

**«УТВЕРЖДАЮ»**

**И.о. директора Института машиноведения,  
автоматики и геомеханики НАН КР**

**д.т.н., проф. Султаналиев Б.С.**

**2024 г**



**ВЫПИСКА**

**из протокола №2 от 10.04.2024 г. заседания объединенного семинара лабораторий «Оптимальные и цифровые системы управления» (ОЦСУ), «Информационно-измерительные системы» (ИИС), «Распределенные системы обработки информации» (РСОИ) Института машиноведения, автоматике и геомеханики НАН КР**

**10.04.2024.г.**

**г. Бишкек**

**Председатель заседания:** Керимкулова Г.К. – к.ф.-м.н. с.н.с., заместитель директора по научной работе ИМА НАН КР.

**Секретарь:** Аскалиева Г.О. – к.т.н., с.н.с., ведущий научный сотрудник лаборатории «Информационно-измерительные системы».

**Присутствовали:**

Лыченко Н.М. – д.т.н., профессор, заведующая лабораторией «Распределенные системы обработки информации», специальность 05.13.01;

Исмаилов Б.И. – д.т.н., профессор, главный научный сотрудник лаборатории «Оптимальные и цифровые системы управления», специальность 05.13.01;

Бакасова А.Б. – д.т.н., доцент, заведующая лабораторией «Оптимальные и цифровые системы управления», специальность 05.13.01, 05.13.05 по трудам;

Пресняков К.А. – д.т.н., главный научный сотрудник лаборатории «Информационно-измерительные системы», специальности 05.13.18 и 05.13.05;

Брякин И.В. – д.т.н., профессор, заведующий лабораторией «Информационно-измерительных систем», специальность 05.13.05;

Верзунов С.Н. – к.т.н., доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории «Информационно-измерительные системы», 05.13.01, 05.13.05 (по трудам);

Гайдамако В.В. – старший научный сотрудник лаборатории «Распределенные системы обработки информации»;

Великанова Л.И. – старший научный сотрудник лаборатории «Распределенные системы обработки информации»;

Сатаркулов К.А. – к.т.н., ведущий научный сотрудник лаборатории «Оптимальные и цифровые системы управления»;

Абдралиева Э. – инженер лаборатории «Оптимальные и цифровые системы управления»;

Замай Л.И. - инженер лаборатории «Информационно-измерительные системы».

Корякин С.В. – научный сотрудник лаборатории «Информационно-измерительные системы»  
Всего 14 человек.

### **ПОВЕСТКА ДНЯ:**

1. Обсуждение диссертационной работы Исабаева К.Ж. на тему «Исследование и разработка интеллектуальной аппаратно-программной платформы анализа радиолокационных сигналов и обработки радиолокационной информации», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности: 05.13.05 – элементы и устройства вычислительной техники и систем управления.

2. Рассмотрение и обсуждение дополнительной программы специальной дисциплины для сдачи кандидатского экзамена по диссертационной работе Исабаева К.Ж. на тему «Исследование и разработка интеллектуальной аппаратно-программной платформы анализа радиолокационных сигналов и обработки радиолокационной информации», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности: 05.13.05 – элементы и устройства вычислительной техники и систем управления.

Тема диссертационной работы и научный консультант – д.т.н., профессор Брякин И.В. утверждены на заседании Ученого совета ИМА НАН КР (протокол №5 от 27.01.2020 г.).

**Научный руководитель** – доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией «Информационно-измерительных систем», Брякин И.В. (специальность 05.13.05).

### **Назначенные рецензенты:**

Пресняков К.А. – д.т.н., главный научный сотрудник лаборатории «Информационно-измерительных систем», специальности 05.13.18 и 05.13.05.

Верзунов С.Н. – к.т.н., доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории «Информационно-измерительные системы», специальность 05.13.01, 05.13.05 по трудам;

**Слушали:** доклад Исабаева К.Ж. на тему «Исследование и разработка интеллектуальной аппаратно-программной платформы анализа радиолокационных сигналов и обработки радиолокационной информации», *(доклад сопровождался демонстрацией слайдов)*.

Уважаемые члены объединенного семинара вашему вниманию предоставляются результаты исследований по теме «Исследование и разработка интеллектуальной аппаратно-программной платформы анализа радиолокационных сигналов и обработки радиолокационной информации».

Система управления войсками является ключевым элементом в обеспечении эффективности и координации всех операций, где одним из важнейших функциональных компонентов является средства управления. Это

позволяет повысить производительность, снизить расходы и улучшить качество обслуживания. В контексте современного развития технологий, оптимизация средств управления становится еще более актуальной. Такие инновации, как цифровизация процессов, использование алгоритмов машинного обучения, искусственного интеллекта, обработки больших данных и других современных технологий, позволяют существенно улучшить работу систем управления. В общем, оптимизация средств управления является ключевым элементом успешного управления любым процессом или системой и должна быть постоянно находиться в центре внимания специалистов по управлению.

**Целью диссертации** является повышение эффективности работы системы управления войсками за счет разработки и применения интеллектуальной аппаратно-программной платформы.

