_j\right)}}{\frac{1}{N^2}\sum_{j=1}^{N^2} I_j},$$

где N – размер области расчета; I_i – яркость точек изображения. При этом точность оценки зависит от разрешения регистратора. В исследованиях применялись промышленные камеры [4].

Библиографический список

1. Флуоресцентная цистоскопия у больных немышечно-инвазивным раком мочевого пузыря / И. Г. Русаков, А. А. Теплов, Р. В. Ульянов и др. // Biomedical

2. Флуоресцентная диагностика злокачественных новообразований кожи с фотосенсибилизаторами хлоринового ряда / Е. В. Ярославцева-Исаева, М. А. Каплан, В. Н. Капинус и др. // Biomedical Photonics. – 2018. – № 1. – С. 13 – 20.

3. Визуализация кровотока методом лазерных спекл-контрастных измерений в условиях неэргодичности / А. Ю. Сдобнов, В. В. Кальченко, А. В. Быков и др. // Оптика и спектроскопия. – СПб. : ФТИ им. А. Ф. Иоффе, 2020. – С. 773 – 782.

4. Тимошина, П. А. Мониторинг микроциркуляции крови методом спеклконтрастной визуализации в исследованиях модельных патологий на животных : специальность 03.01.02 «Биофизика» : дис. … канд. физ.-мат. наук / П. А. Тимошина ; Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского. – Саратов, 2016. – 102 с.

ОБОБЩЕННЫЙ АЛГОРИТМ РАБОТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОПРОСНИКА ДЛЯ УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ БЕРЕМЕННОЙ ЖЕНЩИНЫ

К. А. Крамарь, Е. А. Семенова

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Россия
(e-mail: k.kpamap@gmail.com, easemenova@etu.com)

Одной из актуальных задач современной медицины является внедрение систем удаленного мониторинга состояния здоровья пациентов [1, 2]. Такие системы дают возможность круглосуточно отслеживать показатели жизненно важных функций, что позволяет врачу оперативно принимать решение о необходимости оказания срочной медицинской помощи.

Беременные женщины являются одной из групп людей, которым необходим непрерывный медицинский контроль. Поэтому актуальным является создание автоматизированного опросника, который позволил бы проводить удаленную оценку состояния здоровья беременной женщины на основании результатов инструментальных и лабораторных исследований, а также ее субъективной оценки общего физиологического состояния.

На рисунке 1 представлен обобщенный алгоритм работы автоматизированного опросника для оценки текущего состояния беременной женщины.

Автоматизированный опросник включает в себя четыре блока вопросов. Первый блок – блок регистрации – состоит из вопросов о личных данных, о предыдущих беременностях, о перенесенных заболеваниях и наследственности, о вредных привычках.

Ответы на данные вопросы являются статичными (не изменяются с течением времени), поэтому их необходимо ввести единожды при первом входе в систему. Благодаря этим сведениям у лечащего врача будет более полная информация об особенностях состояния здоровья беременной женщины, что может помочь быстрее поставить диагноз при обнаружении отклонений в показателях и корректно назначать лечение.

Второй блок – блок ввода результатов аналитических исследований. В данном блоке содержатся вопросы о клинико-лабораторных показателях и результатах физиологического обследования. Информацию о данных показателях беременная женщина получает после сдачи анализов при постановке на учет по беременности в женскую консультацию.

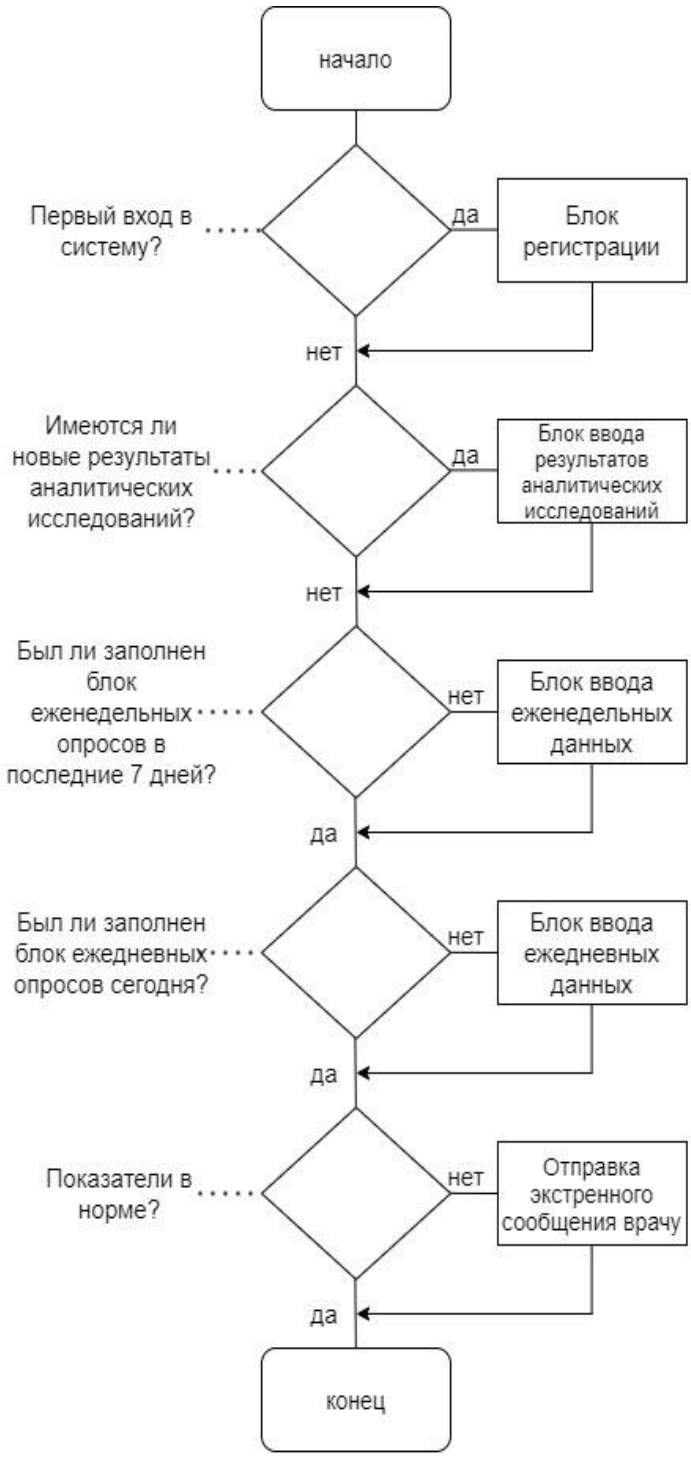


Рис. 1. Обобщенный алгоритм работы автоматизированного опросника для оценки текущего состояния беременной женщины

Большинство из аналитических показателей также вводится единожды при регистрации в системе. Однако, некоторые исследования необходимо проводить несколько раз за весь срок беременности. По мере прохождения исследований женщина дополняет (обновляет) информацию о контролируемых показателях.

В третий блок – блок еженедельных опросов – включены вопросы об общем состоянии здоровья беременной женщины, на которые ей необходимо

отвечать один раз в семь дней. В выбранный на этапе регистрации день недели женщина получает уведомление с напоминанием о необходимости прохождения еженедельного опроса. Это позволяет в динамике контролировать некоторые важные показатели, изменения в которых могут не быть заметны ежедневно.

Четвертый блок – блок ежедневных опросов – включает в себя вопросы о показателях состояния здоровья беременной женщины, которые необходимо отслеживать ежедневно. Данные показатели первыми сигнализируют о наличии патологичных состояний, благодаря чему их ежедневный контроль может предотвратить возникновение критических состояний. При обнаружении системой отклонений в наблюдаемых показателях, формируется отчет о состоянии пациентки, который автоматически отправляется лечащему врачу. Лечащий врач, получив уведомление на свой персональный компьютер (или смартфон), может ознакомиться с ответами, введенными беременной женщиной, и оперативно принять решение о необходимости ее госпитализации или консультации по телефону.

В системе предусмотрено автоматическое определение этапа, с которого беременной женщине необходимо начинать опрос. Если это первый вход в систему, то женщине необходимо пройти все четыре блока вопросов. При последующих входах система автоматически определяет заполнен ли блок еженедельных вопросов. Если данный блок заполнен, женщине предлагается пройти ежедневный опрос, если же не заполнен – выводится требование о необходимости прохождения еженедельного опроса. Также раз в месяц выводится напоминание о необходимости обновления информации в блоке ввода лабораторных данных.

Используя предложенный алгоритм работы автоматизированного опросника, возможно осуществлять непрерывную оценку показателей здоровья беременной женщины. Это позволит сократить количество посещений медицинских учреждений, но при этом даст возможность беременной женщине поддерживать постоянный контакт со своим лечащим врачом, что поможет свести к минимуму возникновение критических состояний.

Библиографический список

1. Юлдашев, З. М. Система удаленного интеллектуального мониторинга состояния здоровья людей / З. М. Юлдашев, А. А. Анисимов // Медицинская техника. – 2017. – № 1. – С. 45 – 48.

2. Малых, В. Л. Системы поддержки принятия решений в медицине / В. Л. Малых // Программные системы: теория и приложения. – 2019. – Т. 10, Вып. 2. – С. 155 – 184.

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ КОМПЬЮТЕРНОГО ТОМОГРАФА В СРЕДЕ UML

А. Ю. Кузьмина

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: bmt@nnn.tstu.ru)

Компьютерная томография – медицинское рентгенологическое исследование, позволяющее получить рентгеновское изображение внутренних органов. Рентгеновские лучи проходят сквозь тело человека, а компьютерная система формирует изображение как поперечных слоев (срезов), так и продольных.

Цифровая рентгенография – метод диагностики, который позволяет проецировать изображение органов и тканей при помощи рентгеновских лучей. Полученное изображение обрабатывается цифровым способом. Данный способ исследования позволяет получать более четкие снимки по сравнению с классическим рентгеном.

Цифровая рентгенография относится к методам, где рентгеновское изображение преобразуется в цифровой сигнал. Принцип формирования цифрового изображения на всех приборах одинаков. Если на каждой единице площади аналогового изображения рассчитать среднюю плотность почернения и поставить соответственно этой плотности числовые значения, то мы получим изображение в виде цифровой матрицы. Матрица видимого изображения складывается из пикселей. Каждый пиксель имеет в матрице свои пространственные координаты, которые соответствуют расположенному в теле пациента элементарному объему.

Качество рентгеновского снимка, с технической точки зрения, характеризуется оптической плотностью почернения, резкостью и контрастностью. Кроме того, рентгеновский снимок должен быть правильно выполнен. Правильно выполненным считается тот снимок, который при высоких технических качествах отображает подлинное состояние исследуемого объекта.

В связи с востребованностью метода, а также задачи устранения артефактов, становится актуальным создание информационной модели, содержащей общие требования к компьютерным томографам, требования к ПО, полный список технических характеристик, требования к безопасности, описание работы и конструкции томографов. Основным языком программирования данной модели будет служить UML – унифицированный язык моделирования – язык графического описания для объектного моделирования в области разработки программного обеспечения, для моделирования бизнес-процессов, системного проектирования и отображения организационных структур.

В ходе разработки информационной модели было рассмотрено 20 технических заданий на закупку, произведен патентный поиск и литературный обзор [1 – 6], на основании которых была разработана информационная модель ИМТ, представленная на рис. 1.

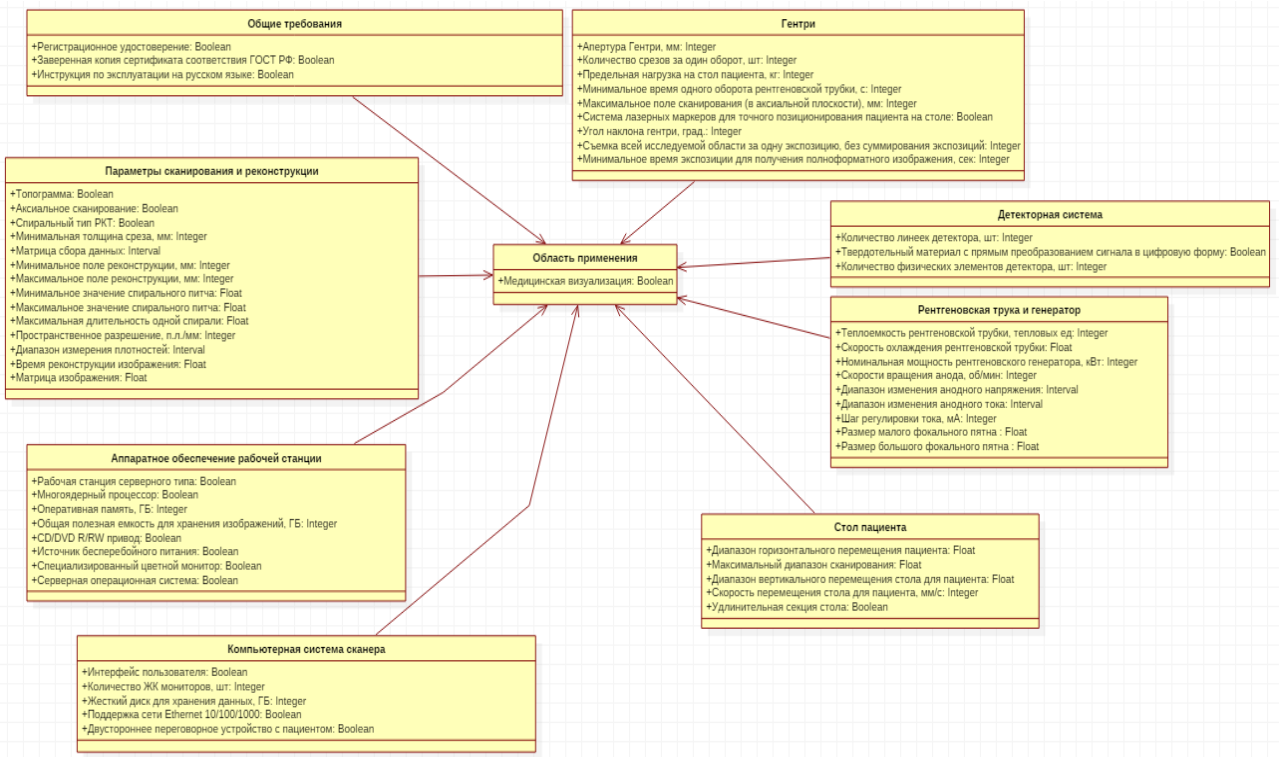


Рис. 1. Информационная модель аппарата компьютерной томографии на языке UML

Таким образом, показано, что основной задачей, определяющей эффективность работы контрактных служб, является составление технического задания с помощью информационной модели, которая представляет собой иерархическую связанную систему классов, что помогает выбрать определенный аппарат, отвечающий всем заявленным требованиям.

Библиографический список

1. Фролова, Т. А. Information models of a medical device for its evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.

2. Современные тенденции развития рынка медицинских информационных систем / С. В. Фролов, С. Н. Маковеев, С. В. Семенова, С. Г. Фареа // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2010. – Т. 16, № 2. – С. 266 – 272.

3. Фролова, Т. А. Информационные модели для оценки медицинского устройства / Т. А. Фролова, М. С. Фролова // Виртуальное моделирование,

прототипирование и промышленный дизайн : материалы IV Междунар. науч-практ. конф. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – Вып. 4, Т. 3. – С. 123 – 128.

4. Фролова, М. С. Информационная модель медицинской техники на основе объектно-ориентированного подхода / М. С. Фролова, Т. А. Фролова, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2015. – № 4(58). – С. 139 – 145.

5. Фролов, С. В. Объектно-ориентированная декомпозиция информационной модели изделий медицинской техники / С. В. Фролов, М. С. Фролова // Ползуновский альманах. – 2016. – № 2. – С. 112 – 117.

6. Фролов, С. В. Рациональный выбор медицинской техники для лечебно-профилактического учреждения на основе системы поддержки принятия решений / С. В. Фролов, М. С. Фролова, А. Ю. Потлов // Врач и информационные технологии. – 2014. – № 3. – С. 35 – 45.

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ АППАРАТНОЙ КОСМЕТОЛОГИИ. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛАЗЕРОВ

В. О. Лычагина

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: lychagina1609@rambler.ru)

Каждый современный человек хочет как можно дольше оставаться молодым и красивым. Сегодня аппаратные методы лечения и восстановления очень популярны, это направление медико-биологической практики развивается очень бурно.

Аппаратная косметология – это омолаживающие и лечебные процедуры, которые осуществляются квалифицированными врачами-косметологами при помощи специальной аппаратуры. Эта область косметологии развивается очень динамично – ежегодно появляются новые технологии и аппараты, еще более безопасные и эффективные.

Востребованность и популярность аппаратного метода обусловлена тем, что преображение происходит без изнурительных тренировок, строгих диет, а главное, без использования скальпеля. При этом вариантов и методик аппаратного неинвазивного воздействия на проблемные зоны довольно много.

Аппаратная косметология начала активно развиваться примерно 40 лет назад. Хотя в России она обрела популярность, в начале 2000-х, сегодня даже в небольших салонах красоты может предлагаться несколько простейших аппаратных процедур.

Каждый кабинет аппаратной косметологии должен быть оснащен в соответствии с приказом Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации от 18 апреля 2012 г. N 381н Приказ Минздравсоцразвития России от 18.04.2012 N 381н.docx

По стандарту одним из необходимых аппаратов является лазерный терапевтический аппарат.

Пример использования такого аппарата можно увидеть в Тамбовском Центре эстетической и аппаратной косметологии «Дива» [1, 2]. С помощью этого аппарата в «Диве» проводится ряд таких процедур, как шлифовка рубцов, коррекция растяжек (стрий), удаление папиллом лазером, удаление доброкачественных образований, коррекция рубцов постакне, фракционное лазерное омоложение, лазерное лечение «куперoза», лазерное лечение «сосудистых звездочек». Помимо этих процедур, терапевтические лазерные аппараты используются для удаления волос, борьбы с мимическими морщинами, выведения татуировок и веснушек, устранения дефектов кожи после ветряной оспы и карбонового пилинга.

Производители различных фирм предлагают широкий выбор лазерных терапевтических аппаратов. Проанализировав рынок предложений, представлены наиболее удобные и надежные аппараты. Результат анализа современных лазерных терапевтических аппаратов представлен в табл. 1.

1. Сравнительная характеристика лазерных терапевтических аппаратов

Название, фирма, страна	M22 - многомодульная платформа IPL/фракционный лазер /Nd:YAG/Q-Switch, Lumenis, Израиль	Fraxel re:store DUAL - неаблятивный фракционный лазер 1550/1927 нм, Solta Medical, США	Spectra Lutronic, Lutronic, Южная Корея	Косметологический аппарат CO2 фракционный лазер (10600nm) YILIYA-10600A, HONKON, Китай
Внешний вид аппарата	https://www.premium-a.ru/apparatnaya_kosmetologiya/m22/#universalnyy-ipl-modul	https://www.premium-a.ru/apparatnaya_kosmetologiya/fraxel/	http://bella-systech.ru/spectra/	https://www.kosmetologicheskoe-oborydovanie.ru/apparaty/lazer/co2-frakcionnyj-lazer-10600nm-yiliya-10600a/
Цена, руб.	3 500 000	3 200 000	4 000 000	685 000

Современные лазерные терапевтические аппараты включают в себя огромное количество функций. Каждый аппарат уникален и имеет свои достоинства и недостатки.

M22™ – это многомодульная платформа, которая объединяет в себе возможности четырех аппаратов. Платформа включает в себя: универсальный IPL-модуль, главное преимущество которого: рекордно высокий поток энергии для оптимальных результатов; модуль ResurFX™, который имеет более 600 вариантов сканирования и высокую скорость при проведении процедур; модуль Multi-Spot™ Nd:YAG, который отличается мультиимпульсным воздействием и высоким флюенсом для безопасного удаления глубоких сосудов диаметром до 4 мм; Q-Switched Nd:YAG-модуль имеет однородный профиль луча для равномерного воздействия на глубоко залегающий пигмент. M22 предлагает весь спектр IPL-процедур, фракционный фототермолиз, удаление сосудов, пигментаций и татуировок.

Главным преимуществом американского аппарата Fraxel является то, что это единственный неаблятивный фракционный лазер с двумя длинами волн (1550 нм + 1927 нм) для глубокого и поверхностного воздействия. Преимуществами аппарата также являются: прямая настройка глубины воздействия и агрессивности процедур, рекордная скорость и непревзойденное удобство процедур. На аппарате Fraxel врачи-косметологи проводят неинвазивные лазерные процедуры – эффективное и безопасное омоложение, лечение рубцов, стрий и пигментации кожи.

Достоинство неодимового лазера Spectra – это его способность работать на 4 длинах волн – 1064, 532,585 и 650 нм и в других различных режимах – модуляции дробности (Q-switch) и Spectra, обеспечивая большую гибкость при проведении различных видов процедур. Обладая стабильностью импульса и высокой пиковой мощностью, неодимовый лазер Spectra применяется в косметологических процедурах, таких как омоложение кожи, карбоновый пилинг, удаление мелазмы, мелких морщин, лечение акне и сужение пор.

Косметологический аппарат CO2 фракционный лазер (10600nm) YILIYA-10600A дешевле трех предыдущих, в связи с этим, круг его возможностей немного меньше. При этом аппарат очень прост в использовании и имеет три режима излучения: фракционный, непрерывный и пульсирующий. Специалист при работе данного устройства имеет возможность регулировать энергетический параметр импульса. И что самое приятное в использовании данного устройства – это результат. Каждый клиент видит моментальный положительный эффект уже после первого применения.

В настоящее время особенным спросом пользуются высокотехнологичные процедуры, а значит, наличие лазерного аппарата- это один из критериев достижения центром или салоном высокого статуса.

Косметологический аппаратный рынок отличается значительным разнообразием оборудования различной сложности, комплектации и ценового диапазона. С каждым годом на рынке появляются инновационные, более качественные, удобные и эффективные аппараты. Выбор изделия медицинской техники (ИМТ) [3 – 6], в том числе медицинского лазера – сложная задача, при решении которой надо обращаться к потребностям здравоохранения. Недостаточно обдуманный выбор ИМТ ведет к неверному использованию или к простою ИМТ, а как следствие – к пустой трате финансовых средств.

Библиографический список

1. Преимущества и недостатки аппаратной косметологии [Электронный ресурс]. – URL : https://kosmetologia.com.ua/novosti/perevagi-i-nedoliki-aparatnoji-kosmetologiji (дата обращения: 11.04.2021).

2. Центр аппаратной и эстетической косметологии «Дива» [Электронный ресурс]. – URL : http://diva68.ru/#akosmet (дата обращения: 11.04.2021).

3. Фролова, Т. А. Информационные модели для оценки медицинского устройства / Т. А. Фролова, М. С. Фролова // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы IV Междунар. науч-практ. конф. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – Вып. 4, Т. 3. – С. 123 – 128.

4. Фролова, М. С. Информационная модель медицинской техники на основе объектно-ориентированного подхода / М. С. Фролова, Т. А. Фролова, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2015. – № 4(58). – С. 139 – 145.

5. Фролов, С. В. Объектно-ориентированная декомпозиция информационной модели изделий медицинской техники / С. В. Фролов, М. С. Фролова // Ползуновский альманах. – 2016. – № 2. – С. 112 – 117.

6. Фролов, С. В. Рациональный выбор медицинской техники для лечебно-профилактического учреждения на основе системы поддержки принятия решений / С. В. Фролов, М. С. Фролова, А. Ю. Потлов // Врач и информационные технологии. – 2014. – № 3. – С. 35 – 45.

КЛАССИФИКАЦИЯ РИСКА ИШЕМИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНИ СЕРДЦА В СЕГМЕНТИРОВАННОМ ПРОСТРАНСТВЕ ФАКТОРОВ РИСКА С УЧЕТОМ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

Д. А. Медников, З. У. Протасова, О. В. Шаталова

Юго-Западный государственный университет, Россия, Курск,
(e-mail: Shatolg@mail.ru).

Современные средства поддержки принятия решений на различных этапах оказания кардиологической помощи реализуют алгоритмический подход обработки и анализа регистрируемых данных, согласно которому все процессы в сердечно-сосудистой системе (ССС) происходят по строгим правилам и для получения диагностических сведений о его состоянии необходимо выполнить ряд последовательных процедур. Такой подход не учитывает вероятностные и хаотические закономерности, свойственные сложным динамическим системам. Поэтому существующие методы требуют совершенствования учета латентных связей между факторами сердечно-сосудистых рисков (ССР). Следовательно, для решения одной из важнейших проблем современного здравоохранения – повышения качества прогнозирования заболеваний сердца – актуально создание методов поиска новых предикторов ССР.

В мультиагентной интеллектуальной системе (МИС) прогнозирования риска ишемической болезни сердца (ИБС) в пространстве факторов риска (ФР) выделены сегменты таким образом, чтобы посредством экспертной оценки можно было оценить влияние ФР-сегментов на риск ИБС [1]. При этом МИС построена так, чтобы решения классификаторов нижнего иерархического уровня использовались в качестве дескрипторов классификатора верхнего иерархического уровня [2]. При этом количество ФР, входящих в сегмент, не имеет значения. «Слабые» классификаторы могут быть построены как по одному ФР, так и по достаточно представительной группе ФР [3].

При выборе пула ФР для прогнозирования риска ИБС исходим из того, что ишемические поражения чаще всего носят системный характер, при котором развитие периферических ишемических осложнений несет за собой ишемию центральной гемодинамической системы. При этом происходит нелинейное взаимовлияние подсистем друг на друга, приводящее к взаимоотягощению ишемических процессов, вплоть до летального исхода [1]. Поэтому важен учет синергетического эффекта ФР. В связи с этим в качестве базовой системы

прогнозирования риска ИБС была взята диагностическая модель, представленная рис. 1. Эта модель учитывает, что ФР ИБС могут быть не только определенные биомедицинские показатели, но и уже имеющиеся заболевания или синдромы. В качестве сопутствующего заболевания, которое может стимулировать синергетический эффект, в данной модели использована вибрационная болезнь (ВБ), а фактором внешней среды, способствующим синергетическому эффекту, в данной модели принято электромагнитное поле (ЭП). Это обусловлено тем, что в ряде исследований показано, что ЭП в диапазоне частот от 0 до 1000 Гц, в частности, источники которых находятся на рабочих местах или в транспортных средствах, приводят к дополнительному ССР [4].

В базовой модели МИС, представленной на рис. 1, на первом иерархическом уровне строятся «слабые» классификаторы, агрегирующие решения по двум группам ФР. В первую группу отнесены ФР, связанные с их профессиональной деятельностью: уровень эргономичности (YE); уровень хронической психоэмоциональной напряженности (YPH); уровень хронического утомления (YUH); наличие заболеваний нервной системы, способствующих появлению и развитию ИБС (UNS); микроклимат на рабочем месте (UEI).

Ко второй группе ФР отнесены показатель степени тяжести развития ишемического процесса STSI, показатель гемодинамики сердца SR, показатели отклонения перекисного окисления липидов (ПОЛ) и антиокислительной активности (АОА) от их номинальных значений, и энергетические характеристики биологически активных точек, связанных с ССС.

Агрегирование по факторам риска в этих группах ФР осуществлялось согласно формуле [5]

$$UR_j(q+1) = UR_j(q) + \mu_u(z_i)\left[1 - UR_j(q)\right], \qquad (1)$$

где $UR_j(q+1)$ – выход слабого классификатора на (q+1)-м шаге агрегации j-й группы факторов риска, $\mu_u(z_i)$ – функция принадлежности к риску ИБС по z_i-му фактору риска.

К двум вышеперечисленным группам факторов риска, добавлен сегмент ФР с традиционными факторами риска ИБС (возраст, курение, артериальная гипертензия, сахарный диабет, избыточная масса тела, психосоциальный стресс, отягощенная наследственность), которые также агрегируются по формуле (1).

