

ӘСКЕРИ ІС  
MILITARY SCIENCE  
ВОЕННОЕ ДЕЛО

УДК 629.7.05

DOI 10.52167/1609-1817-2024-132-3-589-599

К.М. Мырзабеков<sup>✉</sup>, М.С.Ибраим, К.А. Алипбаев, Е.С. Нұрғизат, Ф.Б. Ораз  
Energo University, Алматы, Казахстан  
E-mail: k.myrzabekov@aes.kz

РАЗРАБОТКА БОРТОВОГО КОМПЛЕКСА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО  
УПРАВЛЕНИЯ РЕАКТИВНЫХ СНАРЯДОВ НА БАЗЕ ПРОГРАММНО-  
КОНФИГУРИРУЕМЫХ ПЛИС

**Аннотация.** В условиях современной глобализации, усиление влияния транснациональных компаний и роста терроризма и экстремизма безопасность государства, прежде всего, зависит от безопасности его границ и боеспособности его вооруженных сил. Технология таких разработок во всем мире является секретной без права передачи третьим странам. В статье рассматривается вопрос разработки высокоточной системы управления и навигации для реактивных снарядов с криптографической защитой данных и использованием программно-конфигурируемых ПЛИС на основе интеллектуального анализа данных инерционной, магнитных и спутниковой систем.

**Ключевые слова.** ПЛИС, БКУ, ракетные снаряды, бортовая система, летательный аппарат, контроллер, датчик, привод.

**Введение.**

Бортовая система управления является наиболее важной подсистемой летательного аппарата. От ее работы зависит работа всех остальных подсистем и качество выполнения работ, в том числе и полезной нагрузки. В связи с этим разработке бортовой системы управления летательных аппаратов уделяется большое внимание. При этом создаются различные имитационные модели, экспериментальные и опытные образцы, при помощи которых многократно тестируются программно-математический аппарат, функциональность и работоспособность бортового комплекса управления (БКУ), проводится обработка режимов ее работы и т.д. с целью максимального уменьшения риска отказа системы в полетных условиях. Следовательно, разработка экспериментального образца БКУ и его программно-математического обеспечения является актуальной задачей.

Ракетные снаряды — это беспилотные летательные аппараты, которые запускаются в атмосферу или космос для выполнения различных задач, таких как разведка, научные исследования или оборонное применение. Бортовая система управления, основанная на контроллере FPGA (Field-Programmable Gate Array), необходима для успешной эксплуатации ракетных снарядов. В этой статье будет рассмотрена архитектура бортовой системы управления на базе ПЛИС-контроллера для управления ракетным снарядом.

В ходе управления ракетой, под воздействием внутренних технических и внешних физических факторов, реальная траектория полета ракеты постепенно отклоняется от заданной. Ошибки, накапливаемые во время полета, приводят к отклонению ракеты от заданной цели на определенное расстояние. Вследствие этого на практике траектория полета ракеты периодически модифицируется.

Регулировка траектории осуществляется бортовым компьютером на основе информации, получаемой от дополнительных оптических и радиоэлектронных датчиков, таких как радиолокационный радар, приемник GPS, радиолокатор и лазерный детектор. С экономической точки зрения, чрезвычайно эффективно повышение точности имеющихся реактивных снарядов (РС) путем их оснащения интеллектуальными модулями управления с аппаратурой спутниковой навигации ГЛОНАСС/GPS. Установка модулей управления осуществляется без модификации реактивных снарядов. Погрешности при стрельбе могут быть уменьшены с значений в сотнях метров до 5-7 метров, расход боеприпасов при поражении небольших целей может быть снижен в десятки раз. Для каждого снаряда возможно определение координат собственной цели. Повреждения окружающей инфраструктуры при применении снарядов с модулем управления незначительны. Небольшое предварительное время и необходимость осуществления значительно меньшего числа запусков ракет в несколько раз сокращает время пребывания на огневой позиции, увеличивает устойчивость и делает контрбатарейную борьбу противника не малоэффективной [1].

Стрельба по заранее неизвестным трассам, внедрение двигателей на твердом топливе с нерегулируемой тягой, переход к многоэлементной боевой нагрузке, неблагоприятные характеристики ракетных снарядов как объекта управления заставили разработчиков СУ синтезировать более совершенные алгоритмы управления для минимизации погрешности расчета и отработки прогнозируемого промаха в полете ракеты. Требования по точности стрельбы для всех ракетных комплексов задавались на уровне максимально возможных для соответствующего этапа развития отечественной науки и техники, в результате чего при разработках СУ за последние 20 лет точность стрельбы потребовалось улучшать более чем на порядок. Жесткие ограничения по габаритам и массе аппаратуры СУ, высокие требования по надежности, отсутствие доступа к бортовой аппаратуре за время эксплуатации потребовали развития новых оригинальных методов и технологии изготовления бортовых приборов СУ . [2].