Для достижения указанной цели поставлены следующие **задачи**:

1) Исследование существующих методов и технологий анализа радиолокационных сигналов и обработки радиолокационной информации.

2) Разработка ИАПП для проведения анализа радиолокационных сигналов.

3) Разработка алгоритмов и программного обеспечения для обработки радиолокационной информации на ИАПП.

4) Проведение экспериментальных исследований и тестирование разработанной ИАПП на реальных радиолокационных данных.

5) Оценка эффективности и точности работы ИАПП в сравнении с существующими методами и технологиями.

6) Анализ результатов исследований и разработка рекомендаций по дальнейшему развитию и применению ИАПП в радиолокационных системах.

**Научная новизна полученных результатов.** Научная новизна проведенных исследований заключается:

- получены новые результаты экспериментальных исследований тропосферного распространения радиоволн, как на равнинных, так и на горных трассах в диапазоне УКВ для различных сезонов и времен суток;

- разработан прототип нового полигона для радиофизических исследований на базе интеллектуальной аппаратно-программной платформы радиолокатора Военно-инженерного института радиоэлектроники и связи (ВИИРЭС);

- обоснован новый физический эффект в виде многопутности распространения радиоволн при тропосферном и стратосферном распространении;

- предложен способ передачи цифровых данных в радиолокационном сигнале интеллектуальной аппаратно-программной платформы радиолокатора;

- разработан новый метод обработки радиолокационной информации с использованием свёрточной нейронной сети, позволяющий снизить порог обнаружения в интеллектуальной аппаратно-программной платформы радиолокатора.

Новизна проведенных исследований защищена 1-м заявлением о выдаче патента Республики Казахстан на изобретение и 1-ой полезной моделью РК №7426 от 25.04.2022 года «РЛС кругового обзора метрового диапазона волн с функцией передачи данных».

### **Практическая значимость полученных результатов**

1. Передача информации об обнаруженных целях в радиолокационном сигнале позволит повысить надёжность и оперативность передачи данных на командный пункт.

2. Предложенный способ обработки радиолокационной информации с использованием нейронной сети позволяет обнаруживать малоразмерные БПЛА и увеличить дальность обнаружения воздушных целей.

3. Внедрение обнаружителя на базе нейронной сети можно осуществить без существенных аппаратных доработок в интеллектуальной аппаратно-программной платформы радиолокатора.

### **Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**

- обеспечение устойчивой передачи информации в составе радиолокационного сигнала РЛС П-18М метрового диапазона волн возможна на дистанциях до 266 км за счёт эффекта тропосферного прохождения радиоволн;

- обеспечение скорости передачи данных в тропосферном канале в метровом диапазоне волн не менее 6000 бод за счет использования импульсной модуляции;

- скорость работы обнаружителя на базе свёрточной нейронной сети достаточна для использования в РЛС П-18М;

- увеличение коэффициента проводки маневрирующих целей на 30% за счет использования свёрточной нейронной сети.

### **Экономическая значимость полученных результатов**

Предложенные новые технические решения позволяют улучшить интеллектуальную аппаратно-программную платформу радиолокатора без больших затрат на модернизацию или замену радиолокаторов.

Организационно-техническую основу управления войсками составляет система управления. Система управления должна обладать высокой боевой готовностью и обеспечивать возможность как централизованного, так и децентрализованного управления войсками. Обобщенная структурная схема традиционной системы управления войсками состоит из трех основных компонентов, которые взаимодействуют между собой для эффективного управления военными операциями: органы управления, пункты управления и средства управления. Их правильный выбор и настройка играют важную роль в обеспечении успешного функционирования системы управления в целом.

Структура модернизированной СУВ. Для соответствия современным условиям и геополитическим обстановкам в мире, необходимо оптимизировать средства управления как ключевой компонент системы управления, для этого предлагается вариант обобщенной структурной схемы СУВ с одним многофункциональным средством управления, вместо используемого в

настоящее время набора технических систем, каждая из которых обладает лишь одним конкретным функциональным назначением.

Общий вид РЛС П-18М. В многофункциональное средство управления входят все три компонента, где основным составляющим является радиолокационная станция. Техническое решение заключается в том, что после модернизации, радиолокационная станция может выполнять функцию обнаружения цели, функцию радиосвязи, а также выполнять функцию АСУ без существенных аппаратных доработок в ИАПП радиолокатора. На примере доработок выбрали радиолокационную станцию метрового диапазона П-18М.

Основной составляющей РЛС П-18М является ИАПП. Новая концепция представляет собой ИАПП состоящую из компонентов: аппаратной части, программного обеспечения, интеллектуальной технологии, интерфейса и взаимодействие. Важными аспектами разработки такой платформы являются обеспечение надежности и безопасности данных, интеграция с другими информационными системами, а также разработка удобного пользовательского интерфейса, который позволит пользователям легко взаимодействовать с платформой и использовать ее функциональные возможности.