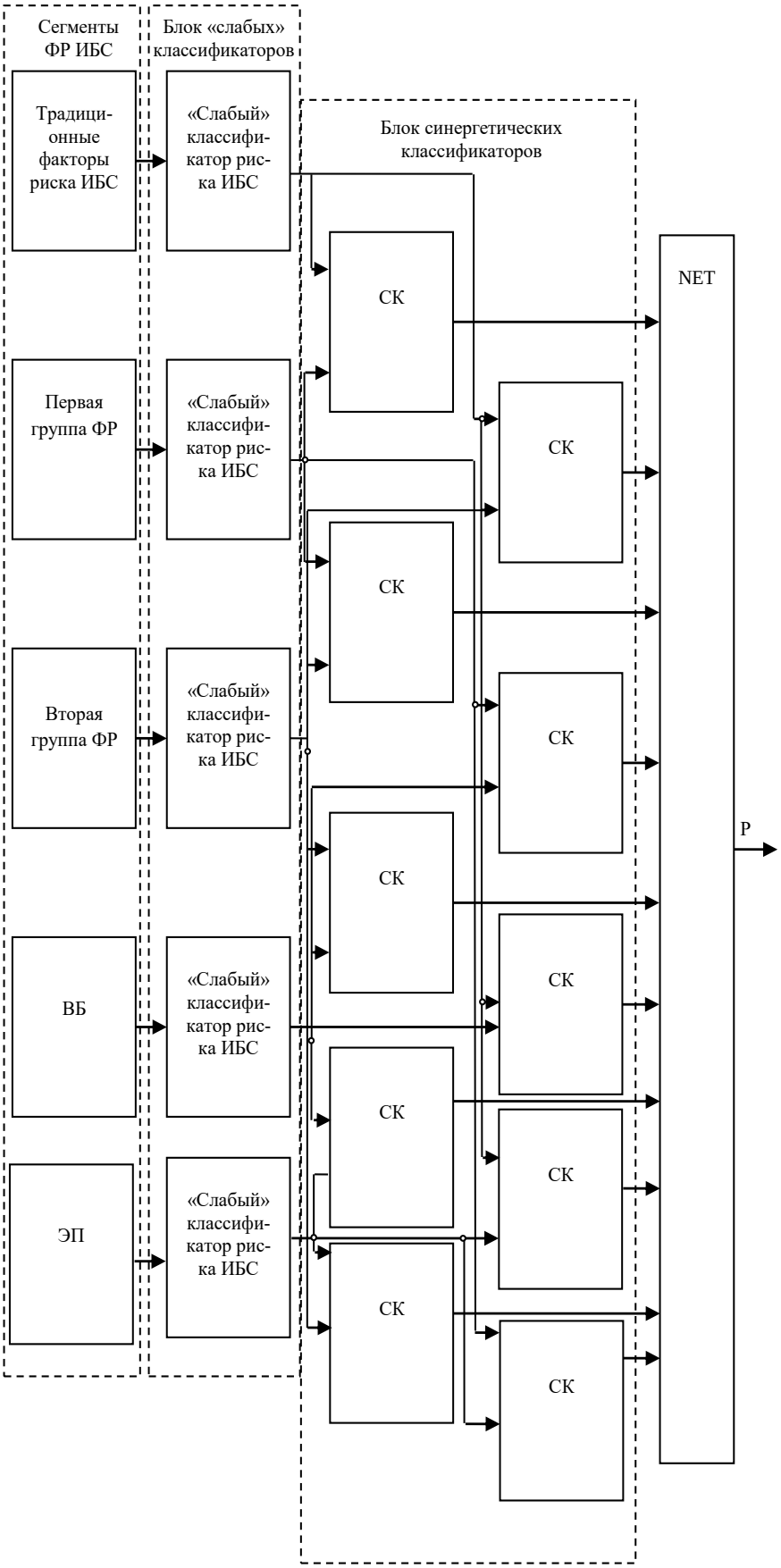


Рис. 1. Структурная схема мультиагентной интеллектуальной системы для прогнозирования риска ишемической болезни сердца

Решения «слабых» классификаторов агрегируются попарно в блоке синергетических классификаторов (СК). Под воздействием внешних факторов (процесса обучения или экспертного оценивания), веса в нейронной сети NET приобретают оптимальные значения, т.е. система самоорганизуется.

В ходе экспериментального оценивания было показано, что при использовании всех ФР показатели качества прогнозирования выше, чем у известной системы прогнозирования SCORE, в среднем, на 14%.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90116.

Acknowledgments: The reported study was funded by RFBR, project number 19-38-90116.

Библиографический список

1. Шаталова, О. В. Мультиагентная интеллектуальная система для прогноза риска сердечно-сосудистых осложнений с синергетическими каналами / О. В. Шаталова, Д. А. Медников, З. У. Протасова // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2020. – Т. 19, № 3. – С. 177 – 188.

2. Филист, С. А. Использование гибридных нейросетевых моделей для многоагентных систем классификации в гетерогенном пространстве информативных признаков / С. А. Филист, А. Г. Курочкин, В. В. Жилин и др. // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. Научно-технический журнал. – 2015. – № 3(31). – С. 85 – 95.

3. Комлев, И. А. Прогнозирование и оценка степени тяжести ишемии сердца на основе гибридных нечетких моделей / И. А. Комлев, О. В. Шаталова, С. В. Дегтярев, А. В. Серебровский // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2019. –Т. 9, № 1(30). – С. 133 – 145.

4. Бурлака, Н. И. Влияние электромагнитного излучения на функциональное состояние организма машинистов / Н. И. Бурлака // Новые задачи современной медицины: материалы III Междунар. науч. конф. – СПб. : Заневская площадь, 2014. – С. 11 – 13.

5. Ефремов, М. А. Гибридные нечеткие модели для прогнозирования возникновения и осложнений артериальной гипертензии с учетом энергетических характеристик биоактивных точек / М. А. Ефремов, С. А. Филист, О. В. Шаталова и др. // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2018. – Т. 8, № 4(29). – С. 104 – 119.

ОПТИМИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЕФИБРИЛЛЯТОРА ДЛЯ ПОМОЩИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ В ВЫБОРЕ ОПТИМАЛЬНОГО АППАРАТА

А. В. Милютин

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия (e-mail: milyutin1998@mail.ru).

Дефибрилляторы являются незаменимым оборудованием в операционных и автомобилях скорой помощи. Электрический ток дефибриллирует сердце и помогает восстановить нормальный синусовый ритм [1 – 5].

Целью работы является разработка информационной модели дефибриллятора на языке UML на основе анализа технических заданий, заявок на изобретения. Данная модель содержит в себе все основные параметры аппарата. Это поможет в выборе оптимальной модели для разных областей применения.

Было рассмотрено 10 технических заданий на закупку дефибрилляторов, и проведен анализ патентов и статей в поисковой системе Scopus по данной теме, на этой основе была разработана информационная модель на языке UML (рис. 1).

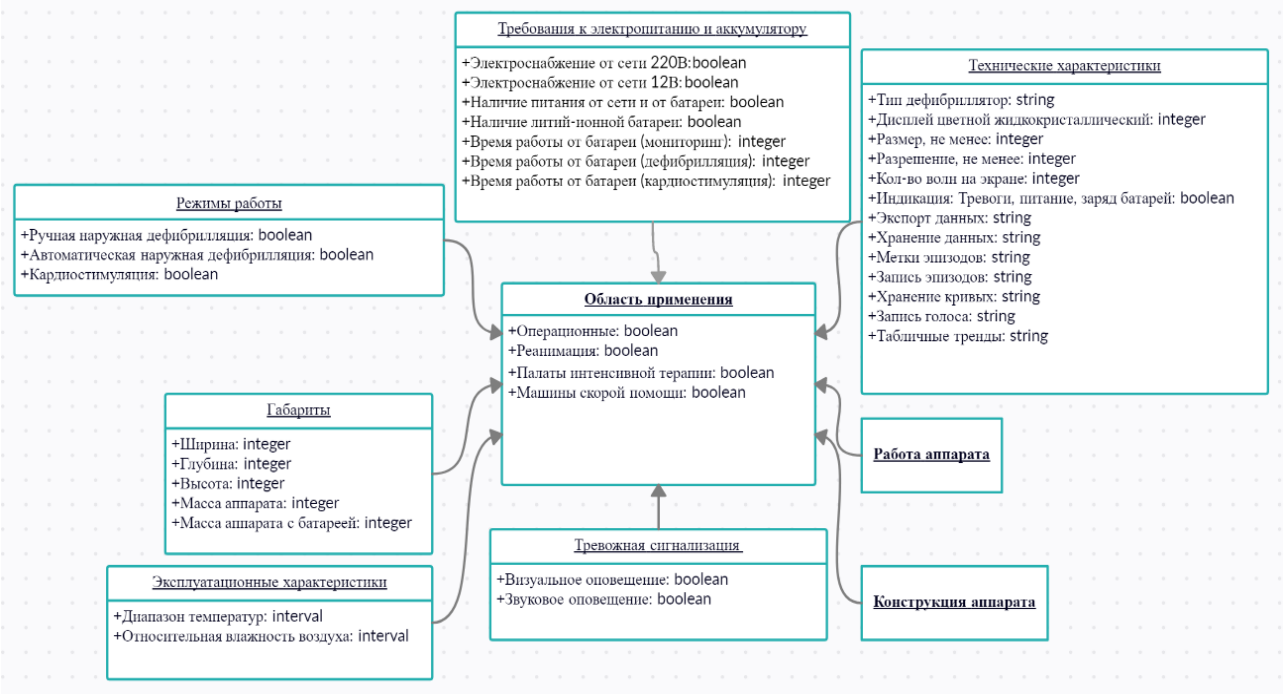


Рис. 1. Пакет классов «Дефибриллятор»

Чтобы структурировать элементы модели существуют типы данных: Boolean, Integer, Float, Interval. Параметры, которые принимают логические значения, целочисленные значения, вещественные значения, интервальные числа.

В классе «Область применения» включаются атрибуты типа Boolean: «операционные», «реанимация», «палаты интенсивной терапии», «машины скорой помощи».

В отношении композиции с классом «Область применения» состоят классы: «Основные характеристики», «Технические характеристики», «Тревожная сигнализация», «Эксплуатационные характеристики», «Требования к электропитанию и аккумулятору», «Габариты» и пакеты классов «Работа аппарата», «Конструкция аппарата».

В классе «Режимы работы» присутствуют атрибуты типа Boolean: ручная наружная дефибрилляция, автоматическая наружная дефибрилляция, кардиостимуляция.

Класс «Технические характеристики» имеет следующий атрибуты типа String: тип дефибриллятора, экспорт данных, хранение данных, метки эпизодов, запись эпизодов, хранение кривых, запись голоса, табличные тренды.

В классе «Требования к электропитанию» присутствуют следующие данные типа Boolean: электроснабжение от сети 220 В, электроснабжение от сети 12 В, наличие питания от сети и от батареи, наличие литий-ионной батареи. И данные типа Integer: время работы от батареи (мониторинг), время работы от батареи (дефибрилляция), время работы от батареи (кардиостимуляция).

Класс «Габариты» имеет атрибуты Integer: ширина, глубина, высота, масса аппарата, масса аппарата с батареей.

В класс «Эксплуатационные характеристики» входят атрибуты типа Interval: диапазон температур, относительная влажность воздуха.

В ходе данной работы была создана информационная модель дефибриллятора на языке UML. Данная информационная модель может помочь при выборе конкретного оптимального аппарата для различных областей применения.

Библиографический список

1. Фролова, Т. А. Information models of a medical device for its evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.

2. Четырехкамерная модель сердечно-сосудистой системы человека / С. В. Фролов, С. В. Синдеев, В. А. Лищук, Д. Ш. Газизова, С. А. Медведева //

Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2012. – № 2(40). – С. 51 – 60.

3. Синдеев, С. В. Моделирование гемодинамики сердечно-сосудистой системы при церебральной аневризме / С. В. Синдеев, С. В. Фролов // Математическое моделирование. – 2016. – № 28(6). – С. 98 – 114.

4. Синдеев, С. В. Многомасштабное моделирование сердечно-сосудистой системы для оценки церебрального кровообращения / С. В. Синдеев, С. В. Фролов // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 12(5). – С. 950 – 954.

5. Фролова, М. С. Оптимальный выбор изделия медицинской техники с использованием информационных систем в здравоохранении / М. С. Фролова, С. В. Фролов // Вестник ТГТУ. – 2013. – Т. 19(3). – С. 553 – 561.

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ БИОИМПЕДАНСА ПРИ МНОГОЧАСТОТНОМ ЗОНДИРОВАНИИ

А. В. Мирошников, Н. С. Стадниченко, О. В. Шаталова

Юго-Западный государственный университет, Россия, Курск,
(e-mail: Shatolg@mail.ru).

Теоретической и экспериментальной базой биоимпедансных исследований является спектроскопия биоимпеданса тела человека, в основе которой лежит различие электропроводности биоматериалов из-за разного содержания в них жидкости и электролитов [1 – 3]. Например, активное сопротивление жировой ткани примерно в 10…15 раз выше, чем у большинства других тканей, составляющих безжировую массу тела. В теоретических исследованиях была описана наблюдаемая в эксперименте зависимость импеданса от частоты зондирующего тока. Эта зависимость отображена на рис. 1. Ее называют графиком Коула [1].

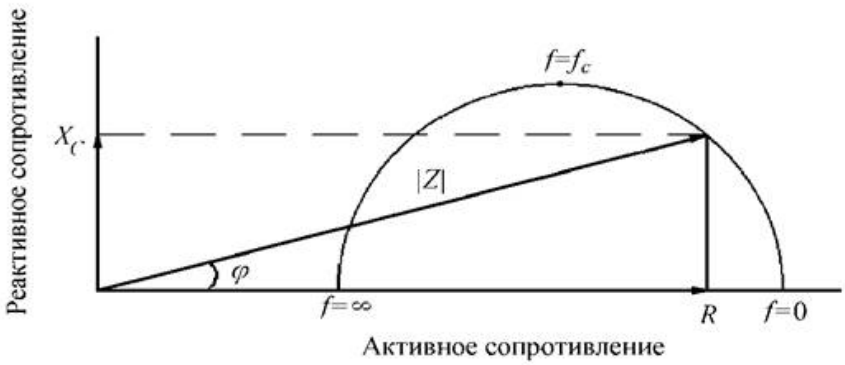


Рис. 1. График Коула

При изменении частоты зондирующего тока изменяется фазовый угол φ и модуль комплексного вектора импеданса $|z|$ (рис. 1). Доказана связь фазового угла импеданса с параметрами функционального состояния организма и трофического статуса. Зависимости активной и реактивной составляющих импеданса от частоты содержат полезную информацию о параметрах состава тела и текущем состоянии организма [4, 5].

При исследовании биоимпеданса *in vivo* разделяют импеданс биоткани и биожидкости. Декомпозиция биоматериала на эти две составляющие позволяет сформировать дескрипторы для классификаторов медицинского риска [5, 6]. При разделении этих двух составляющих биоимпеданса используют емкостные свойства биоматериала, которые исключают влияние на биоимпеданс сопротивления электрод–кожа на высоких частотах. В свою очередь, сопротивление биожидкости, являясь проводником второго рода, шунтирует сопротивление биоткани. Эти процессы отражает эквивалентная схема биоматериала, представленная на рис. 2.

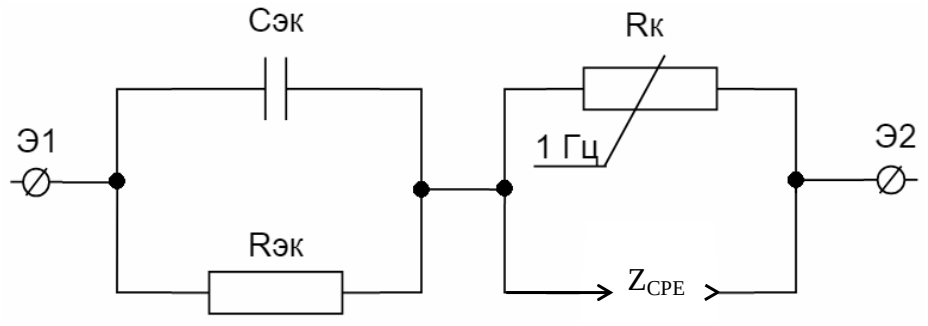


Рис. 2. Эквивалентная схема импеданса биоматериала:
$R_{эк}$ – сопротивление электрод-кожа; $C_{эк}$ – емкость электрод-кожа;
$R_к$ – сопротивление биожидкости; Z_{CPE} – элемент постоянной фазы

За основу эквивалентной схемы биоимпеданса взята модель Войта с двумя последовательно соединенными контурами. Эта модель хорошо описывает электрохимические свойства электролитов, которым свойственна негомогенность, т.е. каждому локальному объему соответствуют свои определенные проводимость и постоянная времени. В данном случае используется модифицированная модель Войта: активное сопротивление во втором контуре модулируется частотой кровенаполнения (приблизительно 1 Гц), а вместо емкости в нем используется элемент постоянной фазы Z_{CPE}, имеющий комплексное сопротивление.

$$Z_{CPE} = A^{-1}(j\omega)^{-n}, \qquad (1)$$

где A – коэффициент пропорциональности; n – экспоненциальный показатель ($0 \le n \le 1$).

Учитывая пульсовую волну, из общего импеданса эквивалентной схемы (рис. 2), может быть выделена базовая составляющая и динамическая составляющая, которая определяет динамику импеданса в результате его модуляции пульсовой волной с частотой, близкой к 1 Гц.

Для формирования дескрипторов кривая Коула может быть замкнута и, следовательно, как и любая периодическая функция, представлена в виде дискретного преобразования Фурье:

$$\dot{Z}\left(\Omega^{(m)}\right)=\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}\dot{z}\left(\omega^{n}\right)\exp\left(-j\frac{2\pi n\Omega^{(m)}}{N}\right), \qquad (2)$$

где n – номер частоты зондирующего биообъект тока (изменяется от 1 до N); $\dot{z}(\omega^{m})$ – комплексное сопротивление биообъекта на частоте зондирующего тока с номером n; $\Omega^{(m)}$ – номер частотной составляющей Фурье-представления кривой Коула [7, 8].

Для получения графической модели предполагается следующий алгоритм:

1. Выбор N гармонических составляющих зондирующего тока для воздействия на биоматериал в эксперименте *in vivo*.
2. В цикле воздействуем на биоматериал током с частотами, установленными в п.1.
3. В теле цикла определяем два отсчета для графика Коула для базовой составляющей биоимпеданса и два отсчета для динамической составляющей.
4. При выходе из цикла определяем спектры Фурье отсчетов двух графиков Коула согласно (2).
5. Полученные действительные и мнимые коэффициенты используются для формирования входных векторов соответствующих нейронных сетей, обученных на соответствующую патологию или МР.

Устройство, позволяющее реализовать вышеописанный алгоритм, состоит из аппаратной части, посредством которой осуществляется зондирование биоматериала T гармониками тока и получение отсчетов биоимпеданса базовой и динамической составляющих биоимпеданса для построения двух графиков Коула (рис. 1), а также из программного обеспечения, содержащего комплекс программ для Фурье-анализа графиков Коула, рекурсивного разложения реосигнала, формирования нейросетевых модулей, средств обучения нейронных сетей и синтеза агрегаторов. Для получения графика динамической составляющей биоимпеданса используем хорошо освещенные в литературе методы реографических исследований [1, 2].

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90063.

Acknowledgments: The reported study was funded by RFBR, project number 20-38-90063.

Библиографический список

1. Кассим, К. Д. А. Интеллектуальные технологии для неинвазивного анализа биоматериалов на основе многочастотной импедансометрии и нейросетевого моделирования: монография / К. Д. А. Кассим, С. А. Филист // Курск : ЮЗГУ, 2012. – 124 с.
2. Попечителев Е. П. Способы и модели идентификации биоматериалов на основе анализа многочастотного импеданса / Е. П. Попечителев, С. А. Филист // Известия Юго-Западного государственного университета Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2011. – № 1. – С.74 – 81.
3. Мохаммед, А. А. А. Моделирование импеданса биоматериалов в среде MATLAB / А. А. А. Мохаммед, С. А. Филист, О. В. Шаталова // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2013. – № 4. – С. 61 – 66.
4. Суржикова, С. Е. Компьютерные системы медицинского прогнозирования на основе биоимпедансных исследований в аномальных зонах электропроводности: монография / С. Е. Суржикова, К. Д. А. Кассим, С. А. Филист, О. В. Шаталова. – Курск : Юго-Западный гос. ун-т, 2018. – 144 с.
5. Шаталова, О. В. Мультиагентная интеллектуальная система для прогноза риска сердечно-сосудистых осложнений с синергетическими каналами / О. В. Шаталова, Д. А. Медников, З. У. Протасова //Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2020. – Т. 19, № 3. – С. 177 – 188.
6. Использование гибридных нейросетевых моделей для многоагентных систем классификации в гетерогенном пространстве информативных признаков / С. А. Филист, А. Г. Курочкин, В. В. Жилин и др. // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. Научно-технический журнал. – 2015. – № 3(31). – С. 85 – 95.
7. Филист, С. А. Биотехническая система для контроля импеданса биоматериалов в экспериментах in vivo / С. А. Филист, А. А. Кузьмин, М. Н. Кузьмина // Биомедицинская радиоэлектроника – 2014. – № 9 – С. 38 – 42.
8. Филист, С. А. Модели биоимпеданса при нелинейной вольтамперной характеристике и обратимом пробое диэлектрической составляющей биоматериала / С. А. Филист, О. В. Шаталова, А. С. Богданов // Бюллетень сибирской медицины. – 2014. – Т. 13, № 4. – С. 129 – 135.

КЛАССИФИКАЦИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ДЫХАНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВЕЙВЛЕТ-СПЕКТРА ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛА

М. Б. Мяснянкин, А. В. Серебровский, С. А. Филист

Юго-Западный государственный университет, Россия, Курск,
(e-mail: SFilist@gmail.com)

Вариабельность ритма системы дыхания (СД) является важным предиктором ее функционального состояния (ФС) и проявляется в области медленных волн, что требует длительного мониторинга сигналов ритма дыхания (РД) для ее надежного анализа [1, 2]. К сожалению, в условиях реанимации, провести длительный мониторинг такого сигнала не представляется возможным. Выходом из этой ситуации является использование в качестве носителей информации о ФС СД хорошо изученных и легко доступных для длительного мониторинга электрокардиосигнала (ЭКС), которые несут информацию о РД благодаря рецепторным связям, осуществляющим гомеостаз артериального давления (АД) [3, 4].

Если моногармонический сигнал $s(t) = S \cdot \cos(\Omega t + \psi)$ модулирует другой моногармонический сигнал $u(t) = U_0 \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi)$, то мгновенное значение для амплитудно-модулированного сигнала *x(t)* выражается как [2]

$$x(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi) + \frac{U_0 M}{2}\{\cos[(\omega_0 + \Omega)t + \varphi + \psi] + \cos[(\omega_0 - \Omega)t + \varphi - \psi]\}, \quad (1)$$

где $M = \Delta U_m / U_0$ – коэффициент модуляции, $\Delta U_m = k_{ам} \cdot S_0$, $k_{ам}$ – коэффициент пропорциональности.

Если несущий сигнал является полигармоническим, то выражение (1) применяется к каждой гармонической составляющей сигнала. Это приводит к расширению спектра в окрестности соответствующей гармоники и спектр приближается к сплошному. Спектр ЭКС состоит из спектральных цугов, центры которых являются кратными основной гармоники ЭКС, т.е., приблизительно 1 Гц [5]. Для исследования медленных волн в дыхательном цуге будем использовать частотно-временные преобразования, наиболее распространенным среди которых является вейвлет-преобразование [6]. Вейвлет-преобразование позволяет определить мгновенное значение цуга, и, следовательно, определить вариабельность его частотного наполнения во времени.

Проиллюстрируем технологию формирования признакового пространства, предназначенного для оценки ФС СД на основе анализа вариабельности РД. Рассмотрим морфологию вейвлет-плоскости ЭКС. На рисунке 1 представлен пример вейвлет-плоскости ЭКС, дискредитированного с частотой 100 Гц в течение 3 мин.

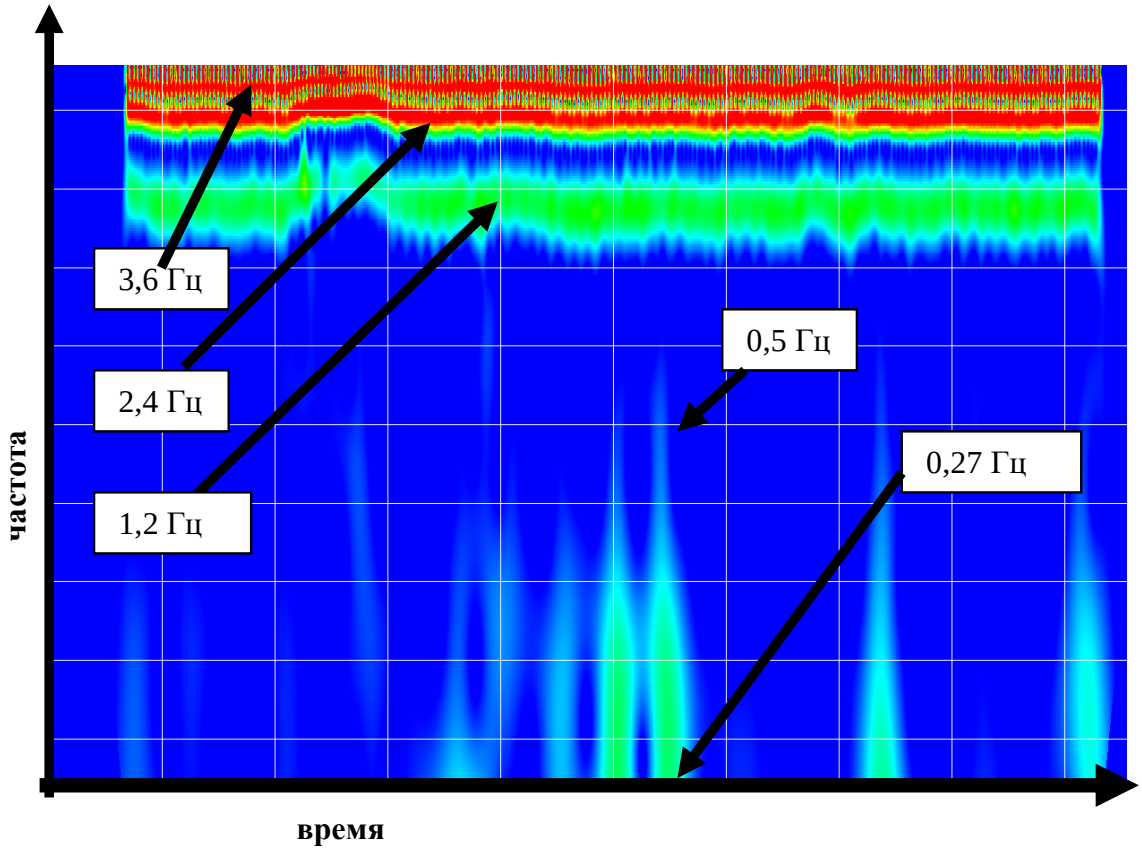


Рис. 1. Морфология вейвлет – плоскость электрокардиосигнала

Изображение содержит 300 строк (вейвлетов), масштаб вейвлетов изменялся с шагом 5. Таким образом, при этих параметрах дискретизации ЭКС и формирования вейвлет-плоскости, имеем нижнюю частоту на вейвлет-плоскости 0,25 Гц и верхнюю частоту 40 Гц. Контрастные полосы на рис. 1 соответствуют гармоникам кардиоцикла: гармоника 1,2 Гц занимает полосу шириной 0,64 Гц; гармоника 2,4 Гц – 0,4 Гц; гармоника 3,6 – 0,6 Гц. Волнам РД соответствуют вертикальные полосы в нижней части вейвлет-плоскости, которые характеризуют вариабельность РД по частоте.

Наряду с энергетической вариабельностью, выделим частотную вариабельность, под которой будем понимать вариабельность полосы частот, занимаемой дыхательным цугом во времени. Для формирования дескрипторов по результатам анализа изображения рис. 1 необходимо выявить изменения в выделенных сегментах, происходящие при патологических процессах, для чего

каждый сегмент вейвлет-плоскости должен быть охарактеризован некоторым вектором, состоящим из минимального числа компонент. В данном случае две информативные зоны (волны первого и второго порядка) удалось выделить при одних и тех же параметрах синтеза изображения. Спектр Фурье строки вейвлет-плоскости морфологически аналогичен спектру цуга РД, и морфологически и топологически (в смысле частотной дислокации) аналогичен спектру РД, полученному посредством спектрального анализа пневмограммы [1].

