

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности «6D071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации»

Витулёва Елизавета Сергеевна

Тема диссертационного исследования:

«Постиндустриальная парадигма развития инфокоммуникационного сегмента оборонно-промышленного комплекса РК».

Цель диссертационного исследования:

Создание теоретических основ формирования новой парадигмы развития инфокоммуникационного сегмента ОПК РК, базирующихся на новом подходе к формированию и управлению группами беспилотных аппаратов, в том числе, построенном на использовании многозначной логики и устранении диспропорцией между развитием наземных и летательных беспилотных аппаратов.

Задачи исследования:

- Показать, что в силу все более широкого применения роботизированных вооружений различных типов непосредственно вблизи линии боевого соприкосновения требуется создание новых подходов к защите информации, предназначенных для использования в зоне прямой радиовидимости, и позволяющих отказаться от использования методов криптографии, а также разработать теоретическую основу таких методов.

- Показать, что в силу резкого возрастания численности беспилотных аппаратов, применяемых в боестолкновениях, требуется разработать новые подходы к управлению группами беспилотных аппаратов, а также создать теоретические основы таких подходов с использованием многозначной логики.

- Разработать новые методы, обеспечивающие применение многозначной логики в прикладных целях, в частности, для совершенствования алгоритмов функционирования бортовых вычислительных систем беспилотных аппаратов, действующих в составе группы, в том числе, основанные на установлении соответствия между операциями многозначной логики и операциями в полях Галуа.

- Показать, что для повышения эффективности использования роботизированных вооружений требуется устранить диспропорции в развитии летательных и наземных беспилотных аппаратов, а также разработать конструкцию наземного беспилотного аппарата конкретного назначения (минный тральщик).

Методы исследования:

Использованы методы абстрактной алгебры, в частности, теория полей Галуа, теории распространения волн, подчиняющихся уравнению

Гельмгольца, методы проектирования движущихся аппаратов, методы построения и проверки работоспособности электронных схем на основе логических элементов

Основные положения, выносимые на защиту:

Использование дискретного аналога принципа Гюйгенса-Френеля позволяет сформулировать и доказать обобщение теоремы Найквиста-Шеннона-Котельникова, которая создает теоретическую основу для разработки нового подхода к защите информации в зоне прямой радиовидимости, ориентированную на идентификацию местоположения источника сигнала, и позволяющую отказаться от использования криптографических методов.

Приведение операций многозначной логики к вычислениям в полях Галуа, осуществляемое при помощи алгебраической дельта-функции, создает теоретическую основу для управления группами беспилотных летательных аппаратов за счет использования бортовых вычислительных систем, построенных на основе многозначной логики.

Учет специфики конкретного поля Галуа позволяет существенно упростить алгоритмы функционирования бортовых вычислительных систем беспилотных аппаратов, в том числе, предназначенных для использования в составе группы, и построенных на основе многозначной логики, в особенности, использующих вычисление цифровых сверток.

Устранение диспропорций между развитием летательных и наземных беспилотных аппаратов достигается, в том числе, через внедрение одноосных беспилотных аппаратов, управляемых по радиоканалу, и способных продолжать движение при падении в любое положение.

Основные результаты исследования:

Разработан новый подход к защите информации в зоне прямой радиовидимости, основанный на фиксации положения точки, в которой расположен источник сигнала, и дано его обоснование на основе дискретного аналога принципа Гюйгенса-Френеля и обобщения теоремы Найквиста-Шеннона-Котельникова.

Разработан новый метод приведений операций многозначной логики к вычислениям в полях Галуа, продемонстрирована его конструктивность на конкретных примерах и показано, что он составляет теоретическую основу нового подхода к управлению группами беспилотных аппаратов.

Разработаны алгоритмы базовых блоков бортовых вычислительных систем беспилотных аппаратов, реализующих вычисления в полях Галуа, в том числе, за счет применения операции цифрового логарифмирования, цифровой свертки, а также использования схемы триггерного сумматора, которая является применимой для любых полей Галуа $GF(p)$.

Разработана конструкция одноосного беспилотного аппарата (минного тральщика, предназначенного для обезвреживания мин типа «Лепесток»), имеющего форму эллипсоида, управляемого по радиоканалу, и способного продолжать выполнение задачи при падении в любое положение, проведены

испытания, доказывающие достижение следующих характеристик: скорость – не менее 40 км/ч, скорость оборота вокруг вертикальной оси на 360° – не более 1,5 сек, скорость восстановления положения для продолжения движения при падении – не более 25 сек.