Структурная блок-схема ИАПП. Аппаратная часть ИАПП взаимодействует с программным обеспечением через драйверы и интерфейсы. Программное обеспечение управляет аппаратной частью, используя интеллектуальные технологии для обработки данных и принятия решений. Интерфейсы обеспечивают взаимодействие между различными компонентами платформы, а также с внешними устройствами или системами. Данные передаются от аппаратной части к программному обеспечению для обработки, затем результаты обработки возвращаются обратно для управления аппаратурой или другими действиями.

Блок-схема функционирования ИАПП, тневая зона радиосвязи, помехи на экране ИКО АРМ. Программа начинается с инициализации аппаратно-программной части, за которой следует получение данных от внешних источников, после этого идёт этап обработки данных, на основании которой осуществляется принятие решений, в случае положительного результата, происходит отправка результатов обработки данных на внешние устройства, в противном случае - возвращение к этапу обработки данных, завершается алгоритм окончанием работы программы.

Идея использовать тропосферную связь для передачи информации об обнаруженных целях с помощью тропосферного канала радиосвязи появилась, когда на практике столкнулись с появлением помех у работающих РЛС П-18М от аналогичных радиолокаторов, удалённых на сотни километров от радиолокационных позиций, если они работали на одной частоте. При попытке выполнить расчёт электромагнитной совместимости, оказалось, что имеющиеся методики расчёта тропосферных каналов связи дают большие погрешности для диапазона частот ниже 300 МГц.

Была подана заявка на грантовое финансирование проекта по измерению затуханий радиосигналов в тропосфере для уточнения методик их расчёта в

диапазоне рабочих частот РЛС П-18М. Финансирование было одобрено и в учебном центре Военно-инженерного института радиоэлектроники и связи (г. Алматы) был организован радиополигон на базе радиолокатора, используемого в учебных целях, способный принимать зондирующие сигналы от РЛС, находящихся в разных точках Казахстана.

Радиополигон, характеристики трасс. Было организовано наблюдение за работой радиолокаторов дежурного режима, работающих в разных регионах Казахстана в разное время суток и в различные сезоны в течение двух лет. Было написано специальное программное обеспечение для непрерывной регистрации радиолокационных сигналов и проведена калибровка приёмного устройства, так как серийные радиолокаторы не предназначены для проведения инструментальных измерений.

Радиополигон, трассы радиолиний. Для наблюдений использовались сигналы РЛС, удалённых от точки наблюдения на расстояния, соответствующие дальностям тактического использования РЛС П-18М, как на равнинной местности, так и скрытых горным массивом.

Наблюдения дали неожиданный результат, так как ранее подобных наблюдений за сигналами РЛС никто не производил. Принятый сигнал, имел множественные пики, свидетельствующие о том, что он не просто преломлялся в слоистой тропосфере, как считалось в теории, а рассеивается на множестве независимых друг относительно друга неоднородностей.

Проведённые наблюдения показали, что устойчивый приём сигналов от РЛС П-18М вне зависимости от метеоусловий, времени суток, сезона и профиля трассы, обеспечивался на дистанциях не менее 266 километров. Что является доказательством первого положения, вынесенного на защиту.

Был выполнен анализ построения хронизирующего устройства РЛС П-18М и разработано техническое решение, позволяющее осуществлять передачу данных с использованием серийного передающего устройства. Это техническое решение защищено патентом РК №7426 от 25.04.2022 года «РЛС кругового обзора метрового диапазона волн с функцией передачи данных».

Суть технического решения заключается в следующем. В РЛС П-18М высокочастотные зондирующие сигналы формируются в блоке синтезатора (СБС), после модуляции сигналами, поступающими с блока хронизатора (СБХ), усиливаются и через антенный коммутатор (БЗАК) поступают в антенну. Принятые эхо-сигналы после приёмного устройства поступают на аппаратуру предварительной обработки радиолокационной информации (АПОРЛИ) где оцифровываются и объединяются с кодом угла от кодера. Первичная и вторичная обработка радиолокационной информации производится в автоматизированном рабочем месте оператора (АРМ), который передаёт формуляры обнаруженных целей в АСУ.

В соответствии с предложенным техническим решением дополнительно вводятся два модуля – кодер (для модуляции сигнала СБС информационной посылкой) и коммутатор, который переключает модулирующие радиолокационные сигналы СБХ на модулирующие сигналы кодера в то время,

когда главный луч антенны РЛС направляется на азимут командного пункта. В этом случае передача данных в АСУ осуществляется по тропосферному каналу радиосвязи. После передачи данных переключатель восстанавливает соединение СБХ с СБС.

Антенная решетка. В качестве источников и приёмника исследуемых радиоволн применялись радиолокационные станции П-18М, работающие в частотном диапазоне (140 – 170) МГц. В ходе работ был зафиксирован уверенный приём сигналов от удалённых РЛС. Полученные данные позволяют сделать предположение о реальной возможности использовать серийные мобильные УКВ-радиостанции средней мощности для работы с тропосферными каналами связи. Основные преимущества зигзагообразной антенны перед антеннами типа «волновым канал» - их широкополосность. В пределах диапазона частот, на которые рассчитана зигзагообразная антенна, она обладает сравнительно постоянными параметрами, удовлетворительно согласуется с фидером, ее коэффициент усиления изменяется в небольшой степени. Возможность легкого изготовления без применения специального оборудования (могут быть выполнены из подручных материалов). На данное техническое решение подана заявка №2024/0399.2 о выдаче патента Республики Казахстан на изобретение.