Таким образом, метод формирования дескрипторов для индивидуума (неизвестного образца), предназначенных для классификаторов ФС СД посредством спектрального анализа мониторингового ЭКС, включает следующие этапы обработки мониторингового ЭКС:

1) определяется спектр Фурье ЭКС с выделением цуга РД;

2) определяется полоса частот, занимая цугом РД;

3) строится вейвлет-плоскость ЭКС с параметрами, позволяющими наблюдать на ней строки с цугами РД;

4) определяются спектры Фурье строк вейвлет-плоскости, которые соответствуют полосе частот РД;

5) определяются показатели вариабельности в спектрах строк вейвлет-плоскости (показатели вариабельности по времени), соответствующих цугам РД;

6) определяются показатели вариабельности в строках вейвлет-плоскости по частоте.

Представленный метод позволяет получить две группы дескрипторов, определяющих вариабельность РД. Этим двум группам дескрипторов соответствуют две группы классификаторов, решения которых объединяются посредством агрегатора [7]. В качестве дескрипторов «слабых» классификаторов использовались дескрипторы, построенные на анализе вариабельности РД, показатели которой могут быть получены путем анализа сигнала пневмограммы и показателей газообмена легких.

В результате проведенных исследований показано, что информация о вариации РД может быть получена путем анализа мониторингового сигнала ЭКС, апертура наблюдения которого соответствует длинам волн VLF диапазона. Для определения показателей вариабельности РД использовался сегмент вейвлет-плоскости ЭКС, строки которого принадлежали частотному диапазону, занимаемому РД. Так как частотный диапазон РД является уникальным для каждого индивидуума, то для его определения вычислялся спектр Фурье ЭКС, и анализировался спектральный состав его цуга, принадлежащего РД. По определенному

частотному диапазону цуга вычислялись параметры для построения вейвлет-плоскости ЭКС.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90058.

Acknowledgments: The reported study was funded by RFBR, project number 20-38-90058.

Библиографический список

1. Гришин, О. В. Вариабельность легочного газообмена и дыхательного ритма / О. В. Гришин, В. Г. Гришин, Ю. В. Коваленко // Физиология человека, 2012, – Т. 38, № 2. – С. 87 – 93.

2. Мяснянкин, М. Б Формирование дескрипторов для классификаторов функционального состояния системы дыхания на основе спектрального анализа электрокардиосигнала / М. Б. Мяснянкин, С. А. Филист, А. В. Киселев, А. А. Кузьмин // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2020. – Т. 10. – № 3/4. – С. 8 – 28.

3. Баевский, Р. М. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний / Р. М. Баевский, А. П. Берсенева. – М. : Медицина, 1997. – 265 с.

4. Предикторы синхронности системных ритмов живых систем для классификаторов их функциональных состояний / Т. В. Петрова, С. А. Филист, С. В. Дегтярев, А. В. Киселев, О. В. Шаталова // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2018. – Т. 17, № 3. – С. 693 – 700.

5. Томакова, Р. А. Гибридные технологии выделения медленных волн из квазипериодических сигналов / Р. А. Томакова, М. А. Ефремов, С. А. Филист и др. // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2011. – № 1(34). – С. 66 – 73.

6. Кассим, К. Д. А. Компьютерные технологии обработки и анализа биомедицинских сигналов и данных : учеб. пособие / К. Д. А Кассим, С. А. Филист, А. Ф. Рыбочкин ; Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск, 2016. – 209 с.

7. Филист, С. А. Универсальные сетевые модели для задач классификации биомедицинских данных / С. А. Филист, Р. А. Томакова, З. Д. Яа // Известия Юго-Западного государственного университета. – Курск : Изд-во ЮЗГУ, 2012. – № 4(43). – Ч. 2. – С. 44 – 50.

ВЕРБАЛЬНО-КОМАНДНЫЙ СПОСОБ ПОСТРОЕНИЯ НЕЙРОИНТЕРФЕЙСА

А. А. Наумова, Н. А. Бахтин

Тульский государственный университет, Россия, Тула,
(e-mail: anna.naymova.2016@mail.ru)

Актуальность разработки обусловлена тем, что нейроинтерфейс – «интерфейс мозг – компьютер» (ИМК), предназначенный для регистрации и обработки в реальном времени биоэлектрической активности головного мозга – электроэнцефалограммы (ЭЭГ), с целью выявления каким-либо способом мысленного намерения человека и преобразования его в некую команду для управления внешними устройствами или коммуникации [1 – 3], в настоящее время значительно расширяет сферу применения.

Различают зависимые и независимые ИМК. Первые используют внешнюю стимуляцию для формирования команд. Принцип работы независимых ИМК заключается в том, что детектируемые в качестве команд изменения ритмов ЭЭГ вызываются произвольными усилиями человека-оператора.

Из обзора литературы выявлено, что в практической реализации ИМК главной проблемой является невысокая надежность выявления мысленной команды. Производительность устройств невысока – при коммуникации несколько букв в минуту, а при управлении, например, инвалидной коляской, с такой скоростью реакции можно путешествовать только в пустом спортивном зале.

Цель проекта – разработка инновационного вербально-командного способа построения нейроинтерфейса, позволяющего распознавать по регистрируемой ЭЭГ команду, формируемую мысленно человеком-оператором, за промежуток времени, сопоставимый со временем формирования когнитивной реакции – 0,3 – 0,5 с.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи: проведен эксперимент по регистрации ЭЭГ при когнитивной нагрузке, разработан способ построения нейроинтерфейса, структура и математическая модель системы, программное обеспечение обработки сигнала ЭЭГ, проведено математическое моделирование на реальных и тестовых сигналах.

В качестве гипотезы исследования взято положение акад. П. К. Анохина о тот, что максимум вызванных потенциалов (ВП) соответствует прохождению сигнала через определенную нервную структуру (центр). Поскольку каждый электрод при регистрации ЭЭГ фиксирует результирующий сигнал с некоторого

подъэлектродного поля, можно вычислить положение того центра, где максимум сигнала находится в данный момент времени, например, восстановив кривую распределения потенциала как результат криволинейной интерполяции по четырем точкам.

Объект исследования – биоэлектрическая активность коры головного мозга у испытуемых при вербальной когнитивной нагрузке.

Предмет исследования – математические модели и алгоритмы обработки сигналов ЭЭГ для оценки уровней, связанных с вербально-когнитивной нагрузкой ВП.

Использовались методика регистрации ЭЭГ, теория автоматического управления, математическое моделирование, алгоритмическое программирование, математическая логика.

В результате проделанной работы можно сформулировать следующие выводы.

Проведенный обзор литературы показал, что в разработке нейроинтерфейса основной проблемой является недостаточно надежное выделение мысленной команды. Путями повышения надежности являются применение внешнего стимула и использование параметров вызванной биоэлектрической активности (ВБА).

Предложен способ решения проблемы, сочетающий преимущества этих двух направлений, вербально-командный.

В эксперименте показано, что каждому мысленно произнесенному слову соответствует определенная траектория движения максимума вызванной электрической активности по поверхности коры головного мозга, что позволяет отличить их друг от друга.

Предлагается выбрать для оператора ключевое слово, которое наилучшим образом выделяется на фоне других, а подаваемую команду мысленно произносить вслед за ним. Первое слово будет служить стимулом, после которого запускается механизм выделения команды. Это значительно повысит надежность и повысит быстродействие.

Для выделения вызванной активности предложена структура устройства на основе самонастраивающегося полосового фильтра (при необходимости – системы таких фильтров), показанного на рис. 1. Настройка фильтра осуществляется после измерения периода колебаний в его выходном сигнале.

При необходимости более полного выявления компонентов вызванной активности кроме полосового фильтра может быть использован генератор

синусоидальных колебаний, частота которых настраивается одновременно с полосовым фильтром. Функциональная схема устройства, реализующего новый способ обработки ВБА мозга для построения ИМК, представлена на рис. 2.

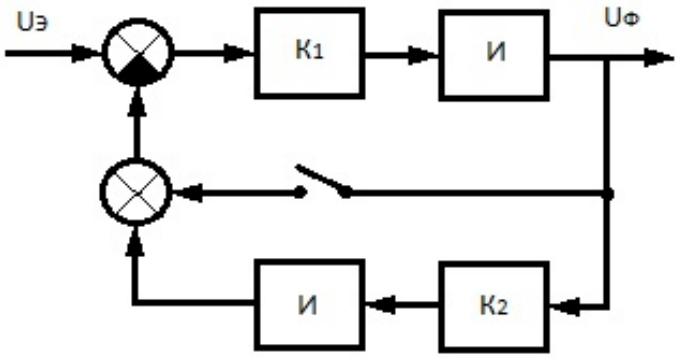


Рис. 1. Блок-схема фильтра:
И – интегратор; К1, К2 – переменные коэффициенты; Uэ – сигнал ЭЭГ;
Uф – выходной сигнал фильтра

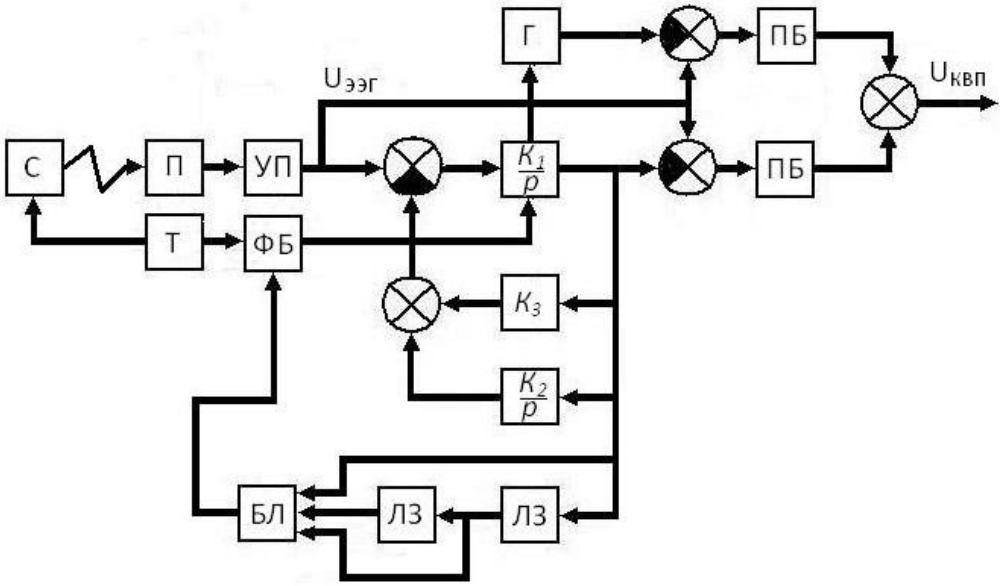


Рис. 2. Блок-схема устройства обработки ВБА:
С – стимулятор (ключевое слово); П – оператор; УП – усилитель-преобразователь сигнала в цифровую форму; Г – регулируемый генератор; ПБ – программный блок;
Т – таймер; ФБ – функциональный блок; БЛ – блок логики;
ЛЗ – линия задержки; UЭЭГ – сигнал ЭЭГ пациента;
UКВП – сигнал вызванной биоэлектрической активности

Работает устройство следующим образом. Со скальпа оператора П при помощи шлема с электродами снимаются биоэлектрические сигналы. Усилитель-преобразователь УП усиливает и преобразует сигналы в цифровую форму для ввода в компьютер. Система интеграторов и усилителей с переменными коэффициентами образует в совокупности ПФ с регулируемой частотой настройки. Настройка осуществляется в фоновом режиме записи ЭЭГ (без подачи стимула). Для настройки используется выходной сигнал ПФ, в котором блок логики БЛ в реальном времени определяет наличие максимумов, минимумов, переходов через нулевой уровень. По фиксируемым интервалам времени между характерными точками сигнала в функциональном блоке рассчитывается частота доминирующего ритма, и по достижению устойчивого результата (по окончании переходного процесса) скачкообразно переключается частота настройки ПФ (изменяется коэффициент k1). Генератор Г формирует синусоидальные колебания, частота которых соответствует частоте настройки ПФ.

Предложенные модели и алгоритмы позволят значительно повысить надежность и быстродействие нейроинтерфейса, что расширит сферу его применения – например, в детекторе лжи или в военном деле для управления системами вооружений.

Библиографический список

1. Rak R. R. J., Kolodziej M., Majkowski A. Brain-computer interface as measurement and control system: the review paper // Metrol. Meas. Syst., 2012, vol. 19, pp. 427 – 444.

2. Wolpaw J., Birbaumer N., McFarland D., Pfurtscheller G., Vaughan T. Brain-computer interfaces for communication and control // Clin. Neurophysiol., 2002, vol. 113, pp. 767 – 791.

3. Владимирский Б. М. Пути создания интерфейса «мозг – компьютер» (BCI) // Нейробиология и новые подходы к искусственному интеллекту и к науке о мозге. Тезисы трудов научной школы для молодежи. – Таганрог : Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. – С. 46 – 57.

СПОСОБ ДИАГНОСТИКИ ВОСПАЛИТЕЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ СУСТАВОВ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ

И. А. Попов, В. М. Строев, Е. Н. Родина, Т. К. Гончарова

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail:popovigor99@mail.ru)

Способ диагностики заболеваний костей и суставов может быть использован в хирургических клиниках.

Тепловизионное устройство производит диагностику воспалительных заболеваний суставов следующим образом: производится сканирование обследуемой области в режиме «Тепловизор» и находятся горячие области $t_о > t_{о\ зад}$, устройство переводится в режим «Цифра», формируется матрица температур в горячих областях. Аналогичные действия производятся с симетричной областью тела. Если температура в обследуемой области больше на 18%, чем температура в симетричной здоровой области, то принимается решение о воспалении. Блок обработки и регистрации фиксирует положение тепломера 2 по сигналу светодиода и с учетом срабатывания компаратора формирует карту здоровых и больных участков.

Использование данного способа позволяет повысить точность определения границ области воспаления.

Обычным бюджетным тепловизором данную операцию не произвести.

Структурная схема реализации способа представлена на рис. 1.

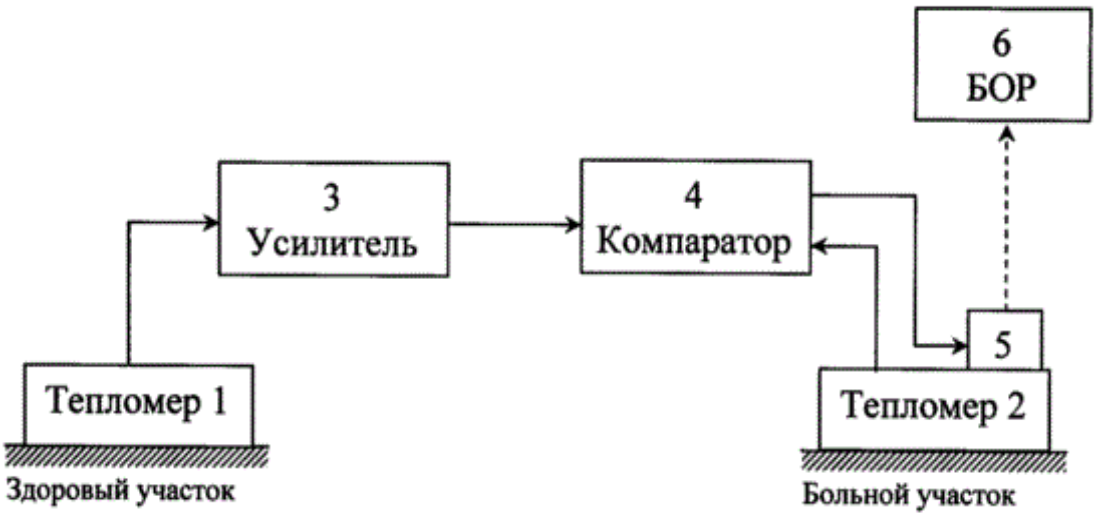


Рис. 1. Структурная схема реализации способа

В качестве тепломеров 1, 2 предлагается использовать тепловизор на основе датчика AMG8833 и плата Arduino Mega 2560.

Модуль AMG8833 Grid-EYE от Panasonic представляет собой практически законченную систему теплового зрения. Он позволяют формировать тепловое изображение окружающих объектов в виде матрицы 8×8 и передавать его в управляющий контроллер. Каждой клетке матрицы ставится в соответствие температура объекта, который попал в зону обзора конкретной чувствительной ячейки.

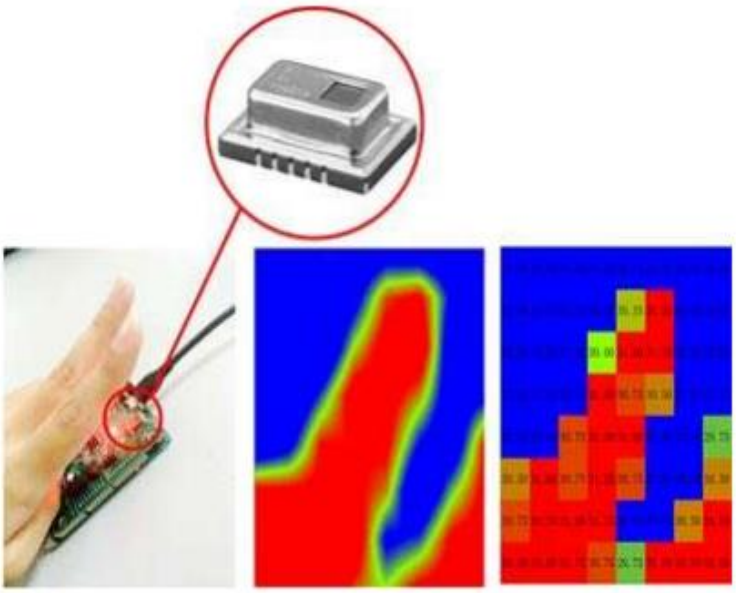


Рис. 2. Принцип тепловидения

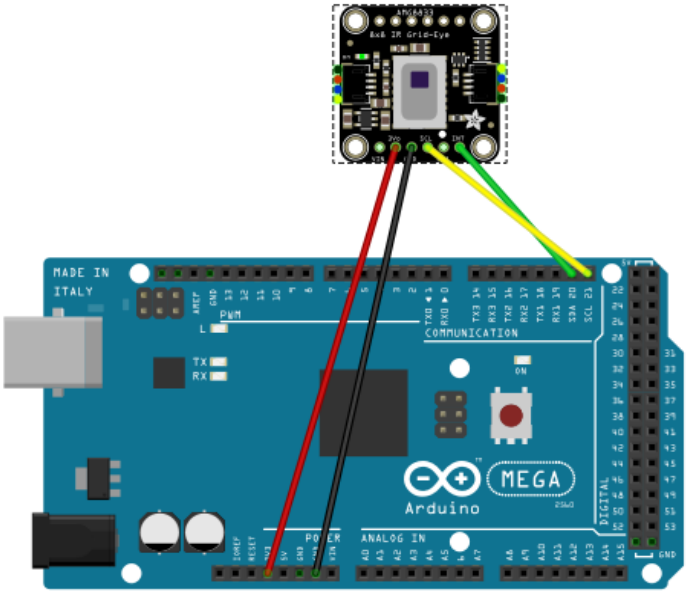


Рис. 3. Схема подключения

Производится предварительная подготовка:

1. Написание программного кода (скетча) для отправки данных с датчика AMG8833 на последовательный COM порт. Для этого необходимо программное обеспечение Arduino.
2. Скетч загружается в плату Arduino.
3. Далее необходимо преобразовать данные с последовательного COM порта в изображение. Для этого используется среда разработки MatLab.

Для начала работы устройства (рис. 4), необходимо нажать на кнопку «RUN».

Теперь можно видеть температуру разных частей тела человека, в том числе и температуру в месте воспаления костей и суставов (рис. 5).

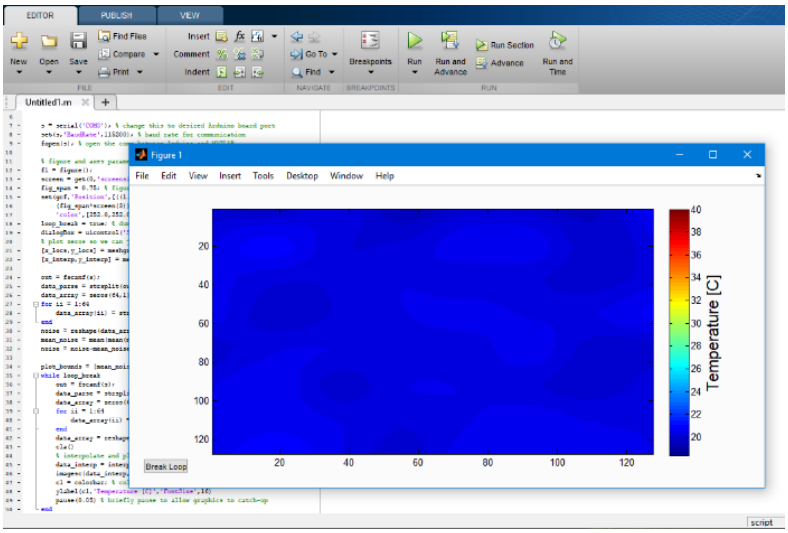


Рис. 4. Изображение с датчика AMG8833

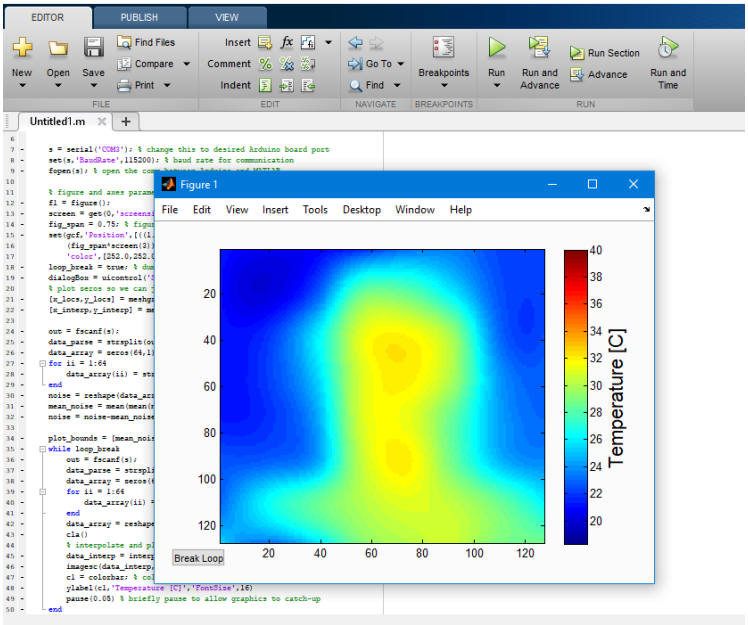


Рис. 5. Изображение коленного сустава

Для дальнейшего анализа состояния суставов тепловая картина малоинформативна, поэтому формируется матрица цифровых значений температуры (рис. 6).

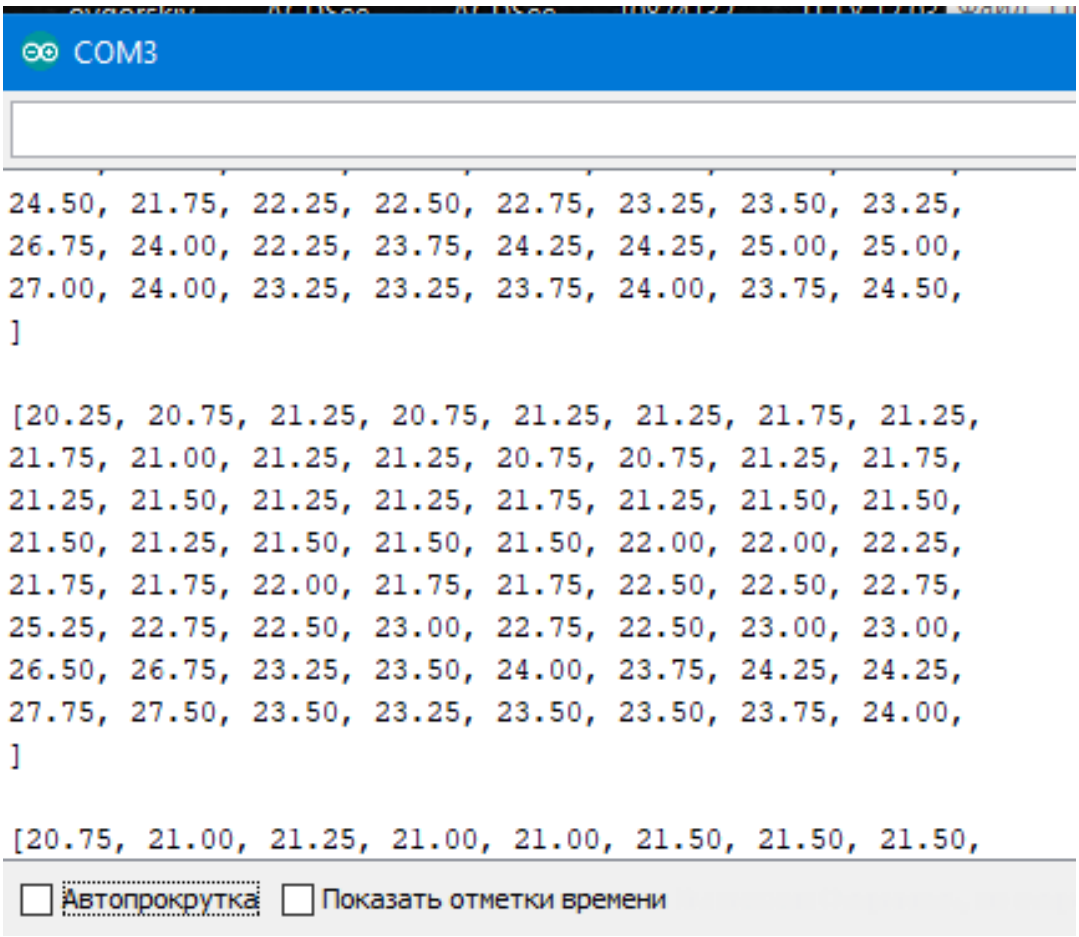


Рис. 6. Матрица цифровых значений температуры

Разработанный способ и устройство реализации позволяют повысить качество медицинского обследования и обнаружения воспалительных процессов.

Библиографический список

1. Строев, В. М. Способ диагностики воспалительных заболеваний костей и суставов / Строев В. М., Фесенко А. И. , патент на изобретение RU 2574141 C1, заявка № 2014130400/14 от 22.07.2014 ; опубликован 10.02.2016, Бюл. № 4.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ ОКАЗАНИИ ПЕРВОЙ ПОМОЩИ РАНЕНОМУ

Е. Н. Родина, Т. К. Гончарова, И. А. Попов

Тамбовский государственный технический университет,
Тамбов, Россия
(e-mail: elizawetanika@yandex.ru)

В последние несколько лет с помощью беспилотных летательных комплексов стала возможной доставка медикаментов и небольших медицинских приборов в отдаленные районы, когда транспортировка достаточно сложна технически или требуется максимальная быстрота. Это позволяет более точно определить состояние человека и на этой основе вовремя оказать ему необходимую первую помощь. В беспилотном летательном комплексе предусматривается пульсовой оксиметр. При измерении сатурации и частоты пульса пульсоксиметром у пострадавшего могут быть судороги, дрожать конечности, тело находиться в неудобном положении, и в связи с этим прибор будет выдавать неточный результат.

С помощью пульсоксиметра Viatom, FS20F для исследования влияния движений конечностей на точность прибора, были сняты показания у человека при разных условиях (в состоянии покоя, при движении пальца и руки, при поднятии руки выше уровня сердца, также в положении сидя, стоя, лежа). Измерения проводили у группы возрастом 22 – 24 года. Пример результатов измерений у одной обследуемой.

В состоянии покоя уровень сатурации равен 96%, пульс 72 уд/мин. После движений пальцем с прибором через 0,05 с уровень сатурации вырос на 1%, пульс остался прежним. Нормализовался уровень SpO2 через 0,04 с. С поднятием руки выше уровня сердца данные сатурации уменьшились на 4% (до 92%). После возвращения руки в исходное состояние уровень сатурации восстановился через 0,12 с. После движений пальцем внутри прибора показания SpO2 уменьшились на 3% через 0,23 с, и нормализовались в состоянии покоя через 0,15 с. Пульс менялся с 69 до 72 уд/мин. Измерения проводились из положения сидя. При поднятии тела уровень сатурации увеличился на 1%, в положении лежа уменьшился на 1%, пульс не менялся. На рисунке 1 показаны графики изменения уровня сатурации и частоты пульса за время измерения.