Обоснование новизны и важности полученных результатов, соответствие направлениям развития науки или государственным программам:

Качественные трансформации характера боестолкновений, обусловленные массовым использованием роботизированных вооружений, выражаются, прежде всего, в возрастающей роли радиоэлектронной борьбы, а также систем, обеспечивающих групповое управление беспилотными аппаратами. Отсюда вытекает необходимость разработки новых подходов как к защите информации при передаче в зоне прямой радиовидимости (обмен информацией между аппаратами, составляющими группу и т.д.), так и к управлению группами (роями), предусматривающих их максимальную автономность. Эти факторы дополняются экономическими соображениями, выражающимися в целесообразности максимального снижения стоимости физических компонент групп беспилотных аппаратов с переносом центра тяжести на интеллектуальную составляющую, что предусматривает, в том числе, устранение диспропорций между развитием наземных и летательных беспилотных аппаратов.

Системное решение данной совокупности проблем де-факто выливается в создание новой парадигмы развития инфокоммуникационного сегмента ОПК РК, так как существенная модернизация алгоритмов управления беспилотными аппаратами, а также трансформации базовой концепции РЭБ не могут не привести к качественным изменениям принципов действия бортовых вычислительных систем, а далее – их конструкции и т.д.

В данной работе впервые развит новый подход к защите информации в зоне прямой радиовидимости, основанный на идентификации координат точки, в которой расположен источник сигнала [1,2]. Новизна данного подхода гарантируется тем, что впервые сформулировано и доказано обобщение теоремы Найквиста-Шеннона-Котельникова [3], которая позволяет, в том числе, привести описание произвольного преобразователя волны к тензорной форме [4].

Новым является также разработанный подход к управлению группами беспилотных аппаратов, основанный на многозначной логике, связь которого с предлагаемым подходом к обеспечению защиты информации в зоне прямой радиовидимости отражена в [5]. Метод, позволяющий привести операции многозначной логики к вычислениям в полях Галуа [6], предлагается впервые. В том числе, впервые даются доказательства важности учета специфики конкретного поля Галуа при использовании данного метода [7,8].

Новым является метод реализации вычислений в полях Галуа посредством радиоэлектронных схем [9]. Впервые предложено реализовать вычисления при помощи триггерных сумматоров [10]. Впервые показано, что

такого рода вычислительные процедуры существенно упрощают вычисления цифровых сверток [11]. Впервые также показано, что существует алгоритм цифрового логарифмирования в сравнительно больших полях Галуа, учитывающий их конкретную специфику, и позволяющий, в том числе, существенно повысить эффективность вычисления цифровых сверток [12], существует возможность дальнейшего совершенствования данного подхода за счет вычислений при помощи конечных алгебраических колец [13,14].

Впервые разработана конструкция одноосного беспилотного аппарата (минного тральщика, предназначенного для обезвреживания мин типа «Лепесток»), новизна подтверждается патентом [15], данная конструкция допускает дальнейшую модернизацию, в частности, на ее базе может быть реализован беспилотный аппарат, предназначенный для противодействия массовым беспорядкам [16].

Исследования выполнялись в соответствии с утвержденным планом исследований, МНВО РК и в рамках научных проектов AP14870281 «Разработка новых подходов к цифровой обработке изображений с использованием сверточных нейронных сетей» (2022-2024), AP14870416 «Разработка новых подходов к решению философских проблем многозначной логики как средства установления закономерностей мышления» (2022-2024), «Жас ғалым» AP15473224 «Разработка новых подходов к построению теории научных революций» (2022-2024).

Вклад докторанта в подготовку каждой публикации и патента:

1. Ermukhambetova B.B., Mun G.A., Kabdushev S.B., Kadyrzhan A.B., Kaisarali K.K., **Vitulyova Y.S.**, Suleimenov I.E. New approaches to the development of information security systems for unmanned vehicles. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. – 2023. – 31(2). – P. 810-819. <http://doi.org/10.11591/ijeecs.v31.i2.pp810-819>. (Вклад автора – разработка алгоритма функционирования базовой электронной схемы).

2. **Vitulyova Y.**, Kadyrzhan K., Kadyrzhan A., Suleimenov I. Application of focusing systems to the protection of information during data transmission in the zone of direct radio visibility. International Journal of Electronics and Telecommunications. – 2024. – vol. 70, № 3. – P. 699-705. <http://doi.org/10.24425/ijet.2024.149599>. (Вклад автора – разработка алгоритма функционирования базовой электронной схемы).

3. **Vitulyova Y.S.**, Suleimenov I.E., Matrassulova D.K., Bakirov A.S. Discrete form of the Huygens-Fresnel principle: to the multi-dimensional analog of the Nyquist–Shannon sampling theorem. International Journal of Information Technology (Singapore). – 2023. – № 15(7). – P. 3751-3759. <https://doi.org/10.1007/s41870-023-01423-3>. (Вклад автора – выполнение аналитических выкладок для базового двумерного случая).

4. **Vitulyova Y.**, Kadyrzhan K., Kadyrzhan A., Shaltykova D., Suleimenov I. Reducing the description of arbitrary wave field converters to tensor form. International Journal of Information Technology. – 2024.

<https://doi.org/10.1007/s41870-024-01863-5>. (Вклад автора – доказательство использования методики в радиоголографии).