Важным вопросом являлось – а может ли канал тропосферной связи обеспечить передачу информации о формулярах цели, обнаруженных за оборот антенны. Как видно из приведённой осциллограммы, пока на приёмную позицию не придут все отражения от атмосферных рассеивателей, то передавать следующий информационный импульс нельзя. В таблице, показанной на слайде показаны минимальные, максимальные и средние временные интервалы между первым и последним импульсом в принимаемых группах импульсов за всё время наблюдений. Максимальный временной интервал ограничивает скорость передачи данных по тропосферному каналу.

Анализ этой информации показывает, что на практике не наблюдались длины групп импульсов длиннее 166 микросекунд. Это означает, что если импульсы при передаче данных будут следовать с большим интервалом друг относительно друга, то многопутное распространение сигналов в тропосферном канале связи не будет приводить к наложению этих групп импульсов друг на друга. Эти измеренные времена доказывают второе положение, вынесенное на защиту, что скорость передачи данных мобильной РЛС П-18М по тропосферному каналу в метровом диапазоне волн не менее 6000 бод при использовании импульсной модуляции.

Так как для передачи одного формуляра цели в РЛС П-18М необходимо 24 бита информации (12 разрядов дистанция и 12 разрядов азимут), то для передачи одного формуляра необходимо 4 миллисекунд, что укладывается в такт зондирования.

Учитывая, что тропосферные каналы связи на практике практически невозможно подавить средствами радиоэлектронной борьбы, то использование

тропосферного канала радиосвязи повысит надёжность передачи данных от РЛС на командный пункт.

Для повышения эффективности обнаружения малогабаритных БПЛА, имеется два пути. Первый путь связан с введением режима межлучевого когерентного накопления, который разрабатывался в СКТБ «Гранит», и с 2023 года уже внедрён в серийные изделия. Другой путь связан с достижением необходимой вероятности обнаружения целей при более низком пороге обнаружения без изменения вероятности ложной тревоги.

Используемый в РЛС П-18М параметрический обнаружитель со стабилизацией уровня ложной тревоги обеспечивает заданные параметры обнаружения при соотношении сигнал/шум 10 дБ. В то же время опытный оператор РЛС на аналоговых радиолокаторах П-18 обязан был обнаруживать цель при соотношении сигнал/шум 0,5 дБ. Разработка программного обнаружителя, способного надёжно обнаруживать цели при малых соотношениях сигнал/шум может поднять энергетический потенциал РЛС почти в 10 раз без переделки аппаратной части локатора.

Успехи, достигнутые при использовании нейронных сетей для распознавания изображений, позволили предположить, что можно использовать нейронную сеть и для распознавания радиолокационных изображений отметок от целей. Хотя на экране оператора зона обзора отображается в виде круга, в памяти компьютера эта зона обзора хранится в виде двумерной матрицы «азимут-дальность». У радиолокатора П-18М размерность матрицы - 2048 отсчётов азимута и 1200 отсчётов дальности.

Для проведения исследований была выбрана свёрточная нейронная сеть, используемая для распознавания изображений, с открытыми исходными кодами, размещённая на портале GitHub.

Для экспериментов по распознаванию радиолокационных изображений использовался фреймворк YOLOv5, включающий в себя 10 моделей нейронных сетей. Этот фреймворк был разработан на языке Python, специально для людей, не умеющих программировать, чтобы облегчить создание ими нейронных сетей для своих приложений. Фреймворк распространяется с открытыми исходными текстами программ. На графике приведены данные о точности распознавания и времени обработки одного изображения, полученные на базе данных 200000 изображений, подготовленной в качестве тестовой для международных соревнований по распознаванию образов 2017 года. Как видно из графиков, принципиальных различий по быстродействию и точности распознавания между различными моделями нейронных сетей из состава YOLOv5, нет. Была использована модель YOLOv5s.

Для работы нейронной сети был использован компьютер с процессором Intel Core i7-10700 CPU @ 2.90GHz, с оперативной памятью 32 Гб, под управлением операционной системой Windows 10 Корпоративная 64 бита.

В результате были сформированы эталонные образцы для обучения сети, созданы контрольные выборки для проверки вероятности обнаружения и ложной тревоги. Для выполнения работ по созданию обучающих выборок была



использована база данных записей радиолокационной обстановки, накопленная СКТБ «Гранит» с 2008 по 2023 годы. Эти записи накапливались для совершенствования алгоритмов первичной и вторичной обработки РЛС П-18М. Среди этих записей имелись записи разных типов целей (гражданские самолёты, вертолёты, истребители, БПЛА, ракеты) сделанные при различной помеховой обстановке, в разных метеорологических условиях и на разных радиолокационных позициях.