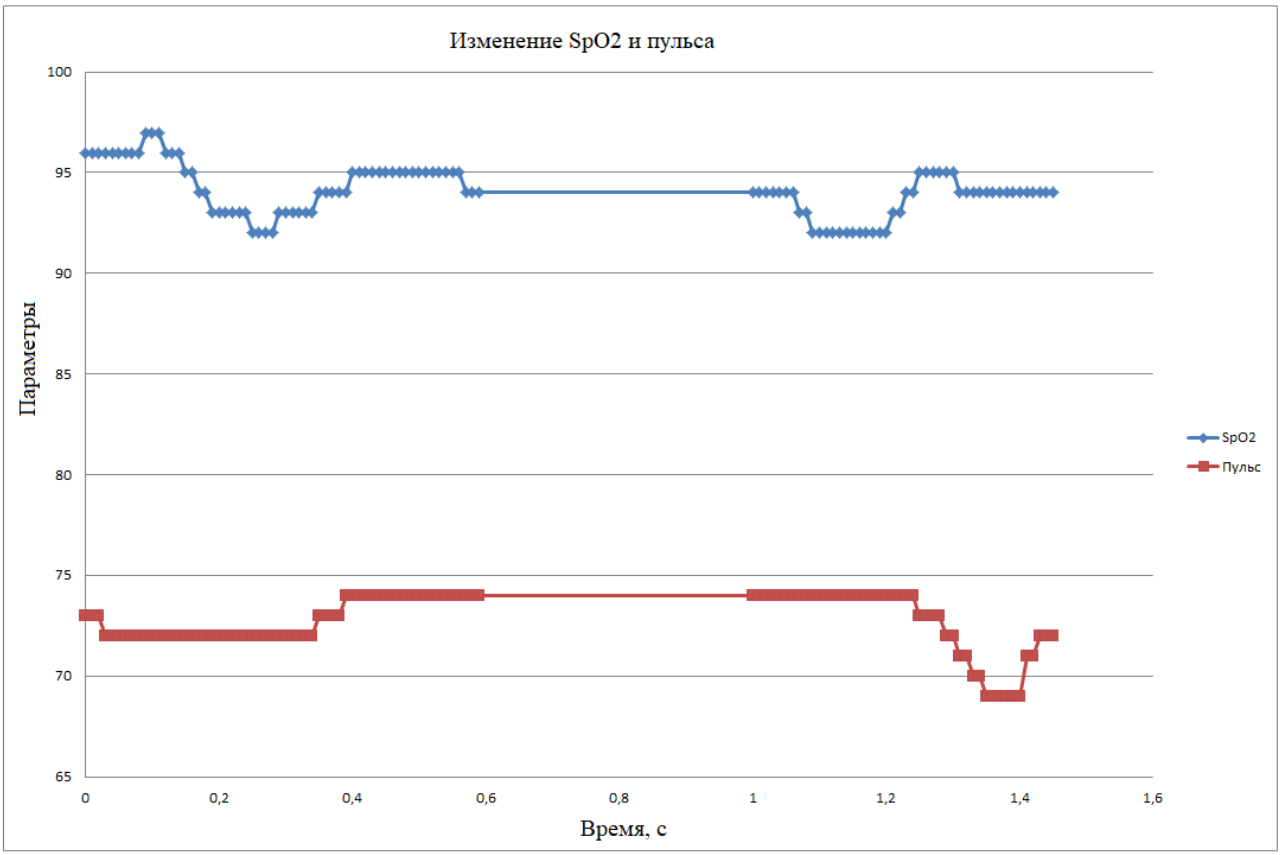


Рис. 1. Графики изменения уровня сатурации и частоты пульса

Также с помощью пульсоксиметра была получена фотоплетизмограмма (ФПГ). Параметры пульсовой волны отражают эластичность и тонус сосудов, артериальное давление и другие физиологические показатели сердечно-сосудистой системы организма.

В состоянии покоя, положении сидя полученная ФПГ выглядит следующим образом (рис. 2).

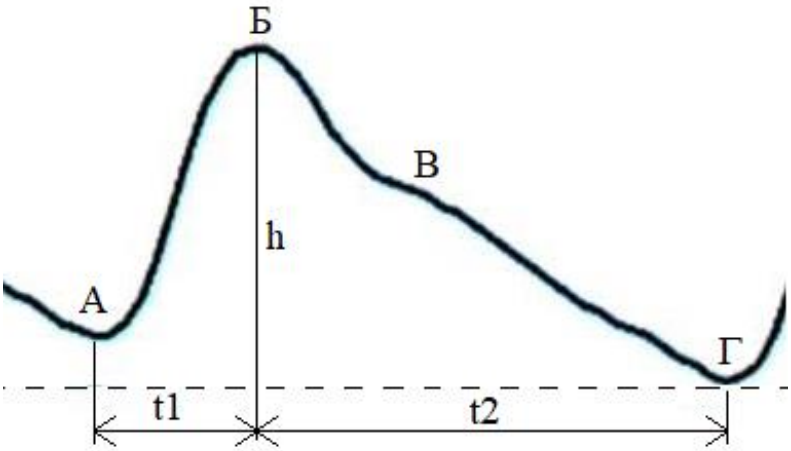


Рис. 2. ФПГ в состоянии покоя из положения сидя

Фотоплетизмограмма при поднятии руки показана на рис. 3. Произошли небольшие изменения, зубец «В» практически исчез.

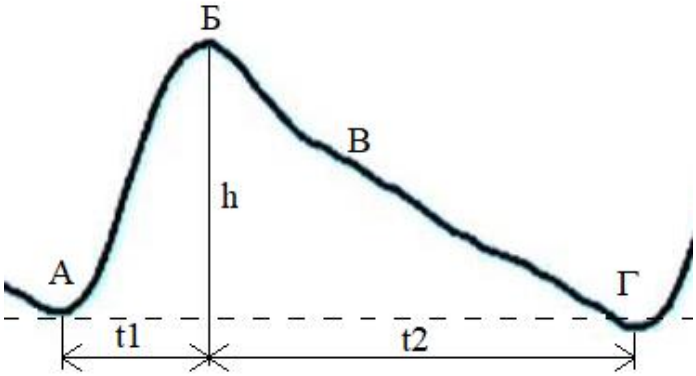


Рис. 3. Фотоплетизмограмма при поднятии руки выше уровня сердца

На рисунке 4 фотоплетизмограммы при движении руки и пальца, в отличие от предыдущей ФПГ, кривые стали совершенно другими, полностью поменяли форму и по ним сложно что-либо определить.

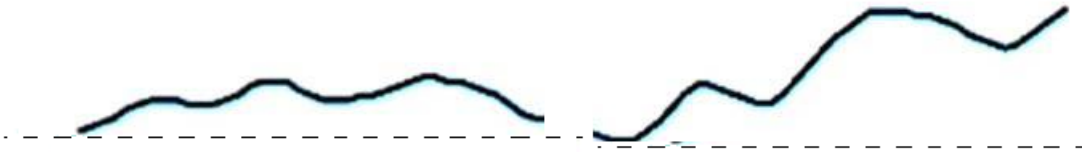


Рис. 4. Фотоплетизмограммы при движении руки (1) и пальца (2)

При изменении положения тела ФПГ менялась величина амплитуды кривой «h», время t_1 (за которое произошло увеличение объема крови в месте регистрации) и время t_2 (за которое «избыточное» давление крови пришло к исходному состоянию). Зубец «В» изменялся от еле заметного до четко выраженного. На рисунке 5 под цифрой *1* изображена фотоплетизмограмма в положении лежа, *2* – положении сидя, *3* – стоя.

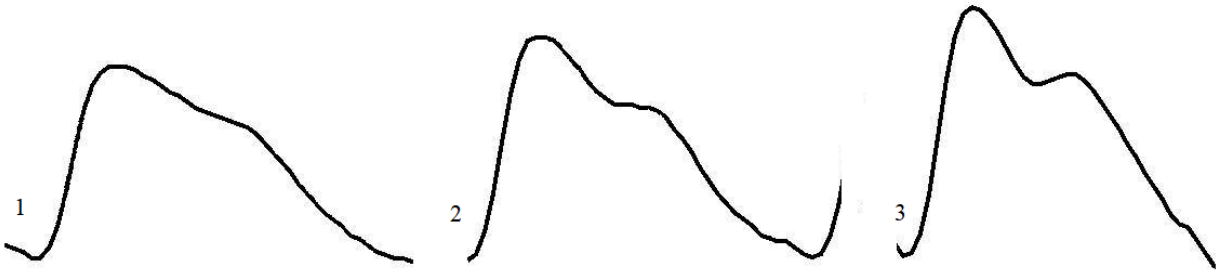


Рис. 5. Фотоплетизмограммы в положениях лежа (*1*), сидя (*2*), стоя (*3*)

На основе полученных данных можно сделать вывод, что малейшие движения или неправильное положение тела могут исказить результат измерений, и вследствие этого человеку не будет оказана нужная ему помощь или же будет оказана без необходимости, что также негативно скажется на состоянии пострадавшего и усугубит ситуацию.

Полученные результаты позволили разработать пульсовой оксиметр с повышенной точностью измерения.

Библиографический список

1. Шурыгин, И. А. Мониторинг дыхания: пульсоксиметрия, капнография, оксиметрия. / И. А. Шурыгин. – СПб. : Невский Диалект, 2000. – 301 с.

2. Патент № 2336662 C1 Российская Федерация, МПК H04N 9/12. Устройство формирования и обработки изображения / А. Ю. Куликов, В. М. Строев; заявитель ТВВАИУ. – № 2007101959/09; заявл. 18.01.2007; опубл. 20.10.2008, Бюл. № 29.

ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ГОЛОСОВЫХ ПОМОЩНИКОВ В МЕДИЦИНСКУЮ ПРАКТИКУ

И. Э. Родионова

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: rodionovairr@yandex.ru)

Эпидемия COVID-19, охватившая мир, привела к введению беспрецедентных мер, включая ограничение передвижения людей и взаимодействия в автономном режиме. Это стимулировало внедрение решений на основе речевых технологий – голосовых и текстовых роботов, способных оперативно и правильно обрабатывать запросы граждан и предоставлять соответствующие услуги, касающиеся информации, связанной со здоровьем. С развитием технологий, такие устройства становятся все более доступными для каждого.

Голосовой помощник – это устройство класса интеллектуальной (умной) бытовой техники, представляющее из себя динамик со встроенными микрофоном и компьютером, работающим на подключении к сети Интернет.

На компьютере работает облачный виртуальный голосовой помощник с элементами искусственного интеллекта. В некоторых случаях подобные устройства также оснащены видеокамерой и жидкокристаллическим сенсорным экраном. Ключевым фактором работы умных колонок является используемая технология распознавания голоса. С ее помощью голосовой помощник может понимать запрос пользователя и действовать в соответствии с ним. Несмотря на то, что каждая интеллектуальная акустическая система отличается, можно определить основные концепции их работы. Обычно голосовые помощники работают в «спящем» режиме и активируются при произнесении «пробуждающего» слова или фразы. После этого, устройство записывает запрос и отправляет его через Интернет в главный центр обработки, где речь расшифровывается, а затем формируется ответ для вывода через умный динамик.

Интеллектуальные голосовые помощники, такие как Яндекс Алиса, Amazon Echo и Google Home, предоставляют многообещающую возможность улучшить доступ потребителей к информации о здоровье и связанным с ним ресурсам.

Текущими возможностями голосовых помощников в сфере медицины являются поиск необходимой информации о здоровье, консультации с врачами, запись на прием к врачу, установка напоминаний о приеме лекарств, а также популяризация более здорового образа жизни. В настоящее время проводятся исследования о внедрении голосовых помощников в медицинские учреждения с целью оказания помощи врачам при работе с документацией. В будущем голосовые помощники смогут самостоятельно определять самочувствие пользователей, выявлять существующие проблемы и отслеживать показатели их здоровья (например, ЭКГ).

Согласно исследованиям ученых, интеллектуальные персональные помощники с голосовым управлением будут широко распространены в различных областях здравоохранения в течение ближайших 5 лет [1]. Однако ожидается, что голосовые помощники будут только лишь поддерживать специалистов в их повседневной работе и не смогут превзойти или заменить медицинский персонал.

Другим аспектом внедрения персональных помощников с голосовым управлением является адаптация старшего поколения к новым технологиям. Примечательно, что благодаря интуитивно понятному интерфейсу без экрана голосовые помощники могут использоваться значительным количеством пожилых

людей [1]. Поскольку пожилые и маломобильные люди несоразмерно обременены изоляцией, хроническими заболеваниями, когнитивными нарушениями и другими функциональными ухудшениями, что затрудняет им безопасное старение в местах своего проживания, появится возможность поддерживать пожилых людей дома и потенциально снижать нагрузку на лиц, осуществляющих уход.

Хотя голосовые помощники обладают интересными и полезными функциями, им также присущи и некоторые уникальные проблемы.

В результате появления интеллектуальных персональных помощников с голосовым управлением появились опасения по поводу конфиденциальности пользователей, поскольку такие устройства передают личную информацию на сервер через Интернет. В своем исследовании [2] автор упомянул, что любой, у кого есть доступ к таким устройствам, может собрать сугубо личную информацию о владельце, попросив помощника прочитать электронные письма, содержимое заметок и т.д. Кроме того, такие устройства уязвимы для ультразвуковых частот, воспринимаемых не человеческими ушами, а умными динамиками. Кроме того, сообщалось о нескольких случаях, когда голосовая помощь записывала голос пользователя и отправляла информацию на сервер даже в спящем режиме. Более того, записи взаимодействия пользователя с устройством собираются и хранятся вечно на серверах компаний, поэтому вопрос о понижении сроков хранения информации в данный момент стоит достаточно остро [3].

Еще одним важным риском, связанным с использованием голосовых помощников с целью получения медицинской информации, является неполнота или неточность информации, связанной со здоровьем. Например, неверные инструкции по оказанию первой помощи или рекомендации по лекарствам могут нанести вред пациенту, особенно когда пользователи слепо следуют советам голосовых помощников без здравой оценки ограничений технологии.

Подводя итог, можно сказать, что использование голосовых помощников в обществе быстро растет. Несмотря на активное развитие данной технологии, такие устройства пока еще не оправдывают всех возложенных на них надежд. Большинство из них связаны со здоровьем, начиная от запроса более точной медицинской информации и заканчивая проблемами конфиденциальности. Однако, несмотря на все ограничения, производители стремятся устранить недостатки и улучшить качество услуг.

Таким образом, компания Google начинает внедрять технологию голосовой печати, которая однозначно идентифицирует каждого пользователя по голосу и не позволяет устройству считывать личную информацию, а Amazon

продолжает работать над улучшением функции, позволяющей пользователям удалять записи своих запросов по специальной команде.

Таким образом, голосовые помощники пока еще малоэффективны в использовании в сфере здравоохранения, однако тот факт, что производители заинтересованы в дальнейшем развитии своих устройств и их внедрении в медицинскую практику, свидетельствует о большом потенциале подобных технологий в этом секторе.

Библиографический список

1. Ermolina A., Tiberius V. Voice-Controlled Intelligent Personal Assistants in Health Care: International Delphi Study. Journal of Medical Internet Research. – 2021. – № 23(4). – URL : https://doi.org/10.2196/25312
2. Malkin N., Deatrick J., Tong A., Wijesekera P., Egelman S., Wagner D. Privacy Attitudes of Smart Speaker Users. Proceedings on Privacy Enhancing Technologies. – № 4, 2019. – С. 250 – 271. – URL : https://doi.org/10.2478/popets-2019-0068
3. Интеграция медицинской техники в информационную систему лечебно-профилактического учреждения / М. С. Фролова, С. В. Фролов, И. А. Толстухин, В. Ю. Ошурков // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. –2014. – № 3(53). – С. 68 – 80.

ОСНАЩЕНИЕ КЛИНИКО-ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ ЦЕНТРА ПРЕВЕНТИВНОЙ МЕДИЦИНЫ

А. Н. Севодина, Т. А. Фролова

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: sasha-rashenceva@yandex.ru)

В настоящее время развитие современных биомедицинских технологий позволяет не только проводить успешное лечение различных патологий, но и предупредить их развитие.

Понятие «превентивная медицина» включает в себя направление медицины, целью которого является предупреждение и профилактика заболеваний.

Диагностика патологий заключается в своевременном предупреждении и обнаружении заболевания, что позволяет значительно ускорить и упростить процесс профилактики или лечения.

Современные методы диагностических возможностей разнообразны – от сбора анамнеза и осмотра врача до сложных лабораторных и инструментальных методов исследований [1 – 3].

Часто заболевания могут долгое время не проявлять клинических признаков или симптомов, а начинают активизироваться после стрессовых состояний организма (болезнь, беременность, стресс и т.д.). Поэтому задача центра превентивной медицины заключается именно в предупреждении заболевания путем своевременной диагностики организма.

Одним из главных инструментов диагностики в целом является лабораторная диагностика. Биологические жидкости организма (кровь, моча, слюна и другие), а так же другие типы биоматериала являются отражением состояния организма. Каждый метод лабораторного анализа направлен на выявление только определенного показателя. Поэтому, в условиях центра превентивной медицины, необходимо разработать своего рода стандарт оснащения клинико-диагностической лаборатории, который позволит врачу своевременно и точно диагностировать возможные патологии.

Работа центра превентивной медицины направлена на выявление патологий не только на данный момент времени, но и на определение предрасположенности организма к онкологическим, аутоиммунным и другим заболеваниям, что позволит человеку предупредить развитие патологии. Однако, стоит понимать, что наличие или отсутствие предрасположенностей не дает гарантии того, что у человека она проявится или, наоборот, патология не может развиться. Но диагностика позволит изучить свой организм и своевременно обратиться к врачу при появлении первых клинических симптомов.

Итак, для диагностики организма необходимы следующие типы анализов:

– клинический анализ крови – позволит определить общее состоянии организма на данный момент времени;

– клинический анализ мочи – позволит оценить работу почек, мочевыводящей системы организма;

– биохимический анализ крови – позволит оценить работу всех систем организма. Биохимические показатели – это белки, ферменты и соединения, которые позволяют организму функционировать правильно. Нарушение в биохимических показателях говорит о дисбалансе организма, по конкретному показателю

возможно определить какая именно функция на данный момент может давать сбой.

– гормональное обследование – гормональный фон регулирует всю жизнедеятельность организма, поэтому так важно следить за его равновесием.

– анализы на инфекции – различного рода инфекции могут продолжительное время нарушать работу организма, при этом не демонстрируя клинических проявлений.

Онкопрофилактика стала на данный момент весьма актуальной, ведь онкологические заболевания встречаются все чаще. Для проведения онкопрофилактики также существует ряд лабораторных исследований под общим названием – онкомаркеры. Для каждой системы организма онкомаркеры являются специфичными, поэтому перед исследованием необходим сбор анамнеза и осмотр врача.

Очень часто мы встречаемся с заболеваниями, к которым у человека может быть генетическая предрасположенность. Еще чаще в современном мире встречаются аутоиммунные заболевания. Для данного ряда заболеваний также существуют методы лабораторной диагностики, которые могут предупредить развитие заболевания еще задолго до клинических проявлений. Такая предрасположенность чаще всего определяется путем исследования генотипа человека и относится к генетическим исследованиям ДНК пациента. Что же касается аутоиммуных заболеваний – это сложные заболевания, которые проявляются выработкой собственных антител к клеткам своего организма. Иначе, иммунитет атакует свои здоровые клетки, воспринимая их как чужеродные. Такие аутоатитела тоже определяются с помощью специальных лабораторных исследований.

Таким образом, исследования, которые необходимы при лабораторной диагностике человека в условиях центра превентивной медицины, включают в себя как самые типичные, так и более сложные методы исследования.

В настоящее время весь этот объем различных анализов возможно выполнять быстро, с минимальными затратами, а главное точно. Все анализы можно разбить на классы не только по типу исследования, но и методу исследования. Исходя из классификации, можно увидеть, что все многообразие анализов делится всего на несколько методов исследования: микроскопия, иммуноферментный анализ, иммунохемилюминисцентный анализ, полмеразная цепная реакция. Каждый из этих методов также совершенствуется и автоматизируется, поэтому становится возможным проводить еще большее количество исследований.

Таким образом, для оснащения клинико-диагностической лаборатории предлагается следующее лабораторное оборудование (за исключением общего клинического оборудования и дополнительного оборудования): гематологический анализатор, анализатор мочи, иммуноферментный анализатор, анализатор хемилюминесцентный, амплификатор в режиме реального времени, микроскоп, фотометр биохимический, фотометр иммуноферментный, коагулометр.

В настоящее время оснащение и переоснащение лечебно- профилактического учреждения (ЛПУ) дорогостоящими изделиями медицинской техники (ИМТ) во многих случаях происходит неэффективно без использования научных подходов. Известны единичные научные работы, посвященные проблемам рационального технического оснащения ИМТ ЛПУ, основанные на формализованном анализе проблемы и расчете сравнительной эффективности принятия решения.

В настоящее время отсутствует унифицированный способ выбора оптимальных ИМТ на этапе закупок. Не существует единой базы данных всех ИМТ, которая облегчила бы выбор ИМТ. Но стоит отметить, что в России внедрена Автоматизированная информационная система мониторинга ИМТ (АИС ММИ), используемая для контроля за ИМТ на этапе после поставки ИМТ в ЛПУ. Несмотря на имеющиеся достоинства АИС ММИ, эта система не позволяет на этапе планирования технического оснащения ЛПУ выбрать оптимальное ИМТ, а обеспечивает лишь оценку постпродажного состояния ИМТ.

Таким образом, оснащение клинико-диагностической лаборатории центра превентивной медицины является сложным итерационным, многофакторным процессом, связанным с интеграцией и обработкой информации из различных областей знаний, и для решения этой проблемы требуется применение метода системного анализа.

Библиографический список

1. Синдеев, С. В. Система поддержки принятия решений врача при оценке предоперационного состояния больных с острыми нарушениями мозгового кровообращения / С. В. Синдеев, С. В. Фролов, А. Ю. Потлов // Вестник ТГТУ. – 2017. – Т. 23, № 4. – С. 581 – 588.

2. Современные тенденции развития медицинских информационных систем мониторинга / С. В. Фролов, М. А. Лядов, И. А. Комарова, О. А. Остапен-

ко // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2013. – № 2(46). – С. 66 – 75.

3. Системы поддержки принятия решений для задач оснащения лечебных учреждений медицинской техникой / М. С. Фролова, С. В. Фролов, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – Спец. выпуск 52. – С. 106 – 111.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ СИГНАЛА ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФА

Д. Е. Судаков, К. С. Савинова

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: sudakov.dima1702@yandex.ru, savinova.k94@mail.ru)

Сигнал, который мы получаем при применении электроэнцефалографа (ЭЭГ) в исследовании мозговой активности является нестационарным и его частотные характеристики сильно меняются от времени (разные положения глаз через разные промежутки времени). По этой причине стандартное преобразование Фурье даст только суммарный вклад гармоник на всем промежутке времени, и обоснованным является вейвлет-преобразование, которое предоставляет возможность локализовать их во времени.

Главным достоинством дискретного вейвлет-преобразования (ДВП) является возможность быстрого преобразования (БВП) с пирамидальным алгоритмом вычислений, что позволяет выполнять анализ больших выборок данных.

При анализе сигналов вейвлетами гармоническим сигналам обычно соответствуют яркие горизонтальные полосы вейвлетных пиков и впадин на доминирующих частотах вейвлетов, совпадающих с частотой гармоник сигналов.

Вейвлет-анализ сигнала хорошо описывает локальные особенности исследуемой функции, и, что имеет первостепенное значение при обработке нестационарного сигнала ЭЭГ, быстрые изменения спектра сигнала.

В качестве инструмента для качественной и быстрой обработки результатов анализа отлично подойдет искусственная нейронная сеть.

Ввиду особенностей сигнала ЭЭГ и применения вейвлет преобразования самым подходящим для обучения ИНС будет являться метод обучения нейронных сетей Левенберга-Марквардта, который является, к тому же, стандартным методом обучения нейронных сетей в среде Matlab.

Данный метод использует как основной критерий среднеквадратичную ошибку модели на обучающей выборке. Хоть этот метод и менее распространен, он все же имеет определенную популярность ввиду своих достоинств.

Обучаем ИНС на реальном сигнале ЭЭГ. Для этого используем обработанный участок сигнала, который представляет для нас диагностический интерес.

Стоит обратить внимание, что количество должно быть равным количеству найденных интервалов, а количество выходов берется по необходимым критериям, например, движения камеры робота хирурга при проведении операции на расстоянии без непосредственного контакта врача и пациента.

В результате работы получаем график, на котором представлена работа нейронной сети. Интересующий нас участок исходного сигнала ИНС определила, как цель, что показано на рис. 1. Для наглядности этот участок приближен и искомая область выделена красным маркером в виде прямоугольной рамки.

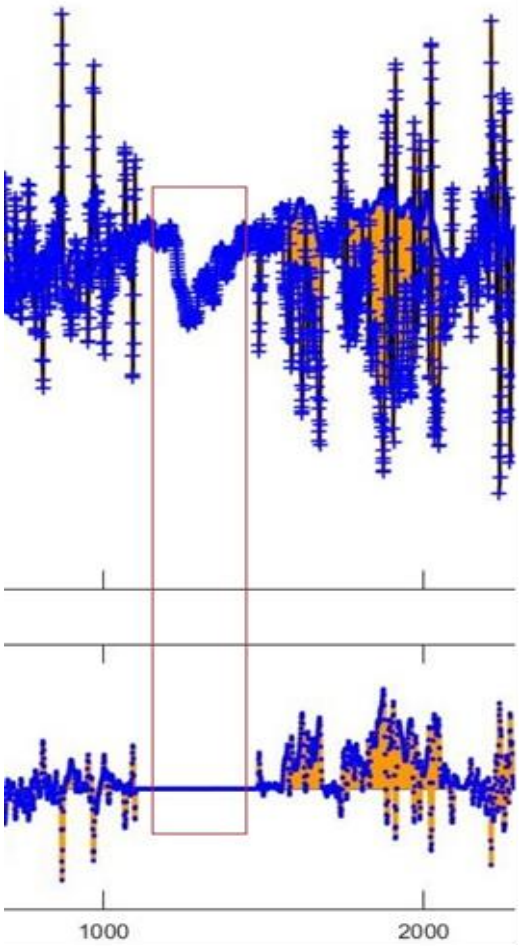


Рис. 1. Искомый участок сигнала

Созданная искусственная нейронная сеть сможет найти применение для создания систем управления медицинской техникой в системе интерфейс «мозг-компьютер». В частности, это позволит расширить возможности роботизированной хирургии, когда хирург руководит роботом во время операции непосредственно не контактируя с пациентом.

Библиографический список

1. Судаков, Д. Е. Модель электронного глаза человека с использованием искусственной нейронной сети / Д. Е. Судаков, В. В. Дубровин // Энергосбережение и эффективность в технических системах. – 2016. – С. 521–522.

2. Фролова, М. С. Информационная модель медицинской техники на основе объектно-ориентированного подхода / М. С. Фролова, Т. А. Фролова, И. А Толстухин// Вопросы современной науки и практики. – 2015. – № 4. – С. 139 – 145.

3. Дубровин, В. В. Аппаратно-программные средства повышения точности медицинских приборов на основе нейронных сетей / В. В. Дубровин, И. С. Рязанов, О. О. Голубятников// Математические методы в технике и технологиях. – 2014.– Т. 27, № 3. – С. 131–132.

4. Журавов, Д. В. Реализация процедуры вейвлет-сжатия на цифровом сигнальном процессоре / Д. В. Журавов, А. Б. Степанов // Юбилейная 70-я всероссийская научно-техническая конференция, посвященная Дню радио: сб. науч. ст. (Санкт-Петербург, 21–29 апреля, 2015 г.). – Санкт-Петербург, 2015. – С. 86–87.

5. Смоленцев, Н. К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в Matlab / Н. К. Смоленцев // Пресс. – 2005. – С. 304.

6. Дьяконов, В. П. MATLAB. Обработка сигналов и изображений / В. П. Дьяконов, И. Абраменкова // Специальный справочник. – 2002. – С. 608.