5. **Vitulyova Ye.S.**, Mun G.A., Suleimenov I.E. Justification of the need for substantial modernization of the info-communication segment of the defense-industrial complex of the Republic of Kazakhstan. Известия НТО «КАХАК». –2024. – № 1 (81). – P. 60-73. (Вклад автора – критический анализ имеющихся открытых источников информации).

6. Suleimenov I.E., **Vitulyova Y.S.**, Kabdushev S.B., Bakirov A.S. Improving the efficiency of using multivalued logic tools. Scientific Reports. – 2023. – № 13(1). – P. 1108. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-28272-1>. (Вклад автора – подготовка материала, сбор и анализ данных). **Статья соответствует п. 5-1 Правил присуждения степеней.**

7. Suleimenov I.E., **Vitulyova Y.S.**, Matrassulova D.K. Features of digital signal processing algorithms using Galois fields GF (2^n+1). Plos one. – 2023. – 18(10). – P. e0293294. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0293294>. (Вклад автора – формальный анализ, написание - проверка и редактирование). **Статья соответствует п. 5-1 Правил присуждения степеней.**

8. **Vitulyova Y.S.**, Bakirov A.S., Suleimenov I.E. Galois Fields for Digital Image and Signal Processing: Evidence for the Importance of Field Specificity. In 2022 5th International Conference on Pattern Recognition and Artificial Intelligence (PRAI). – 2022. – P. 637-642. <https://doi.org/10.1109/PRAI55851.2022.9904074>. (Вклад автора – применение методики к конкретному полю Галуа).

9. Пат. 36266. Способ и устройство для умножения по модулю семь /Сулейменов И.Э., Мун Г. А., Кабдушев Ш.Б., Байпакбаева С.Т., **Витулёва Е.С.**, Бакиров А.С.; опубл. 16.06.2023. (Вклад автора – доказательство патентоспособности предложенного подхода).

10. Пат. 36236. Сумматор по модулю 2^2-1 /Мун Г.А., Байпакбаева С.Т., Қадыржан Қ.Н., Кабдушев Ш.Б., **Витулёва Е.С.**, Коньшин С.В., Сулейменов И.Э.; опубл. 26.05.2023. (Вклад автора – доказательство патентоспособности предложенного подхода, проведение аналитических выкладок).

11. Bakirov A., Matrassulova D., **Vitulyova Ye.**, Shaltykova D., Suleimenov I. The specifics of the Galois field GF(257) and its use for digital signal processing. Scientific Reports. – 2024. – Vol. 14. – P. 15376. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-66332-2>. (Вклад автора – методология, формальный анализ, ресурсы, курирование данных, написание - проверка и редактирование, контроль, администрирование проекта). **Статья соответствует п. 5-1 Правил присуждения степеней.**

12. Suleimenov I., Kadyrzhan A., Matrassulova D., **Vitulyova Y.** Peculiarities of Applying Partial Convolutions to the Computation of Reduced Numerical Convolutions. Applied Sciences (Switzerland). – 2024. – № 14(14). – P. 2076-3417. <https://doi.org/10.3390/app14146388>. (Вклад автора – концептуализация, проверка, ресурсы, обработка данных, написание – проверка и редактирование, руководство, администрирование проекта,

получение финансирования). **Статья соответствует п. 5-1 Правил присуждения степеней.**

13. **Vitulyova E.S.**, Matrassulova D.K., Suleimenov I.E. Construction of Generalized Rademacher Functions in Terms of Ternary Logic: Solving the Problem of Visibility of Using Galois Fields for Digital Signal Processing. International Journal of Electronics and Telecommunications. – 2022. – vol. 68, № 2. – P. 237-244. <https://doi.org/10.24425/ijet.2022.139873>. (Вклад автора – применение методики к конкретному полю Галуа).

14. Matrassulova D.K., **Vitulyova Y.S.**, Konshin S.V., Suleimenov I.E. Algebraic fields and rings as a digital signal processing tool. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. – 2023. – № 29(1). – P. 206-216. <http://doi.org/10.11591/ijeecs.v29.i1.pp206-216>. (Вклад автора – применение методики к расширению алгебраических колец с использованием приводимых уравнений).

15. Пат. 36667. Робот для разминирования /Мун Г.А., Байпакбаева С.Т., Кабдушев Ш.Б., Қадыржан Қ.Н., **Витулёва Е.С.**, Сулейменов И.Э.; опубл. 29.03.2024. (Вклад автора – базовая идея о применении одноосного аппарата для разминирования мин типа «Лепесток»).

16. Пат. 9303. Робот для противодействия массовым беспорядкам /Мун Г.А., Байпакбаева С.Т., Кабдушев Ш.Б., Қадыржан Қ.Н., Қадыржан А.Б., **Витулёва Е.С.**, Сулейменов И.Э.; опубл. 28.06.2024. (Вклад автора – базовая идея о применении одноосного аппарата для противодействия массовым беспорядкам).

Диссертационная работа представлена в форме серии статей, опубликованных докторантом.