#### *Анализ исследований.*

На сегодняшний день по миру проводится много исследований и разработка по теме управляемых снарядов. Множество из них можно классифицировать по нескольким направлениям:

- 1) Радиолокационная.
- 2) Тепловая.
- 3) Телевизионная.
- 4) Лазерная.

Представителями некоторых из них являются следующие патенты.

В патенте [3] RU2756170C1 описываются следующее: это изобретение применимо в авиационной технике и связано с оптико-электронной многоканальной головкой самонаведения (ГСН). Внутри корпуса ГСН расположены телевизионный (ТВ) и тепловизионный (ТПВ) каналы, оснащенные матричными фотоприемными устройствами и объективами. Также включает модуль электронной обработки изображений и координатор в форме лазерного индикатора-координатора с объективом. Модуль обработки изображений способен распознавать как стационарные цели, сравнивая их контурные и текстурные характеристики, так и малые цели, анализируя вектор признаков цели, полученный в оптическом и инфракрасном диапазонах. Он также способен отслеживать цель. Координатор обеспечивает самонаведение на лазерный маркер, визирные оси ТВ, ТПВ каналов и лазерного индикатора-координатора настроены на бесконечность, а модуль обработки изображений, получаемых от ТВ и ТПВ приемных устройств, дополнительно способен отслеживать цель по лазерному маркеру. Техническое

преимущество этого изобретения заключается в повышении надежности работы ГСН и упрощении процесса ее производства.

В патенте [4] US6003810А описываются следующее: это изобретение относится к головке самонаведения ИК действия для точного направления летящего тела к цели. Головка включает систему обнаружения цели, которая состоит из системы для идентификации световых вспышек от цели и системы определения местоположения цели. Последняя содержит фоточувствительный детектор с матрицей фоточувствительных датчиков и средство фокусировки, проецирующее изображение сцены на матрицу детектора. Благодаря использованию такого детектора, его можно закрепить неподвижно на летающем объекте, что упрощает конструкцию. В одном из вариантов детектор представляет собой матричный детектор типа с зарядовой связью. В другом варианте система идентификации светящихся вспышек также использует этот детектор, а датчики детектора оснащены фоточувствительными диодами для преобразования световой энергии в электрический сигнал. Это позволяет создать простую, точную и недорогую систему идентификации. Кроме того, система обнаружения цели может включать затвор, перекрывающий поле зрения системы определения местоположения цели, чтобы защитить ее от повреждающих световых лучей, когда она не используется.

В патенте [5] RU2473866C1 описываются следующее: известная полуактивная головка самонаведения содержит гирокоординатор с многоэлементным приемником излучения и обмотками управления. При попадании отраженного от объекта импульса подсвета в поле зрения ГСН на выходах фотоприемного устройства формируются импульсы напряжения, пропорциональные энергии излучения. Эти импульсы после усиления в блоке усилителей поступают на вход устройства выборки и хранения и на вход сумматора, где суммируются по амплитуде. Недостатком описываемой ГСН является ее недостаточная точность формирования сигнала управления при постановке искусственных помех. Предлагаемое изобретение направлено на повышение точности измерения угловой скорости линии визирования цели и формируемых из нее сигналов управления ракетой или снарядом в условиях помех.

Вышеупомянутые исследования показывают актуальность исследования и разработки по теме управляемых снарядов, в частности можно отметить управляемые снаряды с головкой самонаведения. Данные исследования помогут повысить уровень технологического развития в области вооружения.

### **Материалы и методы.**

Бортовой комплекс управления реактивного снаряда, представляет собой аппаратный комплекс, состоящий из бортового комплекса системы траекторных измерений, бортового комплекса системы передачи ТМИ, бортовой комплекс системы передачи КПИ, системы управления, и системы ориентации. Учитывая специфику конечного использования результативного изделия, выдвигаются и особые критерии для надежности всех бортовых систем, и для БКУ, в частности. Для этих целей необходимо спроектировать и создать внутреннюю инфраструктуру передачи данных, с учетом нештатных ситуации, то есть, любой канал передачи данных, в любом направлении должен иметь запасные (резервные) каналы передачи; необходимо предусмотреть масштабирование системы на аппаратном уровне, и сделать его максимально модифицируемым по факту наличия нового оборудование на реактивном снаряде. БКУ так же должен обеспечивать стабильный канал связи со спутниками GPS/ГЛОНАСС.