ВЛИЯНИЕ ТОПОЛОГИИ LC-КОНТУРОВ В СОСТАВЕ СИСТЕМ ЧРЕСКОЖНОЙ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ НА ВЫХОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

И. С. Судариков, Э. А. Миндубаев

Национальный исследовательский университет
Московский институт электронной техники, Зеленоград, Россия
(e-mail: sudarikoff.ilya@yandex.ru)

Системы чрескожной индуктивной передачи энергии является альтернативой традиционному методу питания имплантируемых медицинских приборов при помощи проводов или имплантируемых источников питания [1]. При проектировании систем чрескожной индуктивной передачи энергии необходимо учитывать требования, обусловленные конкретным устройством: в зависимости от типа прибора могут отличаться характерные размеры передающей и принимающей катушек индуктивности, рабочая частота системы, эквивалентное сопротивление нагрузки.

Для того, чтобы обеспечить достижение целевых характеристик проектирования (например, выходной мощности и эффективности передачи энергии) необходимо оптимизировать конструкцию системы для каждого конкретного приложения [2]. Поэтому особую ценность представляют характерные зависимости выходных параметров системы чрескожной передачи энергии от используемых технических решений и параметров системы. Такие зависимости позволяют получить представление о работе системы и могут стать основой для создания процедур оптимизации и проектирования.

В данной работе было исследовано влияние топологии LC-контуров в составе системы чрескожной индуктивной передачи энергии на характеристики системы, а именно импеданс и выходное напряжение. Были рассмотрены две основные топологии LC-контуров, которые применяются в системах чрескожной индуктивной передачи энергии: последовательная компенсация в передающей части системы и принимающей части системы (последовательная-последовательная), а также последовательная компенсация в передающей части и параллельная компенсация в принимающей части (последовательная-параллельная). Эквивалентные схемы систем индуктивной передачи энергии с последовательной-последовательной и последовательной-параллельной показаны на рис. 1.

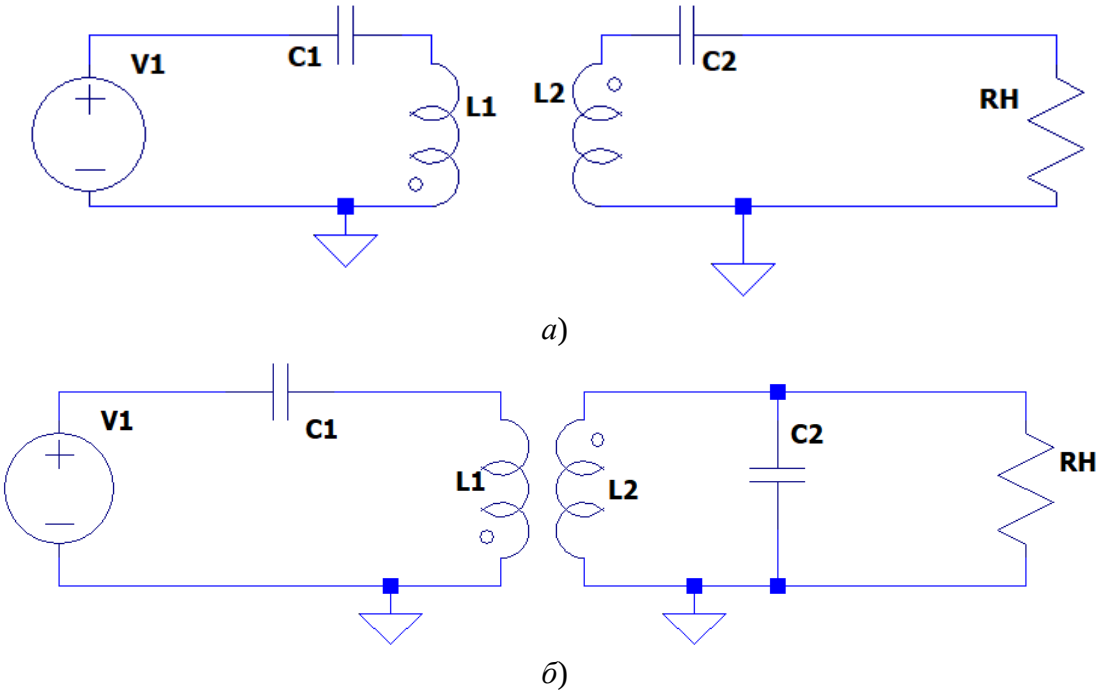


Рис. 1. Последовательная-последовательная (*а*) и последовательная-параллельная (*б*) топология RLC- цепи

Был выполнен анализ электрических цепей для двух компенсаций для определения аналитических выражений для импеданса системы индуктивной передачи энергии. Полный импеданс системы с последовательной-последовательной топологией можно рассчитать при помощи следующего выражения:

$$Z_{\text{сист}} = j\omega L_1 - \frac{j}{\omega C_1} + \frac{\omega^2 C_2 (j\omega M^2 - j\omega^3 M^2 C_2 L_2 + \omega^2 M^2 C_2 R_{\text{н}})}{(\omega^2 L_2 C_2 - 1)^2 + {R_{\text{н}}}^2 \omega^2 {C_2}^2},$$

где M – взаимная индуктивность двух катушек индуктивности L_1 и L_2, ω – циклическая частота колебаний, L_1 – индуктивность передающей катушки индуктивности, C_1 – емкость конденсатора в передающем контуре, L_2 – индуктивность принимающей катушки индуктивности, C_2 – емкость конденсатора в принимающем контуре, R_H – сопротивление нагрузки.

Системы индуктивной передачи энергии работают на резонансной частоте от десятков килогерц до нескольких мегагерц. Для получения максимальной мощности на выходе необходимо обеспечить резонанс в системе. При резонансе реактивная мощность в системе индуктивной передачи энергии равна нулю. Таким образом, определить частоту резонанса можно решив следующее уравнение относительно частоты:

$$\text{Imag}\,(Z_{\text{сист}}) = 0.$$

Таким образом, резонансная частота для системы индуктивной передачи энергии с последовательной-последовательной компенсацией совпадает с формулой Томсона:

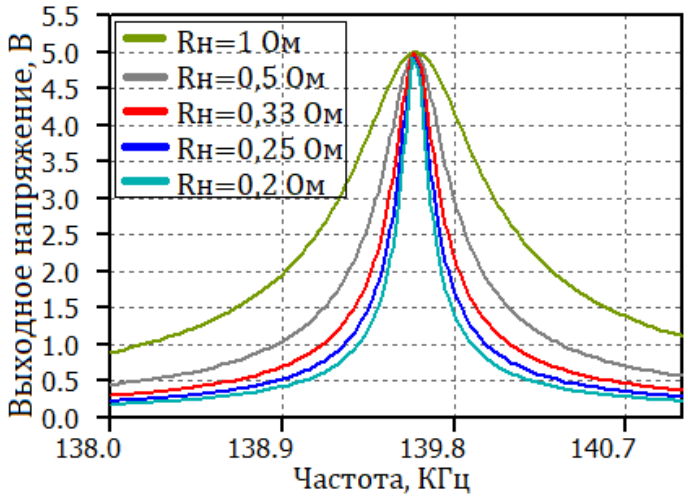
$$\omega = (\mathrm{C}_2 L_2)^{-\frac{1}{2}}.$$

В свою очередь, полный импеданс системы с последовательной-параллельной топологией при резонансе можно рассчитывается как:

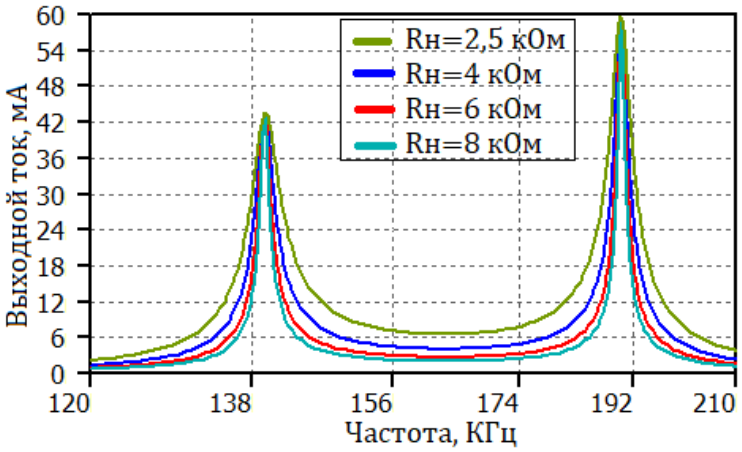
$$Z_{\text{сист}} = \frac{\omega^2 M^2 R_{\text{Н}} - j\omega^3 M^2 \left[C_2 {R_{\text{Н}}}^2 (\omega^2 C_2 L_2 - 1) + L_2\right]}{{R_{\text{Н}}}^2 (\omega^2 L_2 C_2 - 1)^2 + \omega^2 {L_2}^2}.$$

Аналогично, резонансная частота системы с последовательной-параллельной топологией равна:

$$\omega = (L_2 C_2)^{-\frac{1}{2}} - \frac{1}{C_2 R_{\text{Н}}}.$$



а)



б)

Рис. 2. Зависимость напряжения на нагрузке от рабочей частоты системы для разных сопротивлений нагрузки для последовательной-последовательной (*а*) и последовательно-параллельной (*б*) топологии

Было проведено моделирование в симуляторе электрических цепей для получения зависимостей выходного напряжения для двух систем, с последовательной-последовательной и последовательной-параллельной топологиями, от рабочей частоты системы для различных значений сопротивления нагрузки. На вход подавался синусоидальный сигнал с амплитудой 5 вольт, емкость конденсаторов 10 нФ, индуктивность катушек равна 100 мкГн. Коэффициент связи k для последовательно-последовательной топологии равен 0,3, для параллельно-параллельной k = 0,1. Результаты моделирования показаны на рис. 2.

Было установлено, что для системы с последовательной-последовательной топологией на резонансной частоте амплитуда выходного напряжения системы не зависит от сопротивления нагрузки.

Работа выполнена в рамках государственного задания, Соглашение № 075-03-2020-216 от 27.12.2019 г.

Библиографический список

1. Ping Si, Hu A. P., Malpas S., Budgett D. A Frequency Control Method for Regulating Wireless Power to Implantable Devices // IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems. – 2008. – V. 2, No. 1. – P. 22 – 29.

2. Keeling N. A.; Covic G. A.; Boys J. T. A Unity-Power-Factor IPT Pickup for High-Power Applications // IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS. – 2010. – V. 57, No. 2. – P. 0–751.

БЕСПРОВОДНАЯ СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ СИГНАЛОВ ЭЛЕКТРОМИОГРАММЫ ДЛЯ БИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ РЕАБИЛИТАЦИОННОГО ТИПА

А. А. Трифонов, А. А. Кузьмин, А. В. Павленко

Юго-Западный государственный университет, Россия, Курск,
(e-mail: ku3bmin@gmail.com)

Цереброваскулярные и сосудистые патологии являются одной из наиболее частых причин потери двигательных функций. В настоящее время отмечается стремительная тенденция к увеличению числа больных с такими патологиями.

Инсульт, сосудистые патологии конечностей являются основными причинами инвалидности взрослого населения, поэтому разработка эффективных методов и средств восстановления двигательных функций является актуальной задачей [1, 2].

Для управления процессом восстановления двигательных функций или протезами используются дешифраторы сигналов центральной нервной системы (ЦНС), наиболее доступными из которых являются сигналы поверхностной электромиограммы (ЭМГ) [3 – 5]. ЭМГ-сигналы имеют специфическую структуру, характерную для различных типов движения суставов. Распознавание типа движения по ЭМГ-сигналам позволяет управлять многофункциональными протезами и может использоваться при проектировании интеллектуальных биоинформационных систем [6 – 8].

Для регистрации ЭМГ-сигналов, с учетом требований мобильности и автономности, была разработана система, структурная схема которой представлена на рис. 1. В процессе работы системы формируются файлы «сырых» данных, анализ которых позволяет определить нагрузки на мышцы и/или их функциональное состояние.

Система регистрации использует 6 накожных электродов для регистрации двух каналов ЭМГ (2 активных электрода и один нейтральный электрод на каждый канал) – рис. 2.

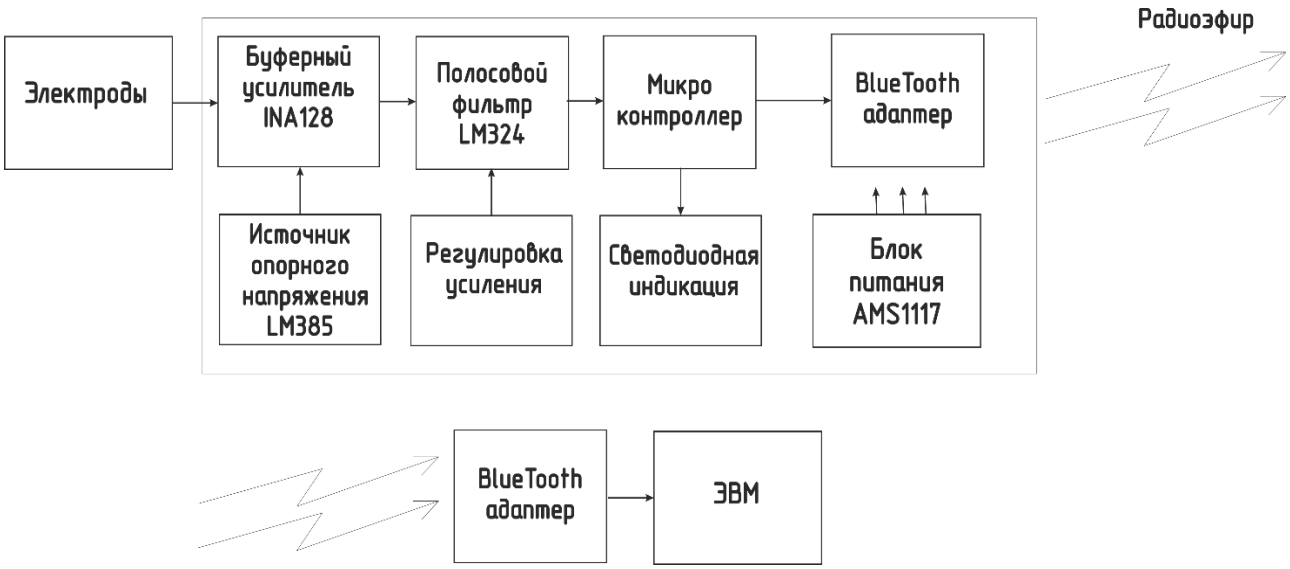


Рис. 1. Структурная схема беспроводной системы регистрации сигналов электромиограммы для биотехнических систем реабилитационного типа

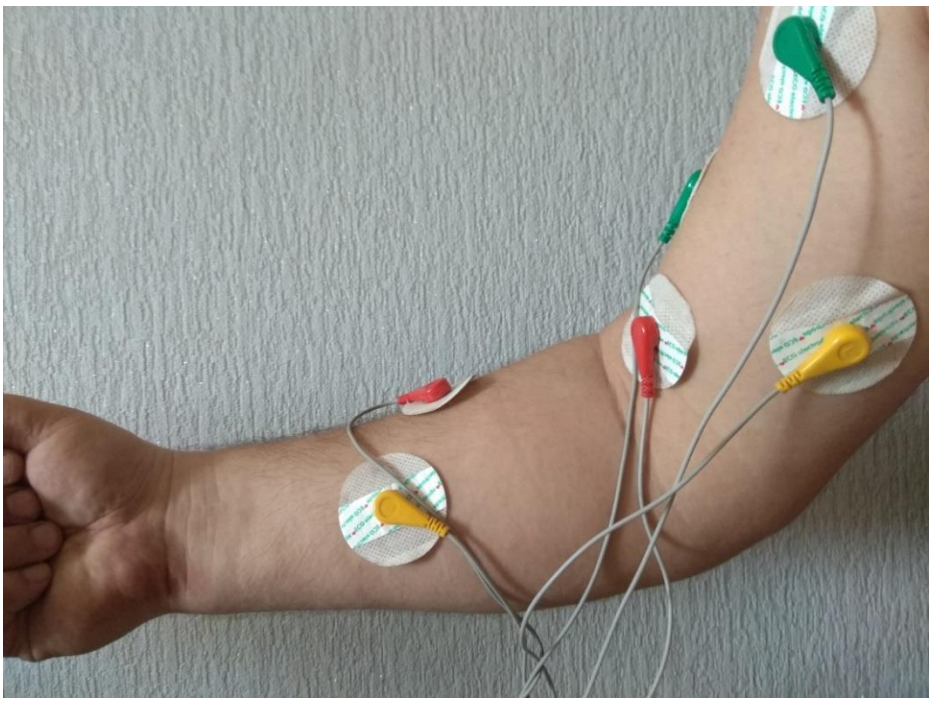


Рис. 2. Расположение электродов для регистрации активности мышц-сгибателей руки

Электроды снимают биопотенциалы пациента с поверхности кожи. Данные биопотенциалы очень малы по амплитуде и мощности, содержат множество помех (постоянные электрохимические потенциалы электродов, наводки от электромагнитных волн: сотовой связи, электрической сети, телевидения, радио и т.д.) [8].

Для усиления биопотенциалов используется буферный усилитель, который построен на микросхеме инструментального усилителя INA112. Буферный усилитель построен по дифференциальной схеме, позволяющей избавиться от синфазных помех. Для реализации схемы однополярного питания необходима схема формирования аналоговой земли, которая в данном устройстве реализована на прецизионном источнике опорного напряжения на базе микросхемы LM385. Далее усиленный буферным усилителем сигнал поступает на вход активных полосовых фильтров, собранных из операционных усилителей микросхемы LM324. Нижняя частота среза этих фильтров определяется природой ЭМГ сигналов и составляет десятки герц. На практике нижнюю частоту выбирают гораздо выше значения 50 Гц для эффективной фильтрации сетевой помехи. Верхняя частота среза составляет сотни герц. Коэффициент усиления активных фильтров может быть скорректирован в зависимости от амплитуды входного сигнала, (который, в свою очередь, зависит от исследуемой мышцы, индивидуальных

особенностей организма и т.д.) с помощью регулировки усиления, схема которой представляет собой обычный переменный резистор.

После прохождения сигнала через фильтры его необходимо оцифровать и отформатировать согласно спецификациям BlueTooth адаптера для последующей передачи по радиоканалу. Эту работу выполняет микроконтроллер, который благодаря встроенному модулю АЦП переводит его из аналоговой формы в цифровую. Также микроконтроллер анализирует входной сигнал и сигнализирует об ошибках (например, об отрыве электрода) и об исправной работе с помощью светодиодной индикации.

Цифровой сигнал от микроконтроллера формируется в кадры и поступает в Bluetooth адаптер для его последующей передачи по радиоканалу, согласно протоколам Bluetooth. Радиоканал обеспечивает мобильность устройства и его электрическую безопасность. Далее сигнал поступает во второй Bluetooth адаптер на стороне ЭВМ, после чего непосредственно в ЭВМ. ЭВМ регистрирует сигналы, декодирует их, распознает данные и визуализирует их на экране. Блок питания обеспечивает устройство стабильным напряжением питания. Для этого используется микросхема AMS1117, которая выдает стабилизированное напряжение 3.3 В потребителям.

Заключение. Полученные аппаратные решения регистрации поверхностных сигналов ЭМГ могут быть использованы при построении интеллектуальных систем реабилитации пациентов с неврологическими заболеваниями. Полученные результаты позволят получить новые информативные каналы в виде электрофизиологических сигналов, позволяющие установить новые предикторы риска социально значимых заболеваний.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90112.

Acknowledgments: The reported study was funded by RFBR, project number 19-38-90112.

Библиографический список

1. Аль-Бареда, А. Я. С. Алгоритмы синтеза оптимального управления в биотехнических системах реабилитационного типа на основе технологий нейронных сетей / А. Я. С. Аль-Бареда, А. Н. Брежнева, Р. А. Томакова // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2018. – Т. 17, № 3. – С. 750 – 754.

2. Trifonov, A. A. Neural network model in the exoscelete verticalization control system / A. A. Trifonov, A. A. Kuzmin, S. A. Filist and E. V. Petrunina // Journal of Phisics: Conference Series/ 1679(2020) 032036.

3. Кодовые образы сигналов электроэнцефалограммы для управления робототехническими устройствами посредством интерфейса мозг-компьютер / С. А. Филист, Е. В. Петрунина, А. А. Трифонов, А. В. Серебровский // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. Научный журнал. – 2019. – Т. 7, № 1. – С. 67 – 79.

4. Будко, Р. Ю. Создание классификатора мимических движений на основе анализа электромиограммы / Р. Ю. Будко, И. Б. Старченко // Труды СПИИРАН. – 2016. – № 46. – С. 76 – 89.

5. Двухуровневая нейросетевая модель дешифратора электромиосигнала в системе управления вертикализацией экзоскелета / А. А. Трифонов, С.А. Филист, А. А. Кузьмин, В. В. Жилин, Е. В. Петрунина//Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2020. – № 4(52). – С. 99 – 111.

6. Филист, С. А. Гибридная нейронная сеть с макрослоями для медицинских приложений / С. А. Филист, О. В. Шаталова, М. А. Ефремов // Нейрокомпьютеры. Разработка и применение, 2014. – № 6. – С. 35 – 39.

7. Петрова, Т. В. Предикторы синхронности системных ритмов живых систем для классификаторов их функциональных состояний / Т. В. Петрова, С. А. Филист, С. В. Дегтярев, А. В. Киселев, О. В. Шаталова // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2018. – Т. 17, № 3. – С. 693 – 700.

8. Ефремов, М. А. Гибридные многоагентные классификаторы в биотехнических системах диагностики заболеваний и мониторинга лекарственных назначений / М. А. Ефремов, О. В. Шаталова, В. В. Федянин, А. Н. Шуткин // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2015. – № 6. – С. 42 – 47.

ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ АНАЛИЗАТОРЫ

Д. И. Трушин

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: PIROHJOK888@mail.ru)

Анализатор гематологический – прибор (комплекс оборудования), предназначенный для проведения количественных исследований клеток крови в клинико-диагностических лабораториях [1 – 11], показан на рис. 1.

Рис. 1. Гематологический анализатор крови BC 5800 Mindray

Существует 3 метода исследования: электрический импеданс, проточная цитометрия, флуоресцентная проточная цитометрия.

Традиционным методом является метод электрического импеданса, иначе кондуктометрический или также называемый метод Коултера (Культера,Ултера, Coulter) по имени его создателя. Этот метод/принцип используется практически во всех гематологических анализаторах. Суть его состоит в том, что кровь пропускается между двумя электродами через отверстие настолько узкое, что через него может проходить только одна клетка. Импеданс или, проще говоря, проводимость среды изменяется по мере прохождения клеток через отверстие

и это изменение пропорционально объему/размеру проходящих клеток. Данная зависимость и позволяет производить их дифференцированный подсчет.

Лазерная проточная цитометрия – более дорогостоящий метод по сравнению с импедансным, поскольку требует более дорогих реагентов, но он позволяет получать детальную картину морфологии клеток крови. Это лучший метод для определения лейкоцитарной пятикомпонентной формулы. Суть метода состоит в том, что поток образца крови проходит через лазерный луч. Измеряется поглощение луча, а рассеянный свет измеряется под разными углами для определения зернистости, диаметра и внутренней сложности клетки. Это фактически те же самые морфологические характеристики клетки, которые можно определить вручную с помощью микроскопа.

Добавление специальных флуоресцентных добавок позволяет расширить применение проточной цитометрии до возможности оценивать специфические популяции клеток. Флуоресцентные красители позволяют оценить соотношение ядро-плазма в каждой окрашенной клетке. Это используется для анализа тромбоцитов, зарождающихся эритроцитов и ретикулоцитов.

Среди этих аппаратов можно выделить: Sysmex XN-1000, Abacus junior 30 и Mindray BC-5800.

Sysmex XN-1000 – это автономный настольный инструмент. При использовании конфигурации Rerun & Reflex система XN-1000 обеспечивает качественные воспроизводимые результаты в кратчайшие возможные сроки. Система XN-1000 может быть оснащена всеми доступными диагностическими функциями. В зависимости от установленных функций, XN Rerun & Reflex может проводить ряд анализов на основе системы заданных правил. Несмотря на то, что XN-1000 является автономной системой, дополнительное программное обеспечение может сделать ее многоцелевой.

Система может быть объединена в сеть с другими системами XN, размещенными на базе других лабораторий, например, с отдельными системами для анализа жидкостей организма пациентов неврологического отделения или для центров переливания крови.

Abacus junior 30 – компактный настольный гематологический 3-diff анализатор, с продуктивностью 30 тестов/час, определяет 22 параметра крови с дифференциацией лейкоцитов на 3 субпопуляции. Идеально подойдет для клиник

и лабораторий с небольшим потоком пациентов, которые ищут надежный и простой в использовании анализатор.

MINDRAY BC-5800 – современный высокопроизводительный автоматический гематологический анализатор с автозагрузчиком. Оптимален для лабораторий среднего и крупного размера. Анализатор использует надежный метод анализа с помощью химических красителей, полное меню дифференцировки на 5 субпопуляций и возможность настройки критериев повторного исследования. Высокая скорость измерений (90 тестов в час), а также удобное, интуитивно понятное, управление, позволяет оптимизировать рабочую процедуру анализа крови.

Таким образом, анализаторы могут: использовать разные методы исследования, быть большими или компактными, иметь больше функций или быть попроще, могут быть более точными, более скоростными, больше принимать колб, или иметь все и сразу. В зависимости от этого можно подобрать оптимальный вариант для любой лаборатории.

Библиографический список

1. Гематологические анализаторы. Устройство и характеристики // FINDLAB. – URL : https://findlab.ru/news/gematologicheskie-analizatory-ot-klinicheskogo-analiza-krovi-do-kletochnoj-morfologii/ (дата обращения 30.03.21)

2. Гематологический анализатор Sysmex XN-1000 // SYSMEX RUS. – URL : https://www.sysmex.ru/produkty/product-singleview/xn (дата обращения 30.03.21)

3. Гематологический анализатор Mindray BC-5800 // Tiara Medical медицинское оборудование. – URL : https://www.tiaramed.ru/catalog/gematologicheskie-analizatory-mindray/bc-5800/ (дата обращения 11.04.21)

4. Фролова, М. С. Разработка информационной модели медицинского прибора на примере биохимического анализатора / М. С. Фролова, Т. А. Фролова // Ползуновский альманах. – 2016. – № 2. – С. 124 – 132.

5. Фролова, М. С. Автоматизация технологий IVD / М. С. Фролова, И. А. Толстухин, Т. А. Фролова // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы II международной научно-

практической конференции. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2016. – Вып. 2. – Т. II. – С. 275 – 280.

6. Фролова, Т. А. Information models of a medical device for its evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.

7. Фролов, С. В. Проектирование автоматической станции для выделения нуклеиновых кислот на базе готовой роботизированной платформы и отечественных реагентов / С. В. Фролов, Т. А. Фролова // Ползуновский альманах. – 2017. – № 4(3). – С. 64 – 69.

8. Ряшенцева А. Н. Сопоставление методов иммунохимического анализа / А. Н. Ряшенцева, Т. А. Фролова // Энергосбережение и эффективность в технических системах : Материалы V Международной научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. – Тамбов : Изд-во Першина Р.В., 2018. – С. 387–388.

9. Фролова, Т. А. Информационные модели для оценки медицинского устройства / Т. А. Фролова, М. С. Фролова // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы IV Международной научно-практической конференции. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – Вып. 4. С. 123 – 128.

10. Фролова, Т. А. Проектирование биомедицинских информационных систем / Т. А. Фролова, А. Н. Ряшенцева // Энергосбережение и эффективность в технических системах : Материалы VI Международной научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. – Тамбов : Изд-во Першина Р. В., 2019. – С. 419 – 421.

11. Фролова, Т. А. Разработка сайта интернет-магазина по продаже иммунохимических анализаторов / Т. А. Фролова, А. Н. Ряшенцева // Энергосбережение и эффективность в технических системах : Материалы VI Международной научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. – Тамбов : Изд-во Першина Р. В., 2019. – С. 408 – 410.

СТРУКТУРИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПЬЮТЕРНЫХ ТОМОГРАФОВ ДЛЯ НУЖД ЛЕЧЕБНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ

Т.М. Тымчук, Н.В. Венцерова

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: bmt@nnn.tstu.ru)

Компьютерная томография (КТ) – метод рентгенологического исследования, заключающийся в круговом просвечивании объекта рентгеновским излучением и последующем построении с помощью быстродействующей ЭВМ послойного изображения этого объекта. Благодаря высокой точности визуализации компьютерную томографию можно назвать одним из самых действенных методов неинвазивной диагностики.