В первых экспериментах, хотя нейронная сеть и обнаруживала все цели, однако время обработки радиолокационной обстановки, полученной за один оборот радиолокатора, доходило до 20 минут. Такое время обработки делало невозможным применения нейронной сети в реальной РЛС. Необходимым условием для внедрения в практику было, чтобы сеть успевала обработать радиолокационное изображение за период вращения локатора. Потребовалось выявить этапы обработки, которые требовали большого времени и оптимизировать их, посредством применения более быстродействующих подпрограмм.

После оптимизации программы для обеспечения её скорости обработки. В мае 2022 года было достигнуто время обработки радиолокационной информации одного оборота за 10 секунд. Казалось, что этого могло бы быть достаточно, так как РЛС П-18М работает с периодами вращения 2, 4 или 6 оборотов в минуту, то есть минимальное время оборота равно 10 секундам, но на практике компьютеру нужно время и для других этапов обработки, а также отображения информации.

В результате дальнейшей оптимизации уже не заменой подпрограмм, а исходного кода конвертора формата изображения удалось достигнуть приемлемых для практики результатов. В таблице представлены времена после обработки 151 оборота одной из тестовых записей, в которых в зоне обнаружения были маневрирующие истребители.

Из приведённых данных видно, что скорость работы нейронной сети позволяет обрабатывать данные радиолокационной информации в реальном времени, что доказывает третье положение, вынесенное на защиту.

Из представленных данных видно, что коэффициент проводки у маневрирующих целей удалось увеличить на 30%, в то же время для прямолетящих целей такого выигрыша нет. Таким образом, для маневрирующих целей нейронная сеть показала существенное улучшение коэффициента проводки без ухудшения вероятности ложной тревоги, что доказывает четвертое положение, вынесенное на защиту.

В результате проведенных исследований сделаны следующие выводы:

Всего по теме диссертации было опубликовано 10 работ, в том числе 1 патент на полезную модель и подана 1 заявка о выдаче патента Республики Казахстан на изобретение, что соответствует требованиям к диссертационной работе.

Таким образом, уважаемый Председатель и члены диссертационного совета, считаю доказанным, что применение интеллектуальной аппаратно-

программной платформы РЛС П-18М для анализа радиолокационных сигналов и обработки радиолокационной информации делает возможным существенно повысить эффективность работы системы управления войсками.

### **ПО ДОКЛАДУ ЗАДАНЫ ВОПРОСЫ:**

**Исмаилов Б.И. – д.т.н., профессор**

**1 Вопрос:** Скажите пожалуйста традиционный метод порога чувствительности приемника сигналов?

**Ответ:** Метод отношения сигнал-шум.

**2 Вопрос:** Чем отличается сверточная нейронная сеть от обычной нейронной сети?

**Ответ:** Сверточная нейронная сеть (CNN) отличается от обычной нейронной сети (ANN) тем, что она специализирована на обработке многомерных данных, таких как изображения. Основное отличие CNN от ANN заключается в наличии слоев свертки и подвыборки, которые позволяют ей автоматически извлекать признаки из изображений, такие как углы, края и текстуры. Это позволяет CNN эффективно и точно классифицировать изображения, работать с временными рядами и другими многомерными данными. В то время как обычные нейронные сети подходят для работы с одномерными данными, такими как текстовая информация или временные ряды.

**3 Вопрос:** Как бы Вы сформулировали критерии классификации ложной и истинной цели?

**Ответ:** По спецификации задачи: ложная цель - объект, который не соответствует ожиданиям и требованиям по характеристикам и движению зарегистрированных объектов; истинная цель - объект, который полностью или частично соответствует ожиданиям и требованиям. По результатам анализа: ложная цель - объект, который после дополнительной проверки или анализа данные о нем оказались недостоверными; истинная цель - объект, который успешно подтверждается и соответствует реальному объекту. По контексту и окружению: ложная цель - объект, который не имеет логической связи с другими целями или состоянием окружающей среды; истинная цель - объект, который легко интегрируется в существующий контекст и окружение. По поведению и последствиям: ложная цель - объект, который вызывает ненужные или нежелательные последствия при его выявлении и наблюдении; истинная цель - объект, который не приводит к негативным последствиям и соответствует ожиданиям.

**4 Вопрос:** Обнаружена цель, какие параметры она выдает?

**Ответ:** Радиолокатор может выдавать различные параметры, в зависимости от его типа и назначения. Некоторые из основных параметров, которые может выдавать радиолокатор, включают в себя: расстояние до цели (дальность), направление на цель (азимут и угол места), скорость цели (доплеровский сдвиг), размер и форма цели (резолюция), идентификация типа цели (при использовании дополнительных датчиков и алгоритмов обработки

данных), видимость и условия окружающей среды (погода, местность и препятствия), дату и время обнаружения цели, трек цели (постоянное отслеживание цели по времени).