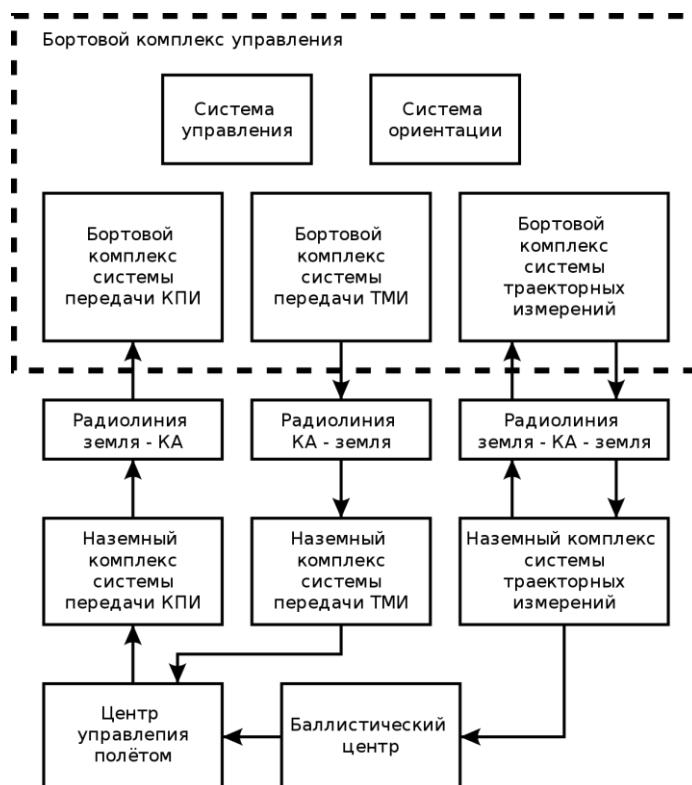


Рисунок 1 - Бортовой комплекс управления реактивного снаряда

Важнейшим фактором, позволяющим реализовать боевые возможности ракет, является их система управления и наведения. Применение на ракетах различных подсистем управления и наведения обеспечивает заданные точностные параметры при поражении объекта и указывает на величину вероятностного отклонения [6]. В результате ряда усовершенствований достигнуто значительное улучшение точности путем внедрения системы коррекции траектории полета по контуру рельефа местности TERCOM, оптической корреляционной системы конечного самонаведения DSMAC и DSMAC2A, а также оборудования для коррекции местоположения системы спутниковой навигации GPS NAVSTAR [7].

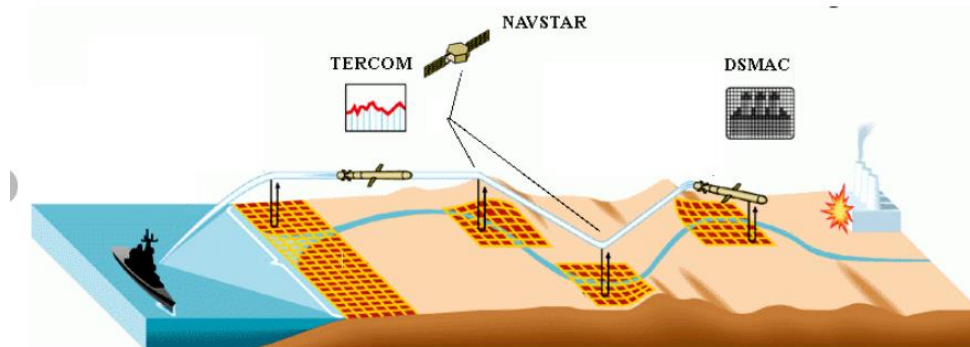


Рисунок 2 - Система навигации TERCOM (Terrain Contour Matching) и DSMAC (Digital Scene Matching Area Correlation) для ракеты BGM-109 Tomahawk

В последнее десятилетие на рынке радиоэлектронной аппаратуры ПЛИС получили достаточно широкое распространение. Они позволяют специалисту создавать на одной или нескольких микросхемах сложные цифровые устройства, имеющие высокую степень интеграции. Основной характеристикой ПЛИС является их способность быть

настраиваемыми пользователем для выполнения определенных функций. Для изменения алгоритма работы устройства достаточно перепрограммировать ПЛИС, причем большинство из них поддерживают программирование даже после установки на плату. По существу, разработка устройств на основе ПЛИС представляет собой новую технологию проектирования электронных схем, включая их изготовление и сопровождение. При этом, весь технологический цикл проектирования проекта ПЛИС, начиная от разработки схемы ПЛИС, её тестов и заканчивая программированием, может выполнить один специалист. Современные ПЛИС выпускаются как полностью готовые изделия. Пользователю не требуется обращаться к изготовителю для выполнения каких-либо завершающих операций, поскольку процесс программирования ПЛИС можно осуществить с помощью компьютера, к которому подключен программатор. В настоящее время ПЛИС широко используются на этапе создания опытных образцов, а также для выпуска мелко серийных партий, к которым не предъявляются жесткие требования. Микросхемы ПЛИС, выпускаемые для гражданских целей, имеют низкие параметры по спецификации, поэтому затруднено их применение в аппаратуре, работающей в жестких климатических условиях. Микросхемы ПЛИС, выпускаемые для военных и космических целей, обладают более высокими параметрами. Однако при среднесерийном производстве выпуск партии ПЛИС экономически менее выгоден, чем выпуск такой же партии на основе базового матричного кристалла (БМК) [2,6-11, 15-17]

Ниже приведена таблица сравнения нескольких популярных программируемых логических интегральных схем (ПЛИСов), основанная на их характеристиках и спецификациях.