В связи с востребованностью метода, разработка информационной модели компьютерного томографа, включающей общие требования, технические характеристики и требования к ПО, является актуальной задачей для лечебно-профилактических учреждений [1 – 6].

В ходе данной работы было рассмотрено 17 технических заданий на закупку аппаратов компьютерной томографии, на основании которых была разработана модель ИМТ – аппаратов КТ на языке Unified Modeling Language (UML) (рис. 1).

Язык UML является унифицированным графическим языком моделирования для описания, визуализации, проектирования и документирования объектно-ориентированных систем. Для создания информационной модели была использована программа StarUML, которая поддерживает язык UML.

Для структурирования элементов информационной модели ИМТ существуют типы: Boolean, Integer, Float, Interval. Boolean – параметры, которые принимают логические значения. Integer – параметры, которые принимают целочисленные значения. Float – параметры, которые принимают вещественные значения. Interval – параметры, соответствующие интервальным числам.

В отношении с классом «Область применения» состоят классы «Общие требования», «Технические характеристики», «Требования к аппаратному обеспечению», «Требования к системе хранения и обработки изображений», «Требования к питанию аппарата», «Требования к программному обеспечению» и пакеты классов «Работа аппарата», «Конструкция аппарата».

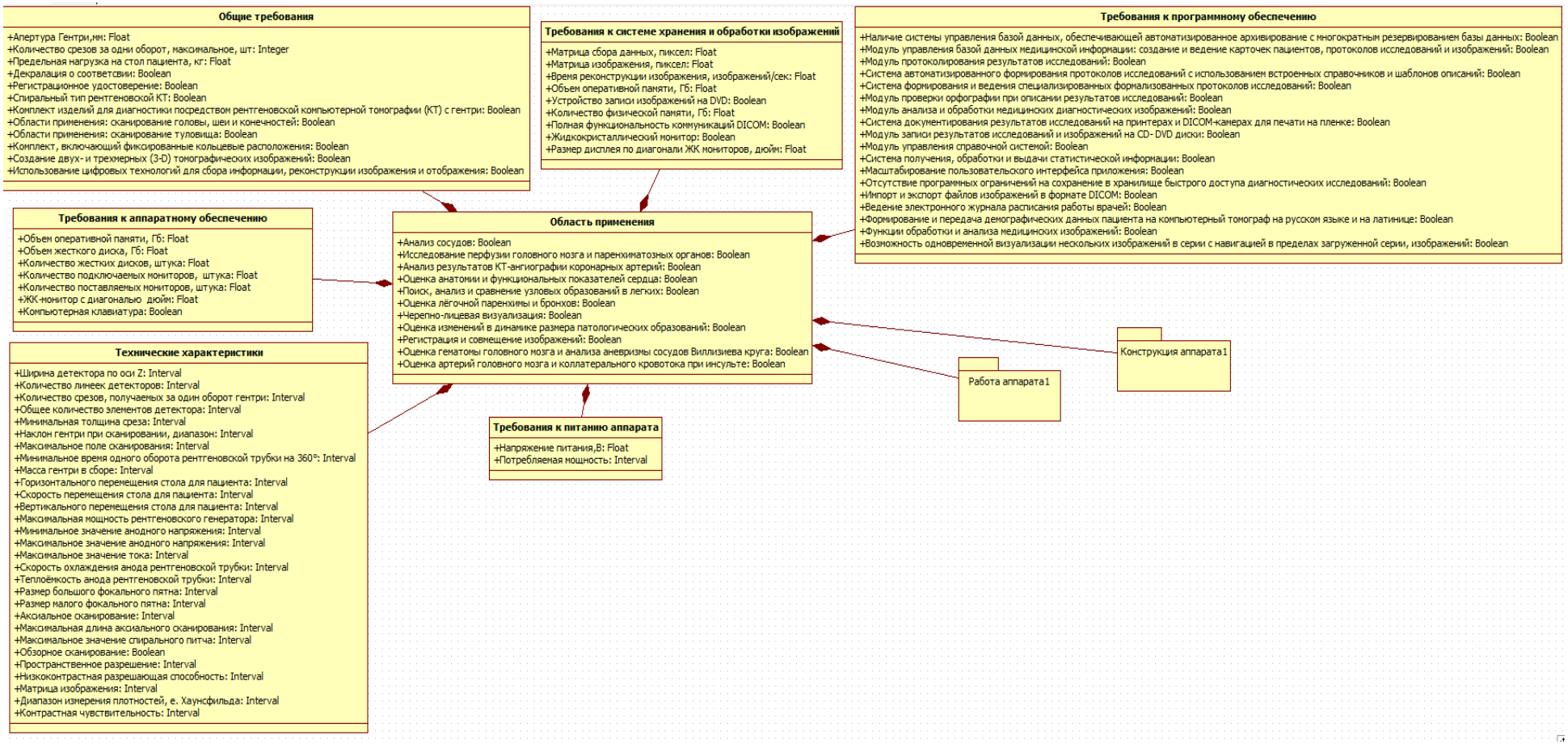


Рис. 1. Пакет классов «Аппараты КТ»

Класс «Общие требования» имеет атрибуты типа Boolean и Float. Класс «Технические характеристики» имеет атрибуты типа Interval. Класс «Требования к аппаратному обеспечению» имеет ряд атрибутов типа Float и Boolean.

Класс «Требования к системе хранения и обработки изображений» включает атрибуты типа Float. Класс «Требования к питанию аппарата» включает атрибуты типа Interval и Float соответственно: «Потребляемая мощность» и «Напряжение питания, В». Класс «Требования к программного обеспечению» включает атрибуты типа Boolean.

В ходе данной работы была разработана модель аппаратов КТ на языке UML, которая может служить для повышения эффективности работы служб закупки медицинской техники в лечебно-профилактических учреждениях.

Библиографический список

1. Фролова, Т. А. Information models of a medical device for its evaluation / Т. А. Фролова,М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.

2. Современные тенденции развития рынка медицинских информационных систем / С. В. Фролов, С. Н. Маковеев, С. В. Семенова, С. Г. Фареа // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2010. – Т. 16, № 2. – С. 266 – 272.

3. Фролова, Т. А. Информационные модели для оценки медицинского устройства / Т. А. Фролова, М. С. Фролова // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн: материалы IV Международной научно-практической конференции. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – Вып. 4. – Т. 3. – С. 123 – 128.

4. Фролова, М. С. Информационная модель медицинской техники на основе объектно-ориентированного подхода / М. С. Фролова, Т. А. Фролова, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2015. – № 4(58). – С. 139 – 145.

5. Фролов, С. В. Объектно-ориентированная декомпозиция информационной модели изделий медицинской техники / С. В. Фролов, М. С. Фролова // Ползуновский альманах. – 2016. – № 2. С. 112 – 117.

6. Фролов, С. В. Рациональный выбор медицинской техники для лечебно-профилактического учреждения на основе системы поддержки принятия решений / С. В. Фролов, М. С. Фролова, А. Ю. Потлов // Врач и информационные технологии. – 2014. – № 3. – С. 35 – 45.

ПОДБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФА ДЛЯ НУЖД ЛЕЧЕБНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ

М. В. Филатов

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: bmt@nnn.tstu.ru)

Электроэнцефалография (ЭЭГ) – метод исследования функционального состояния головного мозга, основанный на регистрации его биоэлектрических потенциалов. Представляет собой отражение интегральной активности множества нейронов и, таким образом, характеризует функциональную активность мозга в его различных отделах в зависимости от используемых отведений. Ряд исследователей отмечают, что ЭЭГ находит большое применение в диагностике ОНМК, с ее помощью выявляются диффузные изменения биоэлектрической активности в виде нерегулярности α-ритма, иногда – наличие диффузно регистрируемого β-ритма и эпилептической активности. Это согласуется с представлениями традиционной ЭЭГ. В то же время имеется ряд факторов, усложняющих взаимосвязь гемодинамических, структурных нарушений и изменений спектра мощности ЭЭГ при ишемическом инсульте. Такими факторами являются наличие у больных с ишемическим инсультом практически неизмененных паттернов ЭЭГ, а также повышение быстрой активности (α и β-ритмов) в проекции ишемического очага.

Создание информационной модели [1, 2], содержащей общие требования к аппаратам ЭЭГ, требования к ПО, полный список технических характеристик, требования к безопасности, описание работы и конструкции прибора. Основным языком программирования данной модели будет служить Unified Modeling Language – унифицированный язык моделирования – язык графического описания для объектного моделирования в области разработки программного обеспечения, для моделирования бизнес-процессов, системного проектирования и отображения организационных структур.

В ходе разработки информационной модели было рассмотрено 9 технических заданий на закупку, международные статьи и произведен патентный поиск, на основании которых была разработана информационная модель (ИМТ), включающая инновации к аппаратам ЭЭГ, на языке UML, представленная на рис. 1.

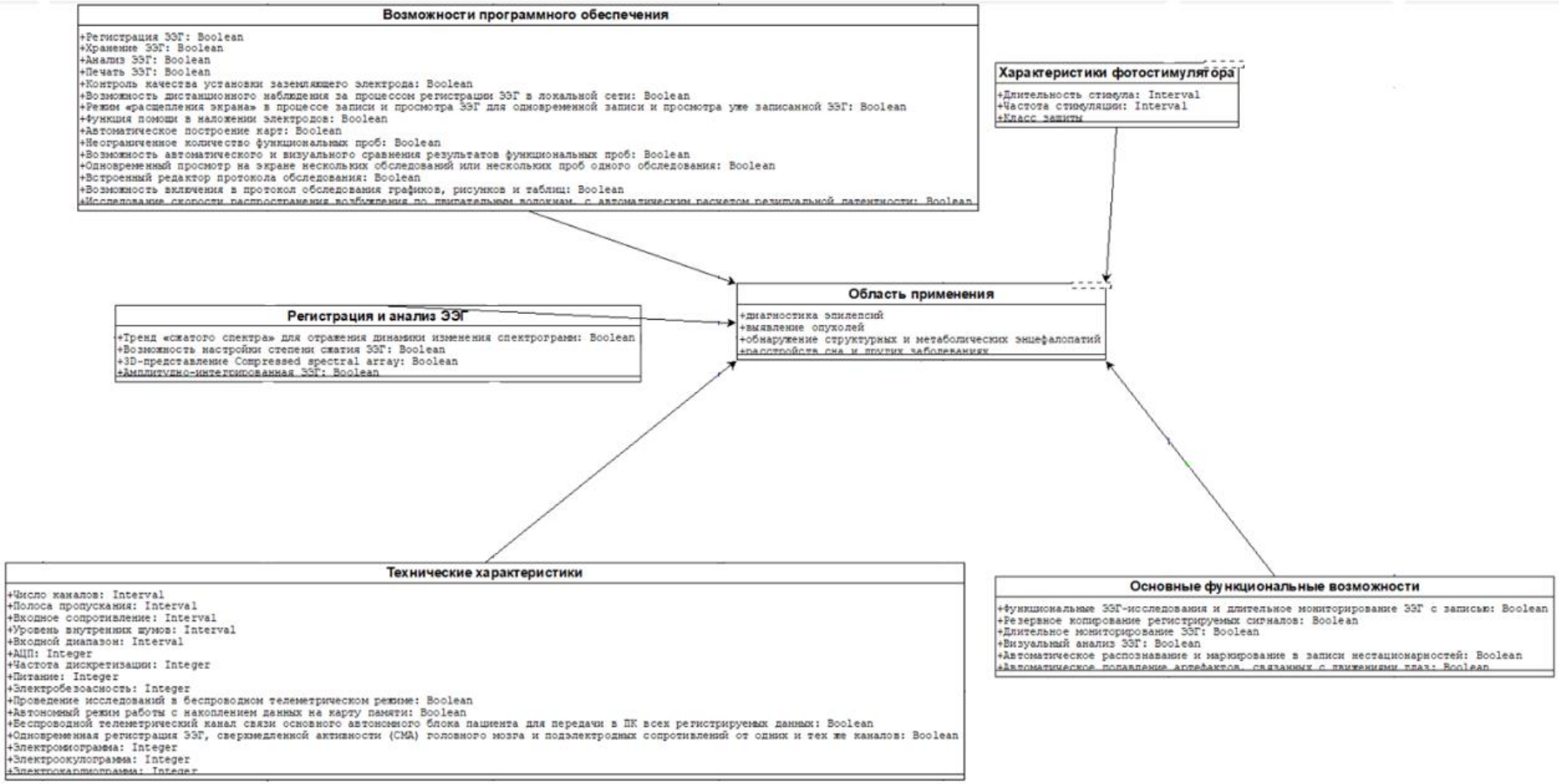


Рис. 1. Информационная модель аппаратов ЭЭГ на языке UML

Таким образом, нами показано, что основной логистической операцией, определяющей эффективность технического оснащения ЛПУ, является составление технического задания на ИМТ. Сформулирована необходимость разработки информационной системы для СППР выбора оптимальной модели.

Библиографический список

1. Фролова, Т. А. Information models of a medical device for its evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.

2. Современные тенденции развития рынка медицинских информационных систем / С. В. Фролов, С. Н. Маковеев, С. В. Семенова, С. Г. Фареа // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2010. – Т. 16, № 2. – С. 266 – 272.

УНИФИЦИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ НА ЗАКУПКУ ОПЕРАЦИОННЫХ СТОЛОВ

Л. Чапа Ямеги

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: bmt@nnn.tstu.ru)

В статье излагается одна из важных проблем для медицины – это разработка информационной модели операционных столов для улучшения хирургических операций. Хирургическая деятельность – одна из сложнейших в медицине. Поэтому операционные столы обеспечивают не только функциональной медицинской техникой, самым продвинутым оборудованием и инструментами. Одним из важнейших атрибутов остаются надежные и эргономичные операционные столы Promerix, это сверхмощный электрогидравлический операционный стол для всех видов современной хирургии, отвечающий самым взыскательным требованиям комплектации операционных залов. Стабильная модульная конструкция, жесткая фиксация на полу и широкий выбор дополнительных принадлежностей позволяет сконфигурировать и адаптировать Promerix для каждой конкретной операции.

Одним из важнейших атрибутов остаются надежные и эргономичные операционные столы (рис. 1). К ним в каждой сфере медицины есть свои требования.

Рис. 1. Операционный стол

Операционный стол – одно из сложнейших оборудований, которые применяются в хирургии. На сегодняшний день существуют различные виды данного оборудования, которые конечно отличаются по способу применения, назначению и функциональным возможностям.

Таким образом, операционные столы – это предметы медицинского оборудования, предназначенные для размещения больного или раненого и создания удобств медицинскому персоналу при проведении хирургических операций. Древние источники свидетельствуют, что операции делались на кроватях, нарах, деревянных досках. Так было в Древнем Египте, Римской Империи, подобным образом практиковали греческие доктора.

Удивительная эволюция операционных столов благодаря все более софистическим моделям, облегчающим хирургические операции, – это случай производства компании Merivaara в Финляндии, которая со временем облегчает работу врачей, улучшая модель этих столов. Это относится к его таблице Promerix. Promerix – это сверхмощный электрогидравлический операционный стол для

всех видов современной хирургии, отвечающий самым взыскательным требованиям комплектации операционных залов. Стабильная модульная конструкция, жесткая фиксация на полу и широкий выбор дополнительных принадлежностей позволяет сконфигурировать и адаптировать Promerix для каждой конкретной операции.

Promerix дает полный доступ к зоне операции, создает превосходное рабочее место для операционной бригады, не вступая в компромисс с комфортом и безопасностью пациента. Promerix прост в эксплуатации и обслуживании, полностью соответствует требованиям рентгенопрозрачности и использования «С» – дуги благодаря рентгенопрозрачности секций и значительному продольному сдвигу столешницы. Безопасная рабочая нагрузка – 325 кг (во варианте с сдвигом столешницы – 275 кг) (рис. 2). На рисунке 2 представлен пакет классов, образующих ИМТ – «Медицинский стол». Медицинский операционный стол представляет собой медицинское оборудование. Класс «Область применения» включает в себя атрибуты, имеющие тип Boolean, – «Универсальный», «Ортопедия», «Травматология», «Хирургия», «Нейрохирургия», «Гинекология», «Урология», «Педиатрия», «Ортопедия», «Рентгенологические исследования», «Ангиографические исследования».

Класс «Пульты управления» описывает элементы управления медицинских столов и имеет следующие атрибуты типа Boolean – «Дублирующий пульт управления на колонне», «Пульт управления, проводной», «Функция нулевой кнопки», «Инфракрасный пульт», «Ножные педали», «Настенная панель управления», «Панель на колонне». Класс «Тип стола» имеет атрибуты типа Boolean «Стационарный» и «Мобильный». Мобильные операционные столы при помощи встроенных колесиков перемещаются по залу.

Из всего вышесказанного мы видим, что информационные модели в UML [1, 2] дают нам точную информацию о выборе операционных столов, так как это может дать легкий доступ к врачу в операционную, независимо от положения пациента.

Таким образом, информационные модели операционных столов, используемые в хирургии, дают следующие преимущества:

– позволяют сократить влияние человеческого фактора, который может стать причиной смертельной ошибки;

– сокращение сроков реабилитации пациента;

– снижение частоты послеоперационных осложнений.

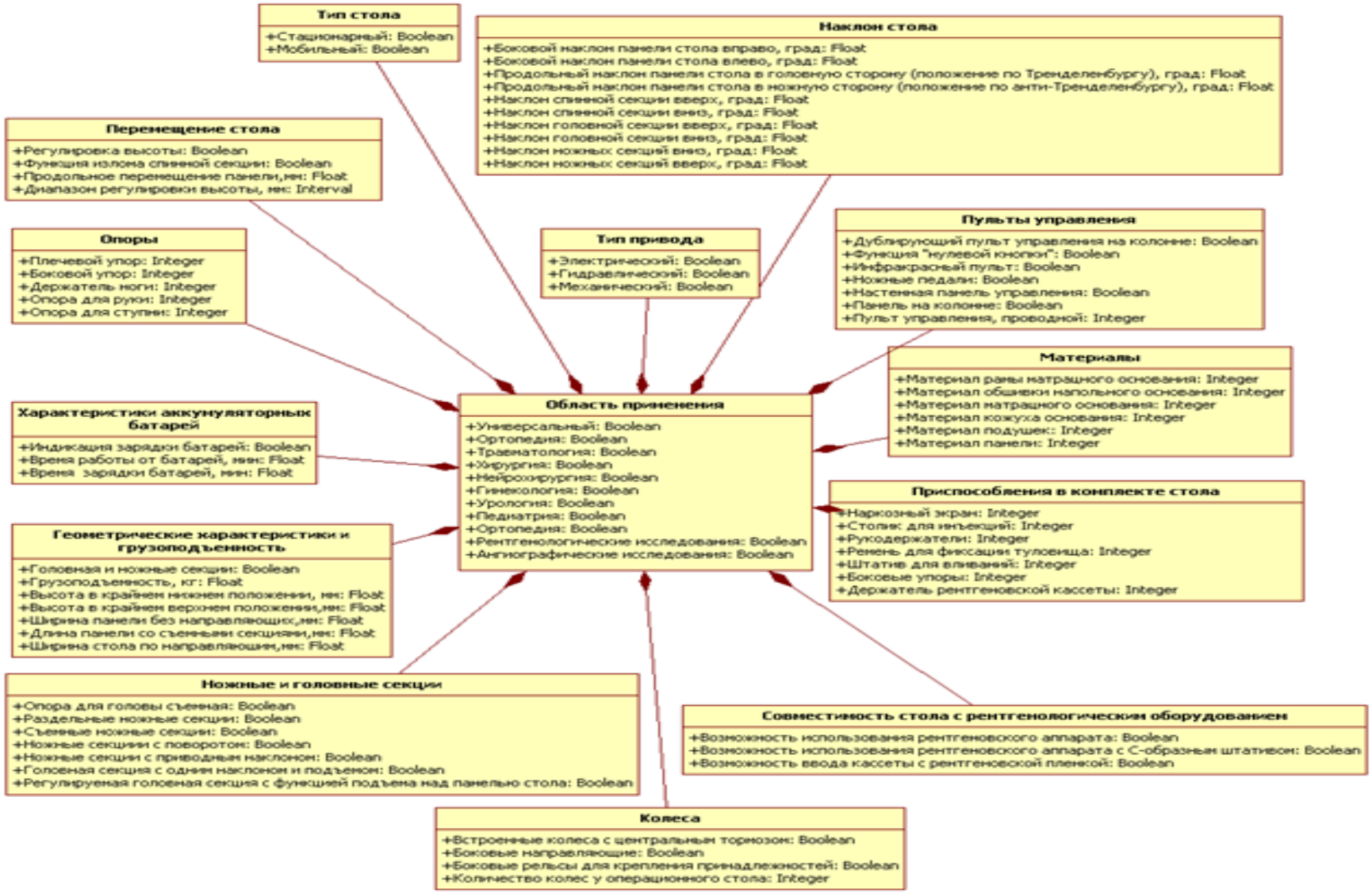


Рис. 2. Диаграмма классов: пакет классов Медицинский стол на языке UML

Библиографический список

1. Фролова, Т. А. Information models of a medical device for its evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.

2. Современные тенденции развития рынка медицинских информационных систем /С. В. Фролов, С. Н. Маковеев, С. В. Семенова, С. Г. Фареа // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2010. – Т. 16, № 2. – С. 266 – 272.

ПРОГРАММА ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ В СИСТЕМЕ ИНДУКТИВНОЙ ЧРЕСКОЖНОЙ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ

И. Д. Чемерев, Э. А. Миндубаев

Национальный исследовательский университет «МИЭТ»,
Москва, Зеленоград,
(e-mail: ichemerev@yandex.ru)

Сегодня имплантируемые медицинские приборы (ИМП), использующие индуктивную чрескожную передачу, используются все чаще. Это обусловлено тем, что система индуктивной чрескожной передачи энергии не требует использования чрескожных проводов, что, в свою очередь, значительно снижает риск возникновения инфекций. В то же время стоит отметить, что системы индуктивной чрескожной передачи энергии не лишены недостатков. При эксплуатации ИМП с такой системой трудно избежать смещения катушек индуктивности относительно друг друга. Смещения катушек, в свою очередь, приводят к изменению мощности на нагрузке [1].

Компенсация влияния смещений на выходные характеристики ИМП является сложной научно-технической задачей [2]. Возможным способом ее решения является использование в составе системы передачи энергии обратной связи [1]. Возможным способом реализации обратной связи является обратная связь по рабочей частоте системы.

В данной работе была разработана программа для численного моделирования системы индуктивной чрескожной передачи энергии. На этапе выбора программного обеспечения для численного моделирования была выявлена проблема отсутствия в существующих программах моделирования индуктивной передачи энергии с обратной связью в реальном времени, т.е. невозможность изменения параметров системы при симуляции работы системы. Разработанная программа для численного моделирования системы индуктивной передачи энергии с обратной связью решает эту проблему.

Для написания программы была выбрана среда программирования MATLAB, так как это гибкий инструмент для работы с математическими формулами и возможностью графического представления результата работы написанной программы. В основе программы находится математическая модель системы индуктивной передачи энергии, которая позволяет учесть различные топологии компенсации реактивной мощности, используемые в системах чрескожной индуктивной передачи энергии [2, 3].

В качестве метода компенсации смещения катушек был выбран метод изменения рабочей частоты системы, а в качестве фактора, на основе которого происходит выбор оптимальной частоты, коэффициент связи катушек. Коэффициент связи определяется как отношение потока вектора магнитной индукции, создаваемого передающей катушкой и пересекающего контур принимающей катушки, к полному потоку, создаваемому передающей катушкой. Коэффициент связи связан с взаимной индуктивностью между катушками M при помощи следующего выражения:

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_T L_R}} ,$$

где L_T, L_R – собственная индуктивность передающей и принимающей катушек индуктивности, соответственно. Взаимную индуктивность M можно описать с помощью формулы Неймана:

$$M = \frac{\mu_0}{4\pi} \oiint \frac{dl_1 dl_1}{r_{12}} ,$$

где μ_0 – магнитная проницаемость вакуума; dl_1, dl_2 – векторы, описывающие первый и второй витки, соответственно; r_{12} – расстояние между витками.

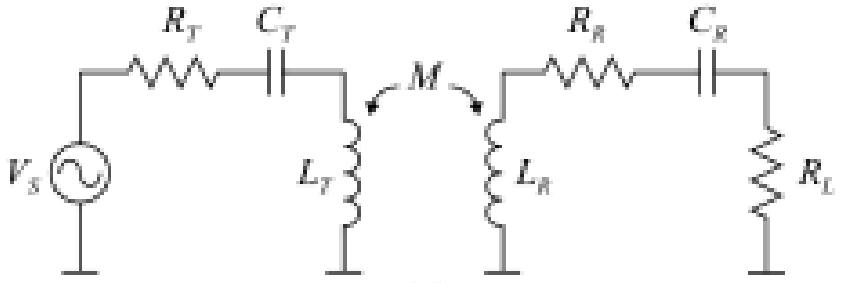


Рис. 1. Эквивалентная схема системы чрескожной индуктивной передачи энергии с последовательной компенсации реактивной мощности в передающей и принимающей частях:

V_S – напряжение источника; R_T – сопротивление передающей цепи; R_R – сопротивление принимающей цепи; C_T – емкость передающей цепи; C_R – емкость принимающей цепи; L_T – индуктивность передающей цепи; L_R – индуктивность принимающей цепи

Была определена зависимость рабочей частоты от коэффициента связи между катушками для последовательной компенсации реактивной мощности в передающей и принимающей частях системы (рис. 1):

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\left(\sqrt{P_L Z_T^2 Z_R^2 + \frac{(2P_L Z_T Z_R - V_S^2 R_L)^2}{4P_L}} - \frac{2P_L Z_T Z_R - V_S^2 R_L}{2\sqrt{P_L}}\right) * \frac{1}{\sqrt{P_L} M^2}},$$

где P_L – мощность на нагрузке; Z_T, Z_R – импеданс передающей и принимающей цепи, соответственно.

Был разработан алгоритм работы модуля обратной связи в системе индуктивной чрескожной передачи энергии. Блок-схема алгоритма показана на рис. 2.

Интерфейс программы и результаты моделирования работы системы индуктивной передачи энергии с обратной связью представлены на рис. 3.

Программа для численного моделирования работы системы индуктивной чрескожной передачи энергии с обратной связью позволяет строить графики зависимости рабочей частоты системы от коэффициента связи. В дальнейшем планируется разработка дополнительные модули программы, которые позволят моделировать параметры системы для альтернативных методов обратной связи, например, регулировки напряжения источника питания или номиналов конденсаторов.