**Лыченко Н.М. – д.т.н., профессор**

**1 Вопрос:** Какова научная новизна получена при исследовании?

**Ответ:** получены новые результаты экспериментальных исследований тропосферного распространения радиоволн, как на равнинных, так и на горных трассах в диапазоне УКВ для различных сезонов и времен суток; разработан прототип нового полигона для радиофизических исследований на базе интеллектуальной аппаратно-программной платформы радиолокатора Военно-инженерного института радиоэлектроники и связи (ВИИРЭС); обоснован новый физический эффект в виде многопутности распространения радиоволн при тропосферном и стратосферном распространении; предложен способ передачи цифровых данных в радиолокационном сигнале интеллектуальной аппаратно-программной платформы радиолокатора; разработан новый метод обработки радиолокационной информации с использованием свёрточной нейронной сети, позволяющий снизить порог обнаружения в интеллектуальной аппаратно-программной платформы радиолокатора.

**2 Вопрос:** Входными векторами что является на нейронной сети в обучении? В каком формате?

**Ответ:** Входными векторами на нейронной сети в обучении обычно являются данные или признаки, которые подаются на вход модели для обработки и анализа. Например, если нейронная сеть обучается распознаванию изображений, то входными векторами могут быть пиксели изображения. Если нейронная сеть обучается на текстовых данных, то входными векторами могут быть слова или символы текста. В общем случае, входной вектор представляет собой числовое представление входных данных, которое передается на вход нейронной сети для выполнения задачи обучения. Результаты обработок получил в формате jpeg.

**3 Вопрос:** На выходе индикатора кругового обзора радиолокатора как отличить ложную цель от истинной цели?

**Ответ:** По уровню эхо-сигнала: ложные цели обычно имеют более низкий уровень эхо-сигнала, чем истинные цели. По характеру движения: ложные цели часто имеют хаотичное или нелинейное движение, в то время как истинные цели обычно движутся более предсказуемо. По форме и размеру: ложные цели могут иметь нечеткую или неопределенную форму, в то время как истинные цели обычно имеют более четкую и определенную форму. По наличию помех: ложные цели часто возникают в условиях сильных помех, в то время как истинные цели могут появляться и в более чистых условиях. По использованию дополнительных средств обнаружения: для более надежной идентификации целей можно использовать информацию с других датчиков, например, с автоматической зависимой системой наблюдения (ADS-B) или вторичного радара слежения (SSR).

**4 вопрос:** Это вероятностная оценка или нет?

**Ответ:** Да, ложная и истинная цели являются вероятностными оценками.

**5 вопрос:** На 23 слайде у Вас показаны реальные снимки или иллюстрации?

**Ответ:** На слайде показаны реальные снимки гражданских самолётов и облеты истребителей. Левый снимок реальная картина индикатора кругового обзора автоматизированного рабочего места оператора, а правый снимок после обработки сверточной нейронной сетью.

**Верзунов С.Н. – к.т.н., доцент**

**1 Вопрос:** Скажите пожалуйста все таки какую точную задачу решала нейронная сеть? Задачу сегментации это когда нейронная сеть определяет координаты цели или задачу классификации, когда нейронная сеть определяет что это была за цель ложная, не ложная может быть с какой страны, что за модель, или же задачу фильтрации когда увеличивает соотношение сигнала шума?

**Ответ:** В контексте обнаружения цели на индикаторе радиолокатора, нейронная сеть обычно решает задачу классификации. Основная цель здесь - определить, присутствует ли цель (например, воздушное судно) на радарном изображении или нет. Таким образом, нейронная сеть классифицирует изображение как содержащее цель (положительный класс) или не содержащее цель (отрицательный класс). Сегментация, с другой стороны, означает разделение изображения на отдельные сегменты, где каждый сегмент обычно соответствует различным объектам или областям на изображении. В задаче сегментации на радарном изображении можно было бы использовать, например, для выделения самой цели на фоне других объектов или для определения ее формы и размеров. Однако в большинстве случаев, когда речь идет о простом обнаружении цели на индикаторе радиолокатора, используется классификация, а не сегментация.

**2 Вопрос:** В чем тогда Ваши достижения? В чем научная новизна применительно именно к нейронным сетям?

**Ответ:** разработан новый метод обработки радиолокационной информации с использованием сверточной нейронной сети, позволяющий снизить порог обнаружения в интеллектуальной аппаратно-программной платформы радиолокатора.

**Керимкулова Г.К. – к.ф.-м.н., с.н.с.**

**1 вопрос:** У Вас на 23 слайде показаны результаты обработки радиолокационных изображений, Вы сами их обрабатывали? И кроме этих результатов были еще обработанные изображения?

**Ответ:** В данной таблице обработки радиолокационных изображений являются результатом работы сверточной нейронной сети. Да, кроме этих результатов есть еще обработанные изображения, база данных записи взяты с 2008 года.

**Керимкулова Г.К. – к.ф.-м.н., с.н.с., председатель заседания:** Есть еще вопросы? Нет вопросов. Тогда переходим к обсуждению.