Таблица 1- Сравнения программируемых логических интегральных схем (ПЛИСов)

Название	Количество логических ячеек	Количество входов/выходов	Частота работы	Разрядность	Потребляемая мощность
Xilinx	До 50 млн.	До 2000	До 2 ГГц	До 64 бит	До 50 Вт
Altera	До 25 млн.	До 1200	До 1.5 ГГц	До 64 бит	До 20 Вт
Lattice	До 1 млн.	До 500	До 800 МГц	До 32 бит	До 10 Вт
Xilinx	До 50 млн.	До 2000	До 2 ГГц	До 64 бит	До 50 Вт

Эти значения могут отличаться в зависимости от конкретной модели и выпуска ПЛИСа, поэтому приведенные данные следует использовать только для общего сравнения. В целом, Xilinx и Altera являются лидерами на рынке ПЛИСов и имеют широкий выбор различных моделей для различных приложений. Lattice и Microsemi имеют более ограниченный выбор, но их ПЛИСы могут быть более доступны в цене и потреблять меньше энергии, что может быть важным фактором при разработке энергоэффективных систем.

ПЛИС все чаще используются в качестве ключевого компонента цифровых систем из-за их перепрограммирования в полевых условиях, низких единовременных затрат на инженерные работы и относительно короткого цикла проектирования. Эти характеристики в сочетании с высокой производительностью и высокой логической плотностью подтверждают их возможности для ряда наземных и космических приложений. В последнее время большой интерес вызвали использование ПЛИС на борту космического корабля. ПЛИС, как и все полупроводниковые приборы, подвержены радиационному облучению. Радиационные эффекты на электронных схемах,



используемых в веземных приложениях и подверженных воздействию радиации, должны быть исправлены. Поскольку разнообразие предложений производителя ПЛИС, необходимо изучить воздействие излучения на них, и необходимо разработать надежные методы отказоустойчивости [13-14]. Основным предметом исследования в этой статье является влияние космического ионизирующего излучения на ПЛИС и некоторые отказоустойчивые стратегии проектирования. В связи с этим актуальной становится задача прогнозирования радиационной устойчивости ПЛИС, функционирующих в условиях воздействия внешних радиационных факторов космического пространства. Состав алгоритмов, реализованных в программном обеспечении на борту (ПОБ) бортовых комплексов управления космических аппаратов (БКУ КА), зависит от назначения КА, особенностей конструкции, включая используемые элементы управления и источники информации и так далее [1], [2]. В связи с этим, например, замена типа применяемого датчика и/или органа управления требует значительной модификации алгоритмов, реализуемых в БКУ с использованием ПЛИС. Следовательно, существенной является задача увеличения эффективности процесса разработки программного обеспечения (ПО). Среди возможных направлений исследований можно выделить задачу стандартизации алгоритмов систем управления КА, решение которой в конечном счете должно привести к разработке эффективной универсальной методологии проектирования программного обеспечения (ПО) БКУ с использованием ПЛИС [10].