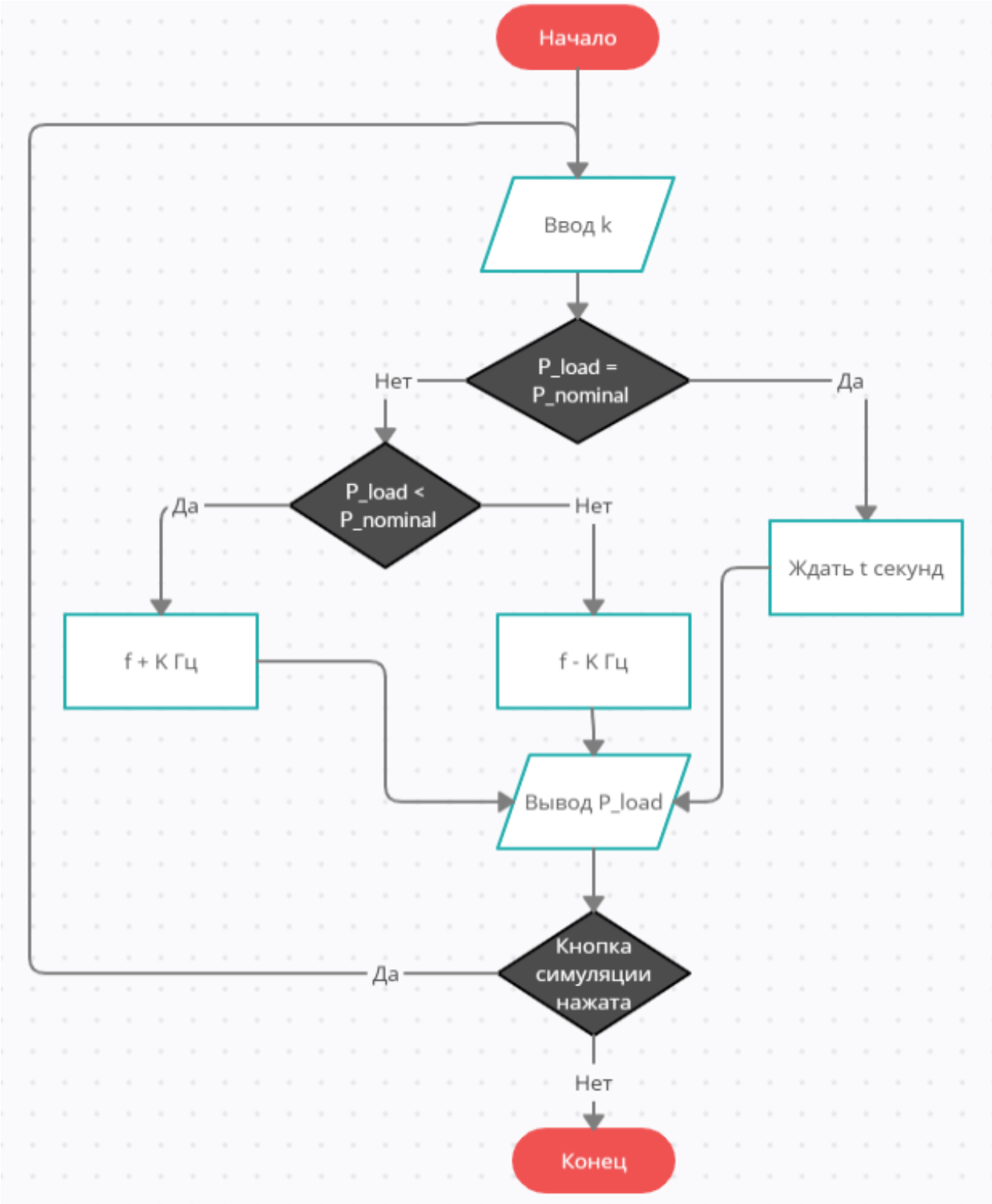


Рис. 2. Блок-схема алгоритма автоматического подбора рабочей частоты системы:

k – коэффициент связи катушек; P_Load – мощность на нагрузке;

P_Nominal – требуемое значение мощности;

f – рабочая частота системы, t – время

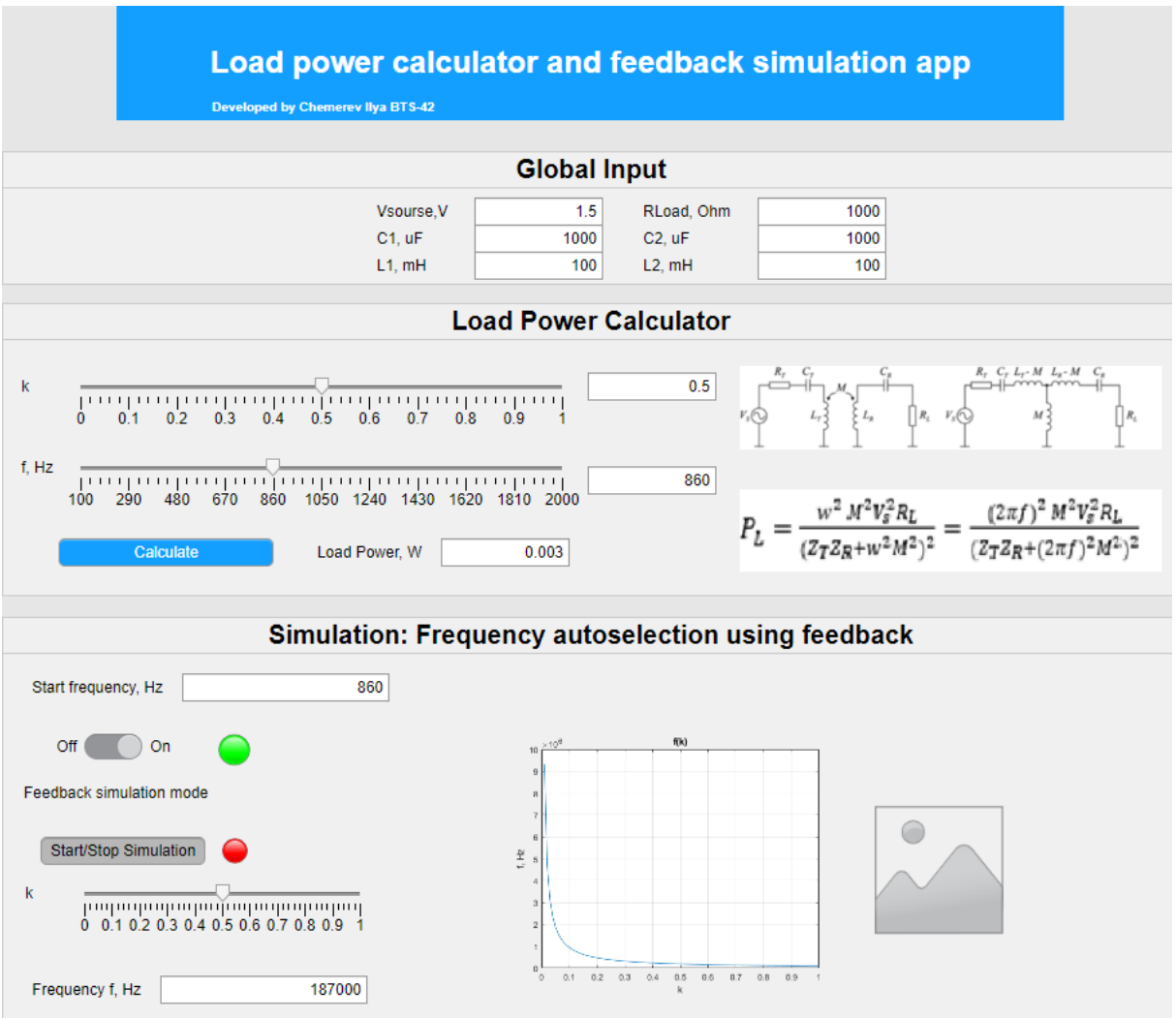


Рис. 3. Результат симуляции системы беспроводной передачи энергии с модулем обратной связи для *k* = 0,5

Работа выполнена в рамках государственного задания, Соглашение № 075-03-2020-216 от 27.12.2019 г.

Библиографический список

1. Данилов, А. А. Развитие методов чрескожного беспроводного энергообеспечения имплантируемых систем вспомогательного кровообращения [Текст] / А. А. Данилов, Г. П. Иткин, С. В. Селищев // Медицинская техника. – 2010. – № 4. – С. 6 – 11.

2. Данилов, А. А. Методы компенсации смещений катушек в системах индуктивной чрескожной передачи энергии к имплантируемым медицинским приборам [Текст] / А. А. Данилов, Э. А. Миндубаев, С. В. Селищев // Медицинская техника. – 2017. – № 1. – С. 41 – 44.

3. Li Xing, Tsui Chi-Ying, Ki Wing-Hung. A 13.56 MHz Wireless Power Transfer System With Reconfigurable Resonant Regulating Rectifier and Wireless Power Control for Implantable Medical Devices [Text] / Xing Li, Chi-Ying Tsui, Wing-Hung Ki. // IEEE JOURNAL OF SOLID-STATE CIRCUITS. – 2015. – № 50. – С. 1 – 12.

ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АППАРАТОВ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИИ БУДУЩЕГО

В. О. Черешнев

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: vitaliy-cha1999@yandex.ru)

Электрокардиогра́фия – методика регистрации и исследования электрических полей, образующихся при работе сердца. Электрокардиография представляет собой относительно недорогой, но ценный метод электрофизиологической инструментальной диагностики в кардиологии.

Основной сложностью при оснащении лечебно-профилактических учреждений является корректное составление технического задания на требуемое медицинское оборудование и выбор оптимального ИМТ из числа предложенных. Выбор и закупка медицинского оборудования должны рассматриваться индивидуально, так как каждое отделение в каждое учреждение выдвигает свои требования к необходимому медицинскому прибору, аппарату или комплексу и имеет свой бюджет на его приобретение. Очевидно, что закупленное в итоге ИМТ должно соответствовать заявленным требованиям и поставленным задачам.

Таким образом, разработка СППР выбора оптимальной модели ИМТ для ЛПУ является сегодня актуальной задачей. Основой построения СППР выбора оптимальной модели ИМТ для ЛПУ является разработка информационной модели ИМТ [1 – 7].

Электрокардиография на сегодняшний день является одним из наиболее распространенных методов диагностики заболевания ССС. Кардиосигнал характеризуется набором зубцов, анализ которого во временной и спектральной области позволяет выявить патологии [3]. Стандартный подход к анализу электрокардиограммы подразумевал нахождение соответствующих амплитудных и временных зависимостей врачом-кардиологом, однако с развитием информационных технологий появились специализированные программно-аппаратные

комплексы, позволяющие выявить сердечные заболевания в автоматизированном режиме.

Для построения информационной модели ЭКГ рассмотрено 20 технических заданий на закупку аппаратов ЭКГ, на основании которых была разработана информационная модель на языке UML, представленная на рис. 1. Аппарат ЭКГ представляет собой медицинское оборудование, информационная модель которого включает пакеты классов: «Основные характеристики», «Область применения», Требования к электропитанию и аккумулятору», «Габариты», «Эксплуатационные характеристики», «Технические характеристики», «Работа аппарата», «Конструкция аппарата» и «Инновации».

На основе патентно-информационного поиска в системах ФИПС, WoS выявлены инновации, соответствующие теме исследования, дополнившие информационную модель аппаратов ЭКГ.

На представленной модели пометка «Инновация P» соответствует инновационным параметрам, найденным с помощью патентного поиска, а пометка «Инновация W» – это инновации согласно статьям, найденным по теме исследования в поисковой системе Web of Science.

Целью инновации «Портативность» является уменьшение массогабаритных параметров ЭКГ за счет использования современных миниатюрных микросборок.

Целью инновации «Мобильность» является возможность использования портативных ЭКГ совместно с мобильными девайсами.

Целью инновации «Безконтактность» является разработка способов снятия ЭКГ без непосредственного контакта с пациентом.

Целью инновации «Совместимость с др. устр.» является обеспечение возможности использования ЭКГ совместно с другими диагностическими устройствами.

Целью инновации «Использование наноэлектродов» является использование наноэлектродов для регистрации сердечных макропотенциал.

Целью инновации «Уменьшение влияния фильтров» является уменьшение искажений, вызываемых фильтрацией в ЭКГ.

Целью инновации «Глубокая оценка ВСР» является оценка и мониторинг функциональных состояний оператора с помощью вариабельности сердечного ритма (ВСР) на основе трехфакторной модели ВСР.

Целью инновации «Вейвлет-анализ ЭКГ» является выделение признаков для сигнала электрокардиограммы (ЭКГ) с использованием преобразования Хуанга-Гильберта и вейвлет-преобразования [4].

Отдельно на диаграмме классов «Аппараты ЭКГ» (рис. 1), выделен пакет классов «Конструкция аппарата ЭКГ» (рис. 2).

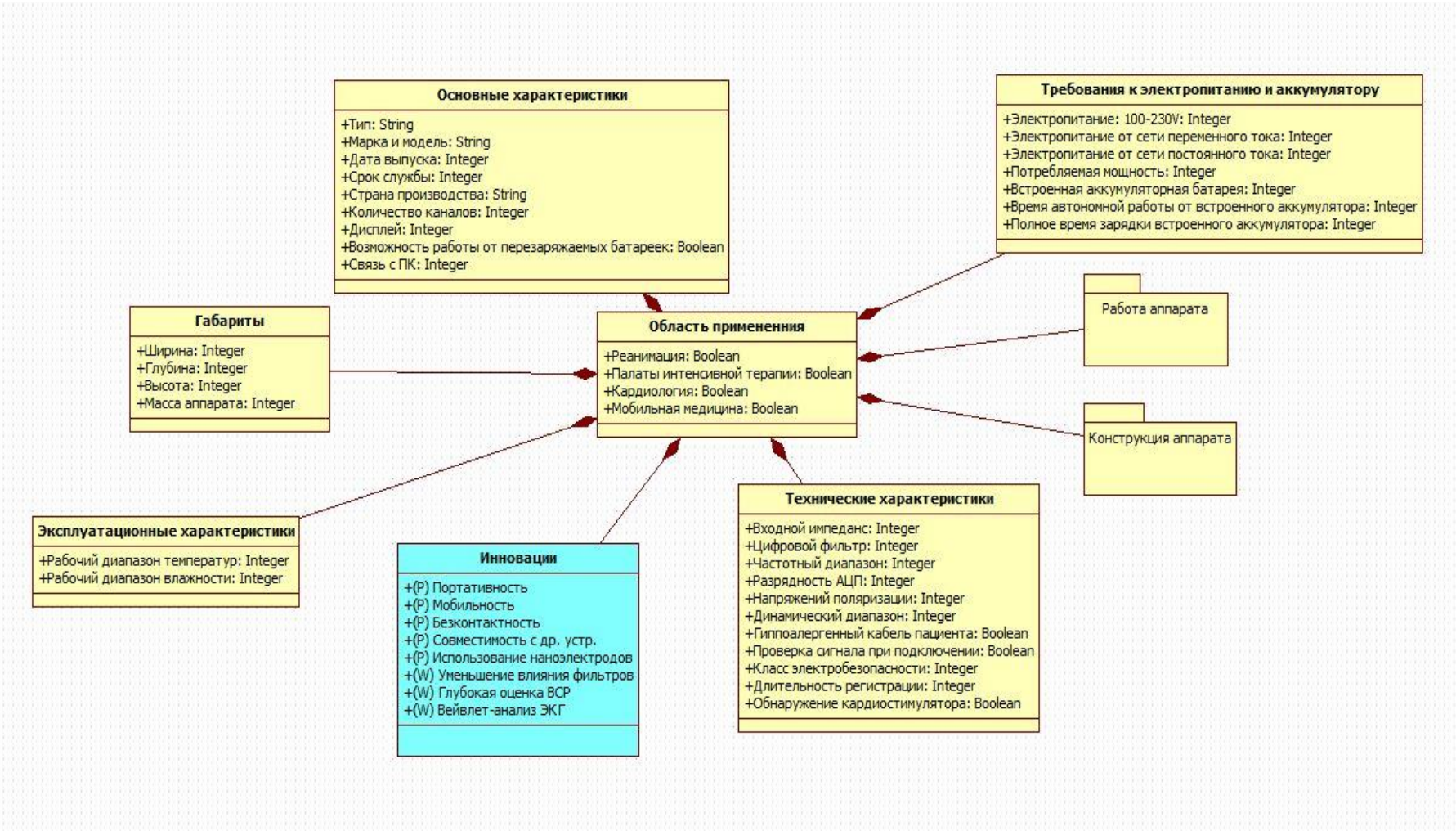


Рис. 1. Информационная модель аппаратов ЭКГ с учетом инноваций

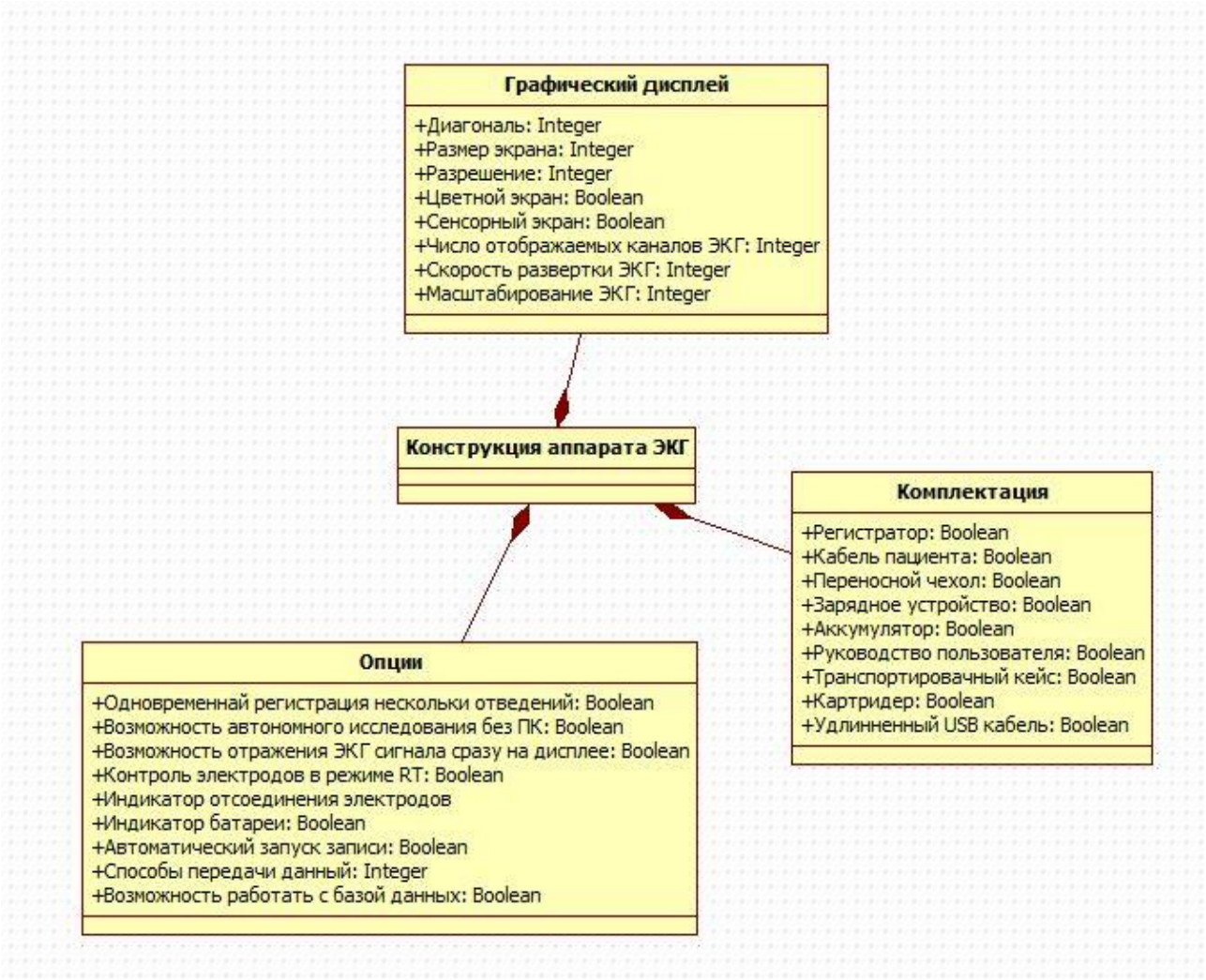


Рис. 2. Информационная модель аппаратов ЭКГ, пакет классов «Конструкция аппарата ЭКГ»

Таким образом, показано, что основной логистической операцией, определяющей эффективность технического оснащения ЛПУ, является составление технического задания на ИМТ. Сформулирована необходимость разработки информационной модели ЭКГ для СППР выбора оптимальной модели ЭКГ. Дано разъяснение понятия информационного моделирования и информационной модели. Построена информационная модель ЭКГ на основе метода объектно-ориентированной декомпозиции, представляющая собой иерархическую связанную систему классов.

Библиографический список

1. Фролова, М. С. К вопросу о выборе оптимальной модели медицинского оборудования / М. С. Фролова // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2011. – № 2(33). – С. 136 – 145.

2. Чуднов, В. П. Оснащение медицинским оборудованием амбулаторно-поликлинических учреждений / В. П. Чуднов // Приложение к журналу ГлавВрач. – 2008. – № 3.

3. Rudenko M, Zernov V, Voronova O. Fundamental Research on the Mechanism of Cardiovascular System Hemodynamics Self-Regulation and Determination of the Norm-Pathology Boundary for the Basic Hemodynamic Parameters and Analysis of the Compensation Mechanism as a Method of Revealing the Underlying Causes of the Disease. Heart Rhythm. November 2012;9(11):1909.

4. Vitaly O. Chereshnev, Sergey G. Proskurin. Electrocardiogram frequency characteristics study by processing and analysis of the signal in time domain and spectral domain. Cardiometry; Issue 17; November 2020; p. 30 – 33; DOI: 10.12710/cardiometry.2020.17.3033;

4. Фролова, Т. А. Информационные модели для оценки медицинского устройства / Т. А. Фролова, М. С. Фролова // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы IV Международной научно-практической конференции: изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – Вып. 4. Т. 3. – С. 123 – 128.

5. Фролова, М. С. Информационная модель медицинской техники на основе объектно-ориентированного подхода / М. С. Фролова, Т. А. Фролова, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2015. – № 4(58). – С. 139 – 145.

6. Фролов, С. В. Объектно-ориентированная декомпозиция информационной модели изделий медицинской техники / С. В. Фролов, М. С. Фролова // Ползуновский альманах. – 2016. – № 2. – С. 112 – 117.

7. Фролов, С. В. Рациональный выбор медицинской техники для лечебно-профилактического учреждения на основе системы поддержки принятия решений / С. В. Фролов, М. С. Фролова, А. Ю. Потлов // Врач и информационные технологии. – 2014. – № 3. – С. 35 – 45.

МОДЕЛЬ ВИЗУАЛИЗАЦИИ СИЛОВЫХ ЛИНИЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ МР-ТОМОГРАФА

Я. И. Шнякина, А. Р. Аветисян, Г. П. Ильин

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: scorpio0751@gmail.com, awetini@gmail.com)

В современной медико-биологической практике ключевыми параметрами диагностических методов являются универсальность, точность и безопасность для пациента. Магнитная резонансная томография (МРТ) в последние десятилетия стала именно таким методом. МРТ активно применяется в диагностике для получения высококачественных восстановленных изображений внутренних органов, кровеносных сосудов, суставов и мягких тканей. Безвредность данного метода для пациента позволяет проводить уточняющие обследования для оперативного отслеживания развития новообразований, изменения структуры соединительных тканей, динамики кровоснабжения и т.д.

Получение правильных и адекватных данных требует однородности и стабильности магнитного поля, для корректировки характеристик которого используется система градиентных катушек, расположенных внутри регулировочных катушек в тоннеле томографа. Градиентное магнитное поле необходимо для пространственного кодирования сигнала магнитного резонанса вдоль трех ортогональных осей: X, Y и Z.

Обработка сигнала МРТ дает точную, но не абсолютно достоверную картину внутренней среды организма. Неоднозначность в конечном результате МР-томографии может быть вызвана как несовершенством программного алгоритма обработки, так и аппаратной части. Важнейший критерий качества любого изображения – отношение сигнал/шум, которое используется для описания вклада в регистрируемый сигнал истинного и случайных сигналов ("шум фона"). Одним из возможных способов увеличения точности и качества данных МРТ может быть параллельная визуализация силовых линий магнитного поля. Соотношение восстановленного изображения исследуемого объекта и распределения линий магнитной индукции может помочь выявить зависимость получаемого сигнала от конкретных характеристик поля.

В рамках экспериментальной установки (макета) предполагается использовать плоскую стеклянную емкость, заполненную ферромагнитной жидкостью

на основе керосина, для наглядной демонстрации силовых линий поля постоянного магнита, имитирующего главный магнит МРТ-аппарата. Во внешнем магнитном поле капля ферромагнитной жидкости сильно поляризуется, и из-за высокой магнитной восприимчивости на ее поверхности возникает упорядоченная система складок или иголок, которые выстраиваются вдоль линий напряженности магнитного поля. Использование ферромагнитной жидкости позволяет легко фиксировать изменения в магнитном поле, результаты же экспериментов можно зафиксировать в виде фотографий (рис. 1).

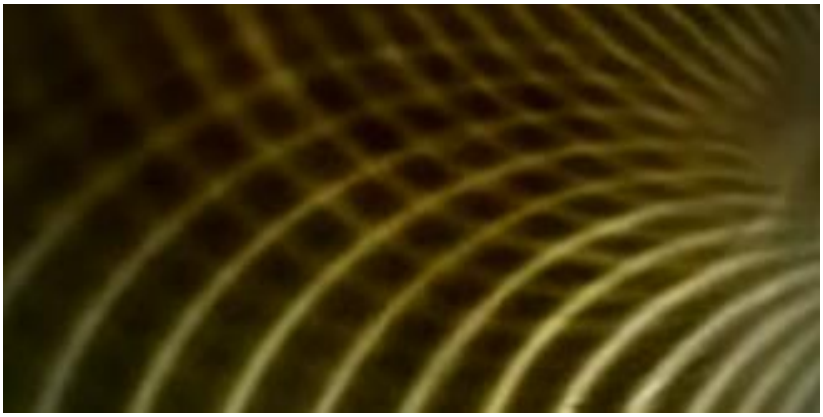


Рис. 1. Силовые линии магнитного поля

Данная модель визуализации силовых линий ориентирована на относительно маломощные аппараты, в которых применяются постоянные магниты, например, предназначенные для детей. В качестве имитации системы градиентных катушек будет использован электромагнит, образующий слабое корректировочное магнитное поле. Имитацией радиочастотной кабины, защищающей МРТ от помех и не пропускающей электромагнитный сигнал в комнату сканирования, послужила алюминиевая клейкая лента. Подобная модель позволит определить, при каких характеристиках магнитного поля силовые линии будут сконцентрированы на пациенте, обеспечивая четкость данных. Если метод параллельной визуализации в рамках данной установки покажет свою эффективность, то он может быть осуществлен в реальных кабинетах.

Библиографический список

1. Ринк, П. А. Магнитный резонанс в медицине: основной учебник Европейского Форума по магнитному резонансу / П. А. Ринк ; Издание третье, пер. с англ. – Oxford, Backwell scientific publications, 1995. 247 с.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АППАРАТА ТЕРАПИИ СИНУСОИДАЛЬНЫМИ МОДУЛИРОВАННЫМИ ТОКАМИ В СПОРТИВНОЙ МЕДИЦИНЕ

Я. И. Шнякина, А. Р. Аветисян

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: scorpio0751@gmail.com)

В мире современного спорта большое внимание уделяется повышению качества здоровья, функционального состояния и работоспособности, нарушенных по причине перенесения болезней, получения травм или в силу других воздействий физическими факторами. Особое место при этом отводится снижению болевых ощущений и, как следствие этого, улучшению психологической устойчивости спортсмена.

Для ускорения достижения данных целей и для повышения эффективности действия других средств возможно применение метода терапии синусоидальными модулированными токами (СМТ) [1 – 3].

Терапия СМТ – это один из видов электротерапии, основанный на использовании с лечебно-профилактическими и реабилитационными целями переменного синусоидального модулированного по амплитуде в пределах от 10 до 150 Гц тока с несущей частотой 5000 Гц.

В результате модуляции, заключающейся в периодическом увеличении и уменьшении амплитуды тока, образуются отдельные серии колебаний тока – амплитудные пульсации (отсюда следует другое название метода – амплипульстерапия), обладающие выраженным возбуждающим действием и пониженным привыканием к ним организма [1].

Аппараты, которые осуществляют данные воздействия, обычно реализуют пять родов работы. Рассмотрим третий из них, так как он служит для глубоких, мягко возбуждающих воздействий, которые применяют при болевых синдромах с явлениями раздражения для предотвращения пароксизмов боли [2].

Данный род работы основан на непрерывном действии серий модулированных колебаний с возможностью выбора частоты и коэффициента модуляции, чередующихся с сериями немодулированных колебаний несущей частоты (рис. 1). Длительность действия модулированных и немодулированных токов в периоде регулируется раздельно в диапазоне от 1 до 6 с.

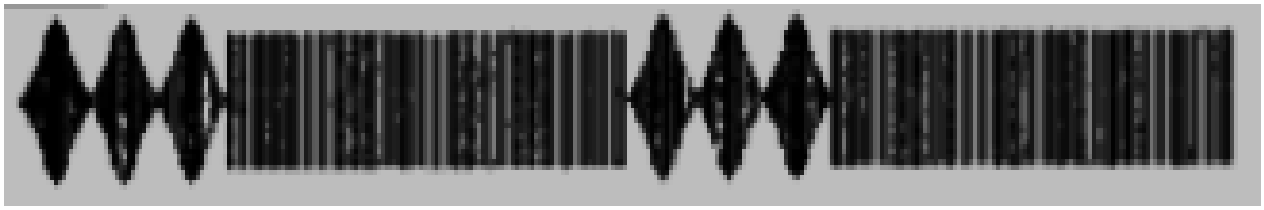


Рис. 1. Третий род работы аппарата терапии СМТ

Четвертый род работы аппаратов – непрерывное воздействие серий модулированных колебаний с возможностью выбора частоты и коэффициента модуляции, чередующихся с сериями модулированных колебаний частотой 150 Гц (рис. 2).