### **Выступление научного руководителя.**

#### **Брякин И.В., д.т.н., профессор:**

В данной диссертационной работе нейронная сеть не главный вопрос. Самое главное, он расширил функциональные возможности радиостанции с радиолокатора сделал центр управления. Почему? Потому что она стала полезной информацией, который до этого никто не делал, используя тропосферную связь, а используя эффект, т е эффект и до него было известным это не решающий фактор, для него нужен был полезный фактор. За счет этого что он сделал? Фактический средство управление - разветвлённая структура, три функционала висят, он, адаптировав тропосферные связи в радиостанцию и внеся некоторые изменения в алгоритме заменил все три блока одним модулем, который является радиостанцией. Фактический он упростил систему управления повысил его эффективность, надежность, потому что тропосферную связь длинноволновую ее невозможно упростить (погасить). Поэтому устойчивость связи, т е во производительность ее во времени и распознавание информации независимо от времени это самое главное. А остальное аппараты, обоснование нейросети это вторичное. Самое главное идея заключается в этом. Используя свойства тропосферной связи и изменив в некотором смысле внеся корректировку в аппаратной программе, значит средства, в которой находятся в формате этой радиостанции он обеспечил новый принцип управление войсками, это имеет большие колоссальные перспективы.

#### **Выступления рецензентов:**

##### **Пресняков К.А. – д.т.н., с.н.с.**

Оптимизация средств управления имеет особое значение в системе управления войсками, поскольку эффективное управление военными ресурсами и операциями является ключевым аспектом национальной обороны. Оптимизация средств управления в системе управления войсками является критически важным аспектом для обеспечения эффективности, гибкости и готовности к выполнению разнообразных задач и операций.

##### *Научная новизна исследований.*

В результате проведенных исследований соискателем по специальности 05.13.05 были:

- получены новые результаты экспериментальных исследований тропосферного распространения радиоволн, как на равнинных, так и на горных трассах в диапазоне УКВ для различных сезонов и времен суток;

- разработан прототип нового полигона для радиофизических исследований на базе ИАПП радиолокатора ВИИРЭиС;

- обоснован новый физический эффект в виде многопутности РРВ при тропосферном и стратосферном распространении;

- предложен способ передачи цифровых данных в радиолокационном сигнале ИАПП радиолокатора;

– разработан новый метод обработки радиолокационной информации с использованием свёрточной нейронной сети, позволяющий снизить порог обнаружения в ИАПП радиолокатора.

*Оценка содержания диссертации.*

Работа Исабаева К.Ж. построена по классическому принципу и состоит из 4 глав собственных исследований, заключения, практических рекомендаций и списка использованной литературы.

*Обзор литературы.* В обзоре литературе представлен общий аналитический обзор современной системы управления войсками и их ключевые аспекты, также обзор литературы по тропосферному распространению радиоволн. Рассмотрена обобщенная структура и особенности организации системы управления войсками.

*Вторая глава* посвящена методологии и методам исследования разработки концепции интеллектуальной аппаратно-программной платформы и приводятся основные составляющие такой платформы. При исследовании применены современные методики, позволяющие достоверно оценить результаты проделанной работы.

*Третья глава* посвящена проблемным вопросам обеспечения оперативной связью аппаратного компонента РЛС П-18М с командным пунктом для передачи целеуказаний на обнаруженные воздушные цели. Обосновывается перспективность использования тропосферной связи для организации передачи целеуказаний.

*Четвертая глава* посвящена результатам, полученные при применении искусственного интеллекта для обнаружения целей. Обосновывается выбор типа нейронной сети, размеров изображений, описывается ход экспериментов и полученные результаты по скорости обработки.

*Замечания и предложения.*

К полученным результатам обработки радиолокационных изображений необходимо дополнить графический материал.

**Заключение.** Диссертация Исабаева К.Ж. на тему «Исследование и разработка интеллектуальной аппаратно-программной платформы анализа радиолокационных сигналов и обработки радиолокационной информации» является индивидуальным научным исследованием, выполненным на актуальную тему. Работа имеет новизну и практическое значение, что соответствует НАК КР, предъявляемым по специальности: 05.13.05 – «элементы и устройства вычислительной техники и систем управления».

**Ответ соискателя рецензенту.**

Благодарю Вас за детальное рецензирование диссертационной работы и за положительную оценку. Ваши замечания будут учтены при окончательном оформлении работы.

**Второй рецензент.**

**Верзунов С.Н. – к.т.н., доцент.**

Настоящий период технического развития характеризуется широким использованием новых информационных технологий во всех сферах науки и производства. Поэтому разработка интеллектуальной аппаратно-программной платформы для проведения анализа радиолокационных сигналов является актуальной темой.

*Научная новизна исследований.*

В результате проведенных исследований соискателем по специальности 05.13.05 были:

- получены новые результаты экспериментальных исследований тропосферного распространения радиоволн, как на равнинных, так и на горных трассах в диапазоне УКВ для различных сезонов и времен суток;
- разработан прототип нового полигона для радиофизических исследований на базе ИАПП радиолокатора ВИИРЭиС;
- обоснован новый физический эффект в виде многопутности РРВ при тропосферном и стратосферном распространении;
- предложен способ передачи цифровых данных в радиолокационном сигнале ИАПП радиолокатора;
- разработан новый метод обработки радиолокационной информации с использованием свёрточной нейронной сети, позволяющий снизить порог обнаружения в ИАПП радиолокатора.