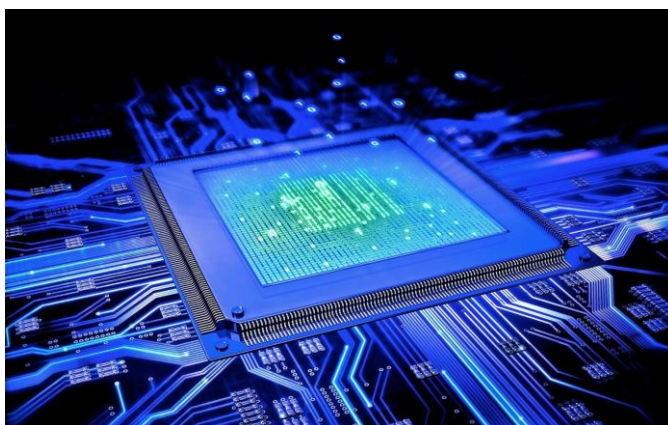


Рисунок 3 – контроллер ПЛИС

### Результаты и обсуждения.

Реализованные на ПЛИС БКУ превосходят решения, изготовленные из прочих вычислительных систем, таких как микроконтроллеры, и одноплатные компьютеры. Благодаря возможности изложения как логики, так и внутренней инфраструктуры с нуля, тем самым обеспечив повышенную защиту от кибератак, и улучшение показателей противодействия радиоэлектронной борьбы реактивного снаряда. В отличие от ПЛИС, микроконтроллеры обладают существенным недостатком в виде изначально заложенной логики заводом производителем, и в случае изменения конфигурации оборудования, или же производстве его с нуля, необходимо создать новые серии микроконтроллеров. К примеру, если брать ATmega328P программисту доступно 32 8-битных регистров общего назначения, если же возникнет необходимость в замене регистров с 8 на 16-битные регистры, то придется изготовить новые чипы микроконтроллеров, что порождает неудобства, и ограничивает модернизацию оборудования. ПЛИС – состоит из простых логических элементов, логику которых можно изменить простой перепрошивкой платы. Одноплатные компьютеры обладают схожим недостатком, в основе их работы лежит готовый процессор, который при высокой производительности, все же непривлекателен ввиду цены [16, 18].

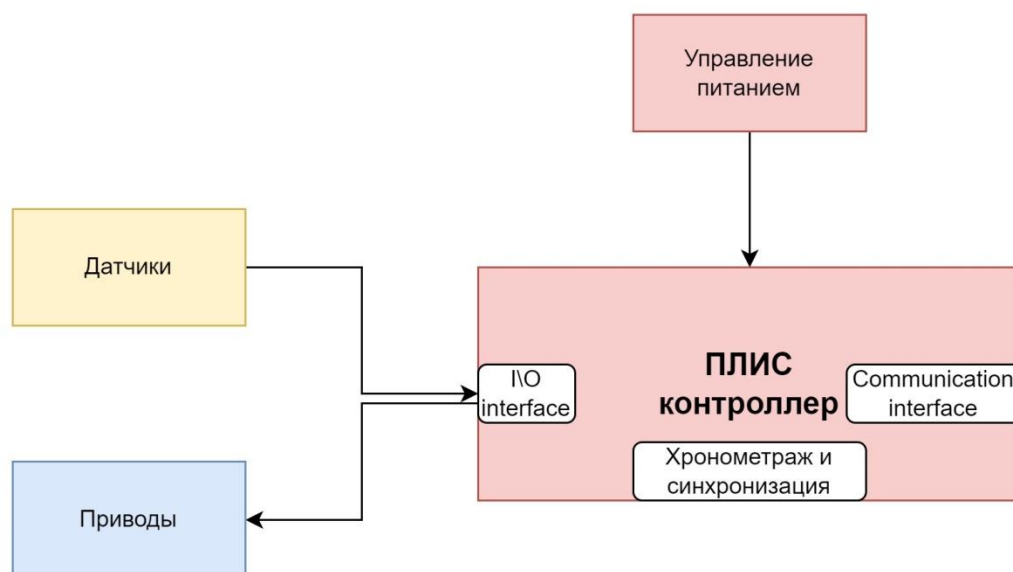


Рисунок 4 - Предлагаемая архитектура БКУ

#### ПЛИС-контроллер.

Контроллер FPGA является центральным процессором бортовой системы управления ракетными снарядами. Это программируемое логическое устройство, предназначенное для обеспечения необходимой вычислительной мощности и гибкости, необходимых для управления различными подсистемами ракетного снаряда. Контроллер FPGA может быть запрограммирован с использованием языков описания оборудования, таких как VHDL или Verilog, что позволяет настраивать его в соответствии с конкретными требованиями миссии.

#### *Интерфейсы ввода-вывода.*

Контроллер FPGA взаимодействует с различными датчиками и исполнительными механизмами на ракетном снаряде через интерфейсы ввода-вывода (I/O). Эти интерфейсы включают цифровые и аналоговые входы, а также цифровые и аналоговые выходы. Интерфейсы ввода-вывода могут также включать в себя протоколы связи, такие как RS-422 или Ethernet, для связи с другими подсистемами или наземными станциями.

#### *Датчики.*

Датчики на ракетном снаряде предоставляют важные данные, которые используются для управления траекторией и ориентацией ракеты. Датчики могут включать в себя акселерометры, гироскопы, магнитометры и GPS-приемники. Данные с этих датчиков обрабатываются контроллером FPGA для определения положения, скорости и ориентации ракеты.

#### *Приводы.*

Приводы на ракетном снаряде используются для управления его траекторией и ориентацией. Приводы могут включать в себя подруливающие устройства, реактивные колеса или поверхности управления. Контроллер FPGA посылает команды исполнительным механизмам на основе данных датчиков для регулировки положения, скорости и ориентации ракеты.

#### *Управление питанием.*

Контроллер FPGA также включает в себя компоненты управления питанием, такие как регуляторы напряжения и выключатели питания, чтобы гарантировать, что различные подсистемы ракетного снаряда получают правильные уровни мощности. Эти компоненты могут включать защиту от перенапряжения и пониженного напряжения для

предотвращения повреждения подсистем. Управление питанием имеет решающее значение для надежности и безопасности ракетного снаряда.