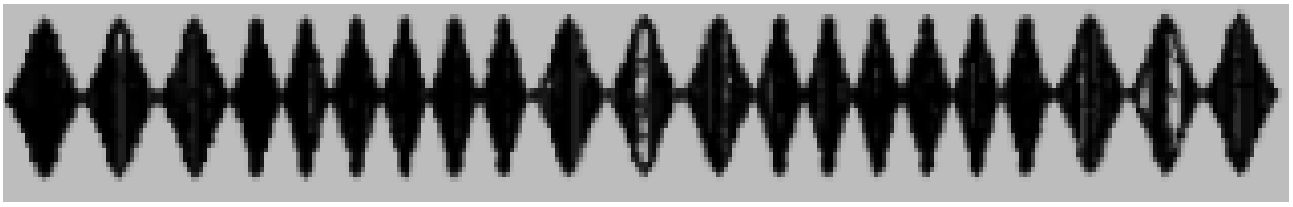


Рис. 2. Четвертый род работы аппарата терапии СМТ

Данный род работы дает наибольший анальгетический эффект, который возрастает при уменьшении разности между частотой 150 Гц и избранной частотой модуляции.

Помимо этого, активизируется сосудодвигательный центр, снимается спазм сосудов, увеличивается артериальный приток и венозный отток крови, что является важным во время тренировочного процесса.

Использование рассмотренных родов работы может оказать положительное влияние на период восстановления спортсменов, снять болевые ощущения и усталость, тем самым повысить работоспособность. В некоторых случаях это может дополнить или заменить фармакологические средства. Применение терапии СМТ также не вызывает аллергических реакций и имеет минимальное количество противопоказаний для спортсменов, что, несомненно, является преимуществом.

Библиографический список

1. Улащик, В. С. Физиотерапия. Универсальная медицинская энциклопедия / В. С. Улащик. – Мн. : Книжный Дом, 2008. – 640 с.

2. Основы физиотерапии и курортологии : учебное пособие / Г. А. Мороз, В. В. Ежов, Н. В. Матвеева и др. – Симферополь : Издат. центр ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского», 2015. – 244 с.

3. Лавринов, А. В. Использование метода воздействия малых токов при разработке терапевтических аппаратов / А. В.Лавринов, В. В. Недосекин, Т. А. Фролова // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы международной научно-практической конференции. Вып. 2. Т. I. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2016. – С. 170 – 174.

ФИЛЬТРАЦИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛОВ ПРИ ПОМОЩИ ДИСКРЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Я. И. Шнякина, А. Р. Аветисян, В. В. Дубровин

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: awetini@gmail.com, scorpio0751@gmail.com)

Очистка сигналов от шумов при помощи вейвлет-преобразования используется для различных типов сигналов, в особенности для тех, которые имеют в своем составе резкие скачки, расположение которых является важной информацией для дальнейшего анализа и обработки, а также для нестационарных сигналов.

Примером такого типа сигнала является ЭКГ, так как она характеризуется набором зубцов, по временным и амплитудным параметрам которых ставится диагноз. Важность фильтрации ЭКГ-сигнала от шумов трудно переоценить [1].

Перспективным видом обработки является вейвлет-преобразование. В силу своей локализованности по частоте и по времени оно позволяет рассматривать только те уровни разложения, которые несут необходимую для диагностики информацию.

Для анализа ЭКГ наиболее применим дискретный метод, так как он ортонормирован, что обеспечивает наиболее точное восстановление сигнала. Набор

вейвлет-функций дает разложение электрокардиосигнала на последовательность коэффициентов. Каждый вейвлет имеет определенную длительность, положение во времени и полосу частот. В результате преобразования коэффициенты отражают составляющие частот ЭКГ-сигнала.

В ходе реализации дискретной обработки сигнала с использованием средств системы MATLAB необходим выбор алгоритма пороговой обработки; параметра, отвечающего за определение пороговой функции; уровня вейвлет-разложения и функций для осуществления прямого и обратного преобразований.

При пороговой обработке одномерного сигнала порог T определяется следующим выражением (1):

$$T = \sigma\sqrt{2\ln(N)}, \tag{1}$$

где σ – среднеквадратическое отклонение шума и N – общее количество отсчетов обрабатываемого сигнала.

При фильтрации исходного ЭКГ-сигнала (рис. 1) наиболее оптимальными являются мягкая пороговая функция, третий уровень разложения и материнский вейвлет Добеши десятого порядка, что было установлено в ходе анализа результатов вычислений. На рисунке 2 приведен сигнал после обработки при помощи дискретного вейвлет-преобразования.

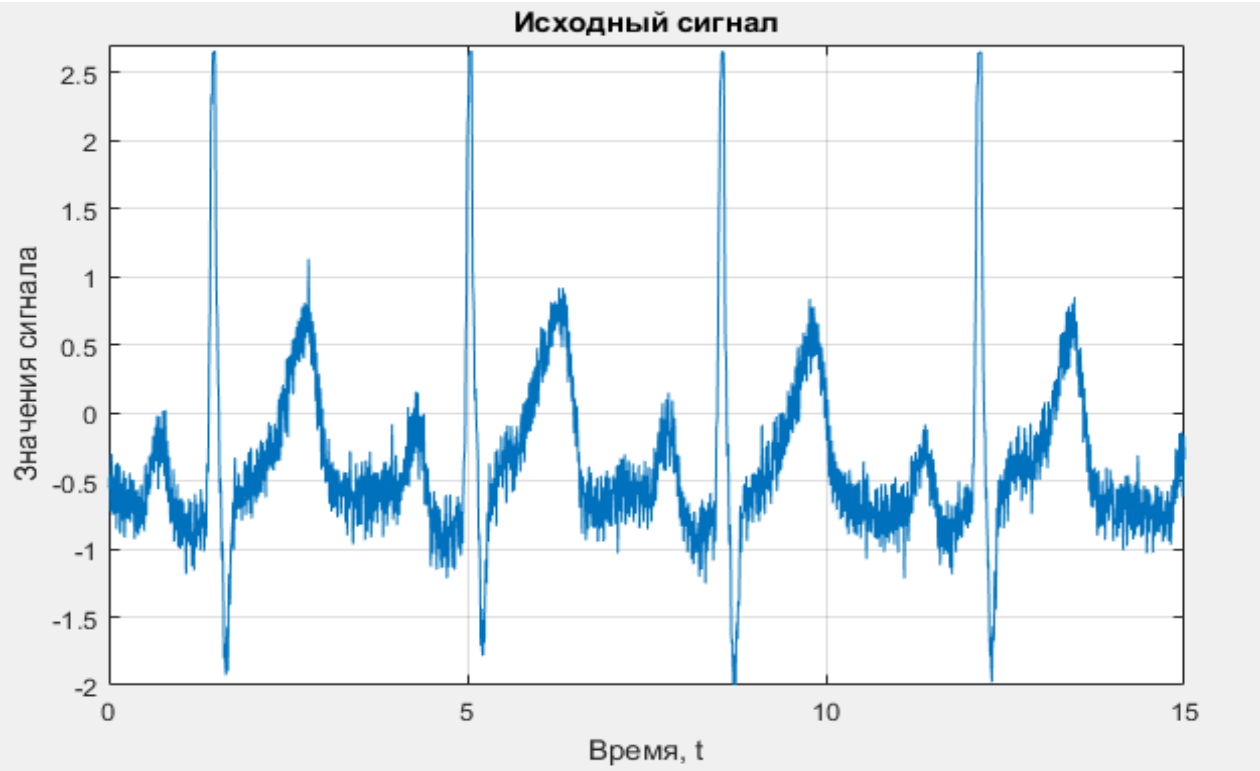


Рис. 1. Исходный сигнал ЭКГ

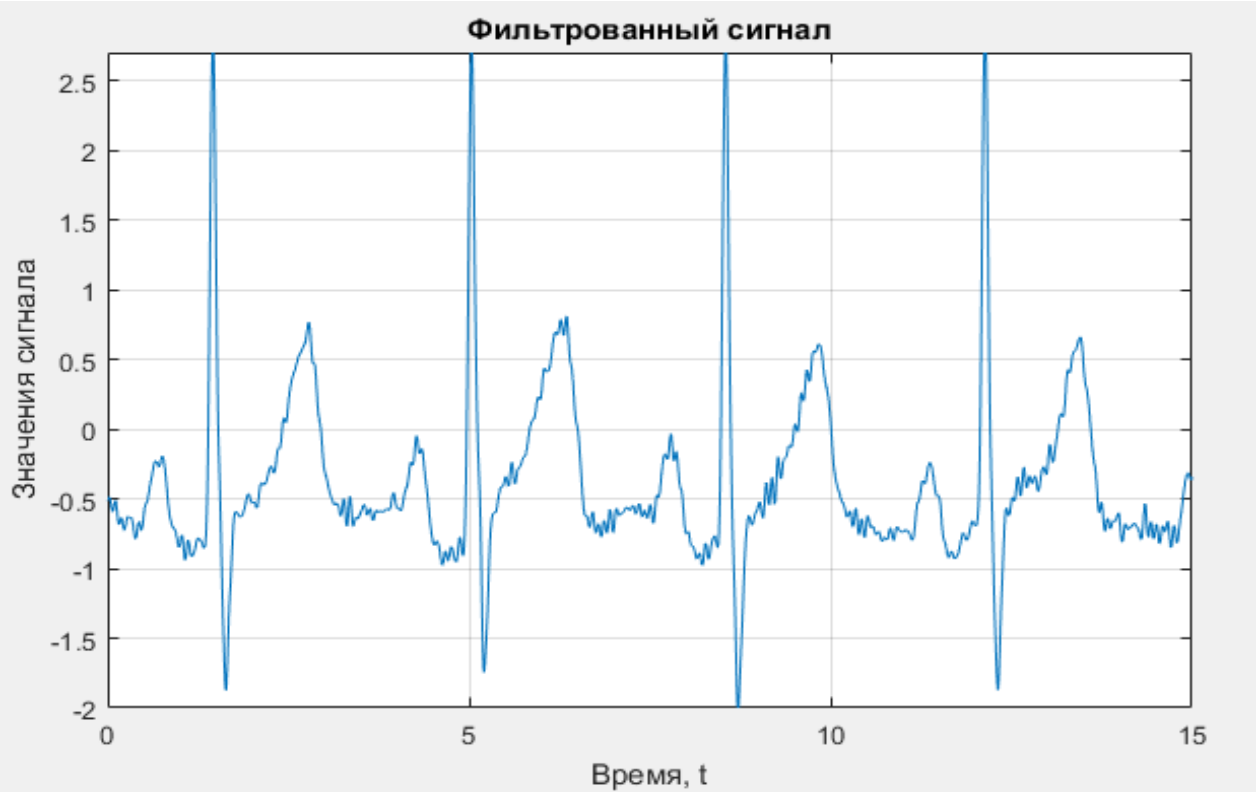


Рис. 2. Фильтрованный сигнал ЭКГ

При сравнении исходного и отфильтрованного сигнала было установлено, что выбранный метод позволяет сохранить компоненты, необходимые для постановки диагноза.

Библиографический список

1. Андрианов, Д. И. Фильтрация и распознавание образов зубцов кардиограммы на базе вейвлет-анализа / Д. И. Андрианов, Н. А. Неверов // Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития : сб. ст. – 2018.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РАДИОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ

Аистов В. С., Алексеев М. В., Данилов С. Н., Маслина В. В. Фильтр с переключением по невязке …….. 3

Алексеев М. В., Аистов В. С., Маслина В. В., Данилов С. Н. Применение фильтра Баттерворта в системе фильтров с переключением по невязке ….. 7

Антоничев Д. Р., Сыщикова Д. А., Москвитин С. П. Разработка и исследование дальномерного канала информационно-измерительной системы управления воздушным движением …….. 11

Антонов Е. А., Раев К. Д. Исследование влияния усилителя мощности передатчика на величину ошибок в канале связи …… 15

Антонов Е. А., Раев К. Д., Данилов С. Н. Оптимизация характеристик нелинейного усилителя передатчика с OFDM-модуляцией …… 20

Балашов А. А., Истомина Т. А., Абрашкин П. А. Метод обнаружения изменения среднего в последовательности гауссовских случайных величин ……. 24

Буробин С. И., Назмутдинов И. С. Методика расчета производственных возможностей войсковых ремонтных органов по восстановлению неисправных средств радиолокационного обеспечения полетов авиации … 26

Буробин С. И., Назмутдинов И. С. Моделирование процесса функционирования ремонтных органов при восстановлении неисправных средств радиолокационного обеспечения полетов авиации …… 29

Бут Д. В., Васильев В. А., Васильев А. В. Оценка эффективности управления ударной авиацией в условиях мобильности целей …….. 32

Глистин В. Н., Панасюк Ю. Н. Влияние информации бортовых датчиков на точность угломерного канала информационно-измерительной системы управления воздушным движением …….. 36

Гуриков Е. В., Головченко Е. В., Доброхотов А. В. Предложения по совершенствованию системы воздушной и наземной связи вертолетной эскадрильи …… 40

Долгов С. Б., Шамкин В. Н. Экологические проблемы очистных сооружений на предприятиях радиоэлектронной промышленности …… 45

Евстафьев П. Д., Малышева А. В., Чепелева А. М., Пудовкин А. П. Исследование воздействия активных помех на РЭС ……... 48

Емельянов А. Н., Кондусов В. А. Контроллер заряда солнечных панелей по алгоритму ТММ с цифровым управлением …… 52

Зубкова А. И., Королева Ю. П., Жалнин В. П. Анализ параметров мемристорных структур, изготовленных из различных материалов ……. 54

Иванков А. А. Анализ условий функционирования радиолокационных измерителей при сопровождении маневренных воздушных целей …… 57

Иванов А. В., Иванов А. А., Лежнева А. Н. Применение методов математической статистики для определения аномальных измерений на выходе аппаратуры приема спутниковой радионавигационной системы …. 61

Каданцев Д. А., Хомутков В. А., Москвитин С. П. Исследование показателей радиотехнической разведки от параметров станции разведки .. 65

Калашников С. Н., Аксенова Т. В. Модуляции сигналов для связи с летательным аппаратом при полупассивном самонаведении ……. 69

Кенжахметов Ж. Е., Рахметов И. А., Печаткин А. В. Разработка функционально-параметрических «цифровых двойников» для учебного проектирования и анализа радиопередающих и радиоприемных устройств 71

Кольтюков Н. А., Фетисов И. Н. Алгоритмическое обеспечение оперативного проектирования систем оптимального энергосберегающего управления ……... 75

Комраков Д. В. Использование лазерных дальномеров в навигационных комплексах для определения координат и параметров движения объектов 79

Кондусов В. В., Кондусов В. А. Зондовая станция для испытания электрических параметров кристаллов диодов и транзисторов ……. 82

Кузьмина Н. В., Савенков И. И. Нейронные сети. Анализ современных аппаратных решений …….. 86

Кулешов И. В., Пудовкин А. П. Контроль соотношения толщин слоев многослойных материалов ……. 90

Маслина В. В., Данилов С. Н., Алексеев М. В., Аистов В. С. Обнаружение разладки случайного процесса ……... 93

Мжельский А. А., Панфилов С. В., Евтеев В. В., Пудовкин А. П. Разработка и исследование математической модели измерителя дальности со случайной структурой автоматизированной системы сопровождения воздушных судов ……. 98

Миловский В. В., Мещеряков В. В. Моделирование широкополосного трансформатора волнового сопротивления …….. 103

Нгуен Д. К., Нгуен В. Ф., Дорохова Т. Ю. Моделирование работы рельсотрона в программном пакете SIMULINK …….. 105

Першин А. А., Головченко Е. В. Требования к системе связи авиационного формирования военно-транспортной авиации на современном этапе …….. 108

Першин А. А., Дьяченко В. А. Система связи авиационного формирования военно-транспортной авиации и оценка ее пропускной способности в условиях радиоэлектронного противодействия …… 110

Печенкин А. Ю., Гаврилов А. В. Разработка устройства сопровождения объектов на базе искусственной нейронной сети …… 112

Раев К. Д., Антонов Е. А. Исследование зависимости величины ошибки от параметров нелинейного усилителя передатчика …….. 114

Самсонов М. В., Богословский Е. А. Летная проверка радиотехнических средств с применением комплекса с беспилотным летательным аппаратом 119

Сарычев Р. А., Сторожев Д. А., Панасюк Ю. Н. Обоснование выбора метода синтеза алгоритмов фильтрации дальномерного канала …… 123

Свиридов М. П., Самохин А. С., Кондусов В. А. Микроконтроллерное управление освещением ……. 127

Сизов М. В., Некрылов И. А., Москвитин С. П. Исследование показателей качества селекции движущихся целей радиоэлектронных средств ……... 129

Сустин А. И., Пудовкин А. П. Оценка параметров движения воздушного судна в информационно-измерительных системах управления воздушным движением с применением третичной обработки информации ……. 134

Татаринов А. Н., Данилин М. А. Рекомендации по совершенствованию подсистемы наземной связи авиационного формирования военно-транспортной авиации …… 137

Терехов В. В., Жалнин Д. О., Панасюк Ю. Н. Анализ методов адаптивной фильтрации в автоматизированных системах управления воздушным движением …… 140

Хвостов А. В., Макаров О. Ю. Моделирование и анализ тепловых процессов в конструкциях РЭС аналитическими и численными методами 144

Ходырева Н. Е., Кондусов В. А. Анализ электромагнитной совместимости РЭС …… 148

Хребтов А. Р., Данилов С. Н. Модель функционирования комплекса управления и оценки координат подвижных объектов ……... 151

Секция 2

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ, ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ И СВЯЗИ

Баев К. С., Афанасьев А. Д. Инфокоммуникационная сеть формирования противовоздушной обороны …….. 155

Баев К. С., Дьяченко В. А. Построение инфокоммуникационной сети формирования противовоздушной обороны на основе неоднородной тороидальной структуры ……. 157

Бардин Д. А., Хабибуллин Р. Д. Опыт использования САПР VLSI Electric Design System в учебном процессе …… 160

Бесшапошникова А. П., Клочков К. А., Печаткин А. В. Имитационное моделирование элементов и узлов программно-определяемых радиосистем на переключаемых конденсаторах …… 162

Ващенко С. С., Тюрин И. В., Помещиков В. В. Применение геоинформационных систем для создания интерактивных карт распределения интенсивности солнечной радиации …… 166

Гоберкорн Л. Б., Чернышов Н. Г., Гурин Д. С., Шибирина И. О. Область применения концепции TMN в управлении телекоммуникационными сетями …… 170

Гурин Д. С., Шибирина И. О., Гоберкорн Л. Б. Автоматизация систем оплаты в транспортной логистике ……. 174

Дорохова Т. Ю., Толстых С. В. Режимы функционирования канала связи с летательным аппаратом при полупассивном самонаведении …… 177

Ермолаева О. Н., Дорохова Т. Ю. Цифровые системы автоматического регулирования и контроля двигателей …….. 179

З*алукаева Н. Ю., Грибков А. Н.* Модель реляционной базы данных информационно-управляющей системы процессом транспортировки биотоплива …… 181

З*ебрева М. М., Зырянов Ю. Т.* Основные принципы повышения надежности систем связи …… 184

Иванков А. А. Спектральный анализ маневров воздушной цели …… 186

Казьмин А. И., Федюнин П. А., Рябов Д. А. Экспериментальная оценка электрофизических и геометрических параметров метаматериалов на основе прямоугольных SRR-элементов …… 190

Казьмин А. И. Метод определения электрофизических и геометрических параметров метаматериалов на основе SRR-элементов …….. 193

Кайдаш Е. П. Повышение эффективности управления войсками (силами) при использовании информационно-телекоммуникационных технологий .. 196

Караваев Д. А., Тришаков А. А., Помещиков В. В., Тетюхин В. И. Особенности применения двухзеркальных офсетных антенн для систем спутниковой мобильной связи ……... 200

Кирюпин М. М., Белоусов О. А., Тришаков А. А. Применение гибридных высокоэффективных алгоритмов управления устройством диаграммообразования антенных SMART-систем для подавления беспилотных летательных аппаратов …… 203

Кудряшов М. А., Белоусов О. А., Тетюхин В. И., Козадаев Р. О. Применение методов построения излучателей на основе замедляющих структур для использования в составе радиолокационных аэрологических станций ……. 206

Куприянов А. В., Скоморохов К. В. Применение цифровых технологий при проектировании измерительного канала интеллектуальной информационно-измерительной системы …… 209

Майоров М. А., Махфуз О. М., Аливаиви М. Д. Искажения, вносимые периодической структурой проводников …….. 212

Каменская М. А., Обианг Мосого Синдулфо Акасио Абага, Фразау Эдсон Шита. Методы машинного обучения для оценки показателей качества прогнозирования метрологической надежности информационно-измерительных систем …….. 217

Ожогина Л. С. Двухзеркальная ненаклонная ТПА типа Кассегрена …… 219

Помещиков В. В., Тюрин И. В., Караваев Д. А., Тришаков А. А. Электронный тренажер-программатор ……. 222

Путятин Д. М., Караваев Д. А., Тришаков А. А., Тетюхин В. И. Разработка делителя мощности цифровой антенной решетки для сетей беспроводного широкополосного радиодоступа пятого поколения …… 225

Селиванова З. М., Скоморохов К. В., Куприянов А. В. Неразрушающий контроль теплопроводности применяемых материалов в радиоэлектронной промышленности ……. 229

Юрченко С. П., Камнев Д. А. Анализ качества информационного обмена на основе системы массового обслуживания …… 233

Сивков Р. С., Чернышов Н. Г. Системы мониторинга и управления оборудованием точек доступа в рамках проекта «Устранение цифрового неравенства» (УЦН) …… 236

Скоморохов К. В., Караваев Д. А. MIMO-антенные структуры для систем широкополосного доступа на основе дискового микрополоскового излучателя в милиметровом диапазоне частот …… 239

Скорик А. С., Рябов А. В. Сеть радиосвязи с адаптивным управлением временем излучения передатчиков …… 243

Тетюхин В. И., Кудряшов М. А., Тришаков А. А., Караваев Д. А. Синтез ребристо-стержневого излучателя для систем высокоскоростной беспроводной передачи данных в E-диапазоне …… 248

Тришаков А. А., Караваев Д. А., Тетюхин В. И. Особенности применения ультраширокополосных излучателей в системах радиосвязи …… 252

Стафеев М. А., Федюченко В. С. Повышение управляемости системы связи и радиотехнического обеспечения авиационного формирования …… 255

Хорошайлова М. В., Чернышов А. В., Леденев Д. А. Методика разработки программно-аппаратных средств фильтрации данных в задачах управления и мониторинга ……. 259

Чернышова Т. И., Курносов Р. Ю. Оценка метрологической надежности блока аналого-цифрового преобразования с учетом постановки задачи проектирования …… 261

Шепелев Н. И., Тюрин И. В., Помещиков В. В. Моделирование и синтез асинхронных потенциальных RS-триггеров …… 264

Шибирина И. О., Гурин Д. С., Гоберкорн Л. Б., Чернышов А. Г. Задачи диагностики промышленных многопараметрических объектов …… 269

Секция 3

ПРОБЛЕМЫ БИОТЕХНИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

Аветисян А. Р., Шнякина Я. И. Перспективы применения аппаратов для электросонтерапии …… 274

Аль-Джабуби Б. З. Формирование технического задания для повышения контроля качества закупок ультразвуковых аппаратов ……... 277

Венцерова Н. В., Тымчук Т. М. Информационная модель позитронно-эмиссионного томографа для нужд контрактной службы при лечебно-профилактических учреждениях …… 281

Гончарова Т. К., Попов И. А., Родина Е. Н. Система визуализации подкожных вен в инфракрасном диапазоне спектра излучения ……. 284

Дудина Е. А. Актуальные направления превентивной медицины. Современные тенденции в аппаратах физиотерапии ……... 288

Дьячкова Е. С., Данилов А. А. Изучение концепции и оценка безопасности беспроводной передачи энергии в операционной комнате ……. 291

Забанов Д. С., Кривина Е. В., Сафронов Р. И. Многомодальная система персонифицированной диагностики и терапии предстательной железы ….. 295

Карак И. А. Разработка метода допплерографии кровеносных сосудов мягких биологических тканей …… 299

Карак И. А. Создание информационной модели ультразвукового аппарата на языке UML для упрощения составления технического задания контрактной службой ЛПУ …… 301

Корнеева И. П. Система удаленного мониторинга состояния здоровья беременной женщины ……. 303

Кочетов Д. И., Арышева Г. В. Прибор для диагностики онкологических заболеваний кожи на основе регистрации спектра автофлуоресценции и спекл-контрастной визуализации кожи ……. 306

Крамарь К. А., Семенова Е. А. Обобщенный алгоритм работы автоматизированного опросника для удаленного мониторинга состояния здоровья беременной женщины …….. 309

Кузьмина А. Ю. Разработка информационной модели компьютерного томографа в среде UML ……. 312

Лычагина В. О. Тенденции развития аппаратной косметологии. Использование лазеров в аппаратной косметологии ……... 314

Медников Д. А., Протасова З. У., Шаталова О. В. Классификация риска ишемической болезни сердца в сегментированном пространстве факторов риска с учетом синергетического эффекта …….. 318

Милютин А. В. Оптимизация информационной модели дефибриллятора для помощи принятия решения в выборе оптимального аппарата …… 322

Мирошников А. В., Стадниченко Н. С., Шаталова О. В. Алгоритм построения модели биоимпеданса при многочастотном зондировании …… 324

Мяснянкин М. Б., Серебровский А. В., Филист С. А. Классификация функционального состояния системы дыхания на основе анализа вейвлет-спектра электрокардиосигнала …… 328

Наумова А. А., Бахтин Н. А. Вербально-командный способ построения нейроинтерфейса ……. 332

Попов И. А., Строев В. М., Родина Е. Н., Гончарова Т. К. Способ диагностики воспалительных заболеваний суставов и устройство для его реализации …….. 336

Родина Е. Н., Гончарова Т. К., Попов И. А. Повышение точности измерения при оказании первой помощи раненому …… 340

Родионова И. Э. Перспективы внедрения голосовых помощников в медицинскую практику …… 343

Севодина А. Н., Фролова Т. А. Оснащение клинико-диагностической лаборатории центра превентивной медицины ……. 346

Судаков Д. Е., Савинова К. С. Использование искусственной нейронной сети для обработки сигнала электроэнцефалографа …… 350

Судариков И. С., Миндубаев Э. А. Влияние топологии LC-контуров в составе систем чрескожной передачи энергии на выходные характеристики …… 353

Трифонов А. А., Кузьмин А. А., Павленко А. В. Беспроводная система регистрации сигналов электромиограммы для биотехнических систем реабилитационного типа …… 356

Трушин Д. И. Гематологические анализаторы …… 361

Тымчук Т. М., Венцерова Н. В. Структурирование технических характеристик компьютерных томографов для нужд лечебно-профилактических учреждений …… 365

Филатов М. В. Подбор оптимальных параметров электроэнцефалографа для нужд лечебно-профилактических учреждений …… 368

Чапа Л. Ямеги. Унифицированная модель технического задания на закупку операционных столов …….. 370

Чемерев И. Д., Миндубаев Э. А. Программа для численного моделирования обратной связи в системе индуктивной чрескожной передачи энергии …… 374

Черешнев В. О. Информационное моделирование аппаратов электрокардиографии будущего …… 379

Шнякина Я. И., Аветисян А. Р., Ильин Г. П. Модель визуализации силовых линий магнитного поля МР-томографа …… 384

Шнякина Я. И., Аветисян А. Р. Перспектива использования аппарата терапии синусоидальными модулированными токами в спортивной медицине …….. 386

Шнякина Я. И., Аветисян А. Р., Дубровин В. В. Фильтрация электрокардиосигналов при помощи дискретного вейвлет-преобразования …… 388

Научное электронное издание

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

ШЕСТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ МОЛОДЕЖНАЯ
НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ,
ПОСВЯЩЕННАЯ ДНЮ РАДИО И СВЯЗИ

Сборник трудов

Редакторы Л. В. Комбарова, И. В. Калистратова, Е. С. Мордасова
Инженеры по компьютерному макетированию Т. Ю. Зотова, И. В. Евсеева

ISBN 978-5-8265-2360-5

9 785826 523605

Подписано к использованию 02.07.2021.
Тираж 100 шт. Заказ № 83

Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14
Тел. 8(4752) 63-81-08.
E-mail: izdatelstvo@tstu.ru