#### *Интерфейсы связи.*

Бортовая система управления ракетным снарядом может также включать в себя интерфейсы связи, такие как UART или SPI, которые используются для связи с другими подсистемами ракетного снаряда или с наземными станциями. Эти интерфейсы могут использоваться для телеметрии, командования и контроля, и других видов передачи данных. Коммуникационные интерфейсы должны быть надежными и работать в суровых условиях окружающей среды.

#### *Хронометраж и синхронизация.*

Контроллер FPGA также включает в себя компоненты синхронизации, такие как генераторы тактовых импульсов и циклы фазовой автоподстройки частоты, для обеспечения синхронной работы различных подсистем ракетного снаряда. Это особенно важно для подсистем, требующих точного определения времени, таких как системы связи или системы контроля ориентации. Компоненты синхронизации обеспечивают правильную работу подсистем и сводят к минимуму ошибки.

#### *Избыточность.*

Для обеспечения надежности системы в конструкцию может быть включено резервирование. Это может включать дублирующие подсистемы, такие как резервные источники питания или контроллеры, а также отказоустойчивые конструкции, которые могут обнаруживать ошибки и восстанавливаться после них. Резервирование имеет важное значение для систем управления ракетными снарядами, которые работают в удаленных или опасных условиях, где техническое обслуживание или ремонт невозможны.

#### **Заключение.**

Рассмотренный в данной статье вопрос позволит создать ракеты нового класса, для повышения обороноспособности страны. Собственная архитектура и программное обеспечение создаваемой системы наведения и управления с искусственным интеллектом для ракет (реактивных снарядов) легко позволит использовать его для масштабирования для вновь создаваемых оборонных и космических ракет. Разработка таких систем, окажет положительное влияние на развитие отечественных технологий высокоточной навигации и управления реактивными снарядами, рост уровня военной науки и отечественных специалистов; повышение национальной безопасности и обороны; создание новых компетенций при подготовке кадров для предприятий и организаций оборонной и аэрокосмической отрасли и развитие военно-космических технологий.

**Благодарность.** Финансирование в рамках проекта AP130004/0222 «Разработка бортового комплекса интеллектуального управления реактивных снарядов на базе программно-конфигурируемых ПЛИС».

#### **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] Растопшин М. Зарубежные реактивные системы залпового огня//Техника и вооружение вчера, сегодня, завтра. 2013. № 03. С. 10 - 15.
- [2] Н.А.Семихатов, В.В. Чеботарев Создание систем управления баллистическими ракетами подводных лодок/<https://flot.com/science/sor4.htm/>
- [3] Бондаренко В. А., Геннадьевич К. Г., Геннадьевич К.Г., Константинович К.А., Анатольевна П.В., Алексеевич Т.В., Сергеевич Б.Б., Борисович К.С., Игоревич Ч.С. Оптико-электронная многоканальная головка самонаведения. RU2756170C1. 2020.



- [4] Jacques Roze des Ordons, Jean-Pierre Merle. Homing head for a flying body. US6003810A. 1997.
- [5] Филимонов В. Я., Марков Н. Н. Лазерная полуактивная головка самонаведения. RU2473866C1. 2011.
- [6] Поручение Совета Безопасности Республики Казахстан (№ 18-1010-2 от 27.03.2018г) п.3 «Организация производства ракет на базе Петропавловского завода тяжелого машиностроения».
- [7] Указ Президента Республики Казахстан от 28.05 2018г. «Об утверждении Концепции переоснащения Вооруженных Сил, других войск и воинских формирований Республики Казахстан и развития оборонно-промышленного комплекса до 2030г».
- [8] Указ Президента Республики Казахстан от 27.12.2017г. «Об утверждении концепции строительства Вооруженных Сил, других войск и воинских формирований Республики Казахстан».
- [9] Стрельба и управление огнем артиллерийских подразделений: учеб. пособие / под ред. В.И. Волобуева. - М.: Военное издательство 1987. С. 288 - 299.
- [10] Высокоточное оружие зарубежных стран. Т. 2. Танковые, артиллерийские, минометные КУВ, самоприцеливающиеся и самонаводящиеся боевые элементы: обзор аналит. Справ / В.М. Лихтеров [и др.] / Тула: Изд- во «Власта». 2011. С.98 - 134.
- [11] Сыроковаш С.М., Мехеда В.И. Системы управления и наведения крылатых ракет и перспективы противодействия им //Наука и военная безопасность, № 3/2008. – С. 60-64.
- [12] Дальнобойный высокоточный управляемый артиллерийский снаряд большого калибра с аппаратурой спутниковой радионавигации/Коротков О.В., Благоев С.Г., Огнев В.А., Долгов В.В. // Известия РАРАН. 2016. №1 (91) С. 60 - 66.
- [13] Регентов М. Американская РСЗО MLRS//Зарубежное военное обозрение. - М.: «Красная Звезда», 1987. № 4. С. 23 - 25.
- [14] Н.А.Семихатов, В.В. Чеботарев Создание систем управления баллистическими ракетами подводных лодок/<https://flot.com/science/sor4.htm/>
- [15] Коммерческие ПЛИС для применения в космосе Широченко Р.С., Широченко Д.С. Научный руководитель: Вершинин А.С., аспирант Чумаков А.И. Действие космической радиации на ИС. - М.: Радио и связь, 2004.
- [16] Timmaraju A.S., Anand D. A. Input-Output Logic based Fault-Tolerant Design Technique for SRAM-based FPGA's, arXiv:1311.0602v2, 2013
- [17] Алипбаев, К. А., Сарсенбаев, Е. Е., Мусина, А. А., & Нурғизат, Е. С. (2022). DEVELOPMENT OF ONBOARD CONTROL SYSTEM ARCHITECTURE FOR NANOSATELLITES. Eurasian Physical Technical Journal, 19(4 (42)), 58-66.
- [18] Нурғизат, Е., Алипбаев, К., Сарсенбаев, Е., Калкабекова, Т., & Жетенбаев, Н. (2022). БАСҚАРУДЫҢ БОРТТЫҚ КЕШЕНІНІҢ АРХИТЕКТУРАСЫН ӨЗІРЛЕУ. Вестник КазАТК, 121(2), 402-413.

#### REFERENCES\*

- [1] Rastopshin M. Zarubezhnye reaktivnye sistemy zalpovogo ognja//Tehnika i vooruzhenie vchera, segodnja, zavtra. 2013. № 03. S. 10 - 15.
- [2] N.A.Semihatov, V.V. Chebotarev Sozdanie sistem upravlenija ballisticheskimi raketami podvodnyh lodok/<https://flot.com/science/sor4.htm/>
- [3] Bondarenko V. A., Gennad'evich K. G., Gennad'evich K.G., Konstantinovich K.A., Anatol'evna P.V., Alekseevich T.V., Sergeevich B.B., Borisovich' K.S., Igorevich Ch.S. Optiko-jelektronnaja mnogokanal'naja golovka samonavedeniya. RU2756170S1. 2020.

- [4] Jacques Roze des Ordon, Jean-Pierre Merle. Homing head for a flying body. US6003810A. 1997.
- [5] Filimonov V. Ja., Markov N. N. Lazernaja poluaktivnaja golovka samonavedeniya. RU2473866C1. 2011.
- [6] Poruchenie Soveta Bezopasnosti Respubliki Kazahstan (№ 18-1010-2 ot 27.03.2018g) p.3 «Organizacija proizvodstva raket na baze Petropavlovskogo zavoda tjazhelogo mashinostroeniya».
- [7] Ukaz Prezidenta Respubliki Kazahstan ot 28.05 2018g. «Ob utverzhdenii Konceptii pereosnashheniya Vooruzhennyh Sil, drugih vojsk i voinskih formirovanij Respubliki Kazahstan i razvitija oboronno-promyshlennogo kompleksa do 2030g».
- [8] Ukaz Prezidenta Respubliki Kazahstan ot 27.12.2017g. «Ob utverzhdenii konceptii stroitel'stva Vooruzhennyh Sil, drugih vojsk i voinskih formirovanij Respubliki Kazahstan».
- [9] Strel'ba i upravlenie ognem artillerijskih podrazdelenij: ucheb. posobie / pod red. V.I. Volobueva. - M.: Voennoe izdatel'stvo 1987. S. 288 - 299.
- [10] Vysokotochnoe oruzhie zarubezhnyh stran. T. 2. Tankovye, artillerijskie, minometnye KUV, samopricelivajushhiesja i samonavodjashhiesja boevye jelementy: obzor analit. Sprav / V.M. Lihterov [i dr.] / Tula: Izd- vo «Vlasta». 2011. C.98 - 134.
- [11] Syrokvash S.M., Meheda V.I. Sistemy upravleniya i navedeniya krylatyh raket i perspektivy protivodejstvija im // Nauka i voennaja bezopasnost', № 3/2008. – S. 60-64.
- [12] Dal'nobojnyj vysokotochnyj upravljaemyj artillerijskij snarjad bol'shogo kalibra s apparaturaj sputnikovoj radionavigacii/Korotkov O.V., Blagov S.G., Ognev V.A., Dolgov V.V. // Izvestija RARAN. 2016. №1 (91) S. 60 - 66.
- [13] Regentov M. Amerikanskaja RSZO MLRS//Zarubezhnoe voennoe obozrenie. - M.: «Krasnaja Zvezda», 1987. № 4. S. 23 - 25.
- [14] N.A.Semihatov, V.V. Chebotarev Sozdanie sistem upravleniya ballisticheskimi raketami podvodnyh lodok/<https://flot.com/science/sor4.htm/>
- [15] Kommercheskie PLIS dlja primeneniya v kosmose Shirochenko R.S., Shirochenko D.S. Nauchnyj rukovoditel': Vershinin A.S., aspirant Chumakov A.I. Dejstvie kosmicheskoy radiacii na IS. - M.: Radio i svjaz', 2004.
- [16] Timmaraju A.S., Anand D. A. Input-Output Logic based Fault-Tolerant Design Technique for SRAM-based FPGA's, arXiv:1311.0602v2, 2013
- [17] Alipbaev, K. A., Sarsenbaev, E. E., Musina, A. A., & Nurgizat, E. S. (2022). DEVELOPMENT OF ONBOARD CONTROL SYSTEM ARCHITECTURE FOR NANOSATELLITES. Eurasian Physical Technical Journal, 19(4 (42)), 58-66.
- [18] Нұрғизат, Е., Alipbaev, K., Sarsenbaev, E., Kalkabekova, T., & Zhetenbaev, N. (2022). BASKARUDYŇ BORTTYK KESHENINIŇ ARHITEKTURASYN ƏZIRLEU. Vestnik KazATK, 121(2), 402-413.

**Кенжебек Мырзабеков**, оқытушы, Energo University, Алматы, Қазақтан, k.myrzabekov@aes.kz

**Мерей Ибраим**, аға оқытушы, Energo University, Алматы, Қазақтан, m.ibraim@aes.kz

**Куаныш Алипбаев**, PhD, қауымдастырылған профессор, Energo University, Алматы, Қазақтан, k.alipbayev@aes.kz

**Еркебұлан Нұрғизат**, PhD, аға оқытушы, Energo University, Алматы, Қазақтан, y.nurgizat@aes.kz

**Фарица Ораз**, инженер, Energo University, Алматы, Қазақтан, fa.oral@aes.kz

## БАҒДАРЛАМАЛЫҚ КОНФИГУРАЦИЯЛАНАТЫН ПЛИС НЕГІЗІНДЕ РЕАКТИВТІ СНАРЯДТАРДЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ БАСҚАРУДЫҢ БОРТТЫҚ КЕШЕНІН ӘЗІРЛЕУ

**Аңдатпа.** Қазіргі жаһандану жағдайында трансұлттық компаниялардың ықпалының күшеюі және терроризм мен экстремизмнің өсуі мемлекеттің қауіпсіздігі, ең алдымен, оның шекараларының қауіпсіздігіне және Қарулы Күштерінің жауынгерлік қабілетіне байланысты. Мұндай әзірлемелердің технологиясы бүкіл әлемде үшінші елдерге берілу құқығынсыз құпия болып табылады. Мақалада деректерді криптографиялық қорғаумен және инерциялық, магниттік және спутниктік жүйелердің деректерін өндіру негізінде бағдарламалық жасақтамамен конфигурацияланатын FPGA-ны қолдана отырып, реактивті снарядтар үшін жоғары дәлдіктегі басқару және навигация жүйесін әзірлеу қарастырылады.

**Түйінді сөздер.** ПЛИС, ББК, зымыран снарядтары, борттық жүйе, ұшу аппараты, контроллер, сенсор, жетек.

**Kenzhebek Myrzabekov**, teacher, Energo University, Almaty, Kazakhstan, k.myrzabekov@aes.kz.

**Merey Ibrahim**, senior lecturer, Energo University, Almaty, Kazakhstan, m.ibraim@aes.kz.

**Kuanysh Alipbayev**, PhD, associate professor, Energo University, Almaty, Kazakhstan, k.alipbayev@aes.kz

**Yerkebulan Nurgizat**, PhD, senior lecturer, Energo University, Almaty, Kazakhstan, y.nurgizat@aes.kz.

**Fariza Oraz**, engineer, Energo University, Almaty, Kazakhstan, fa.oz@aes.kz.

## DEVELOPMENT OF AN ON-BOARD COMPLEX FOR INTELLIGENT CONTROL OF ROCKETS BASED ON SOFTWARE-CONFIGURABLE FPGAS

**Abstract.** In the conditions of modern globalization, the increasing influence of transnational companies and the growth of terrorism and extremism, the security of the state, first of all, depends on the security of its borders and the combat capability of its armed forces. The technology of such developments is classified worldwide without the right to transfer to third countries. The article deals with the development of a high-precision control and navigation system for rockets with cryptographic data protection and the use of software-configurable FPGAs based on data mining of inertial, magnetic and satellite systems.

**Keywords.** FPGA, on-board control system, rocket projectiles, on-board system, aircraft, controller, sensor, drive.

\*\*\*\*\*