*Оценка содержания диссертации.*

Диссертационная работа аспиранта Исабаева К.Ж. состоит из перечня сокращений и обозначений, введения, из 4 глав, заключения, практических рекомендаций, списка использованной литературы и приложения.

*Обзор литературы.* В обзоре литературе представлен аналитический обзор современной системы управления войсками и их ключевые аспекты, обзор литературы по исследованию загоризонтного распространения радиоволн в тропосфере и по применению свёрточной нейронной сети в радиолокаторах.

*Вторая глава* состоит из 4 разделов, где рассматриваются вопросы методологии и методы исследования разработки концепции интеллектуальной аппаратно-программной платформы и проанализированы особенности взаимодействия между основными компонентами, а также рассмотрены их функциональные возможности.

*Третья глава* состоит из 6 разделов, где обосновывается необходимость создания экспериментального полигона для радиофизических измерений, представлены работы по созданию стенда для регистрации тропосферного распространения радиоволн на базе аппаратного компонента радиолокатора П-18М, приведены результаты работ по выбору и обоснованию измерительных трасс для мониторинга радиосигналов, приводятся результаты наблюдений и регистрации сигналов аппаратного компонента РЛС, анализируется структурная схема прототипа синхронизирующего устройства аппаратного компонента РЛС П-18М и предлагается новое техническое решение по её изменению для введения режима передачи данных об обнаруженных целях,

анализируется характеристика антенны аппаратного компонента РЛС П-18М и предлагается техническое решение по её изменению в зигзагообразную сжатую антенну по вертикали

*В четвертой главе обосновывается выбор типа нейронной сети, размеров изображений, описывается ход экспериментов и полученные результаты по скорости обработки, приводятся результаты экспериментов по сравнению работ рангового обнаружителя программного компонента РЛС П-18М и обнаружителя на основе искусственного интеллекта.*

*Замечания и предложения.*

К сверточной нейронной сети необходимо дополнить топологию нейронной сети и пояснение к ним.

**Заключение.** Диссертация Исабаева К.Ж. на тему «Исследование и разработка интеллектуальной аппаратно-программной платформы анализа радиолокационных сигналов и обработки радиолокационной информации» является индивидуальным научным исследованием. Работа имеет новизну и подтверждена одним патентом на изобретение и одним патентом на полезную модель и имеет практическое значение, что соответствует НАК КР, предъявляемым по специальности: 05.13.05 – элементы и устройства вычислительной техники и систем управления.

**Ответ соискателя рецензенту.**

Благодарю Вас за представленные замечания и рекомендации. Благодарю Вас за положительную оценку работы. Ваши замечания будут обязательно учтены при окончательном оформлении работы.

## **ВЫСТУПИЛИ**

**Исмаилов И.Б. – д.т.н., профессор.** В целом работа хорошая и ее можно рекомендовать к защите. Но есть рекомендации по оформлению презентации, необходимо увеличить рисунки и дать конкретные пояснения к ним.

**Ответ:** Да, я понял Ваши замечания, к следующему докладу будут устранены.

**Пресняков К.А. – д.т.н., г.н.с.** По вопросам и по ответам сегодняшнего обсуждения диссертационной работы Исабаева К.Ж. видно, что диссертант основательно подготовился и в целом работу можно считать завершённой. Рекомендую Исабаеву К.Ж. учесть замечания и рекомендации сегодняшнего обсуждения при защите диссертации. В целом я предлагаю рекомендовать работу Исабаева К.Ж. к защите.

**Бакасова А.Б. – д.т.н., доцент.** В диссертационной работе достигнуты цели по повышению эффективности работы системы управления войсками за счет разработки и применения интеллектуальной аппаратно-программной платформы. В целом поставленные цели и задачи выполнены и работы можно рекомендовать к защите.

**Керимкулова Г.К. – к.ф.-м.н., с.н.с.** Исабаев К.Ж. достиг своей цели и выполнил все поставленные задачи. Сегодня им представлены его исследования весьма успешно. Исабаев К.Ж. предложена новая концепция



методов разработки интеллектуальной аппаратно-программной платформы. С учетом рекомендаций сегодняшнего обсуждения предлагаю рекомендовать работу Исабаева К.Ж. к защите.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ** по предварительной апробации диссертационной работы Исабаева Кайыртая Жулдызтаевича на тему «Исследование и разработка интеллектуальной аппаратно-программной платформы анализа радиолокационных сигналов и обработки радиолокационной информации», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности: 05.13.05 – элементы и устройства вычислительной техники и систем управления.

*Наиболее существенные результаты, полученные диссертантом*

1. В результате проведенных исследований получены следующие результаты по специальности 05.13.05:

1. Исследован и предложен метод обработки радиолокационной информации с использованием свёрточной нейронной сети, позволяющий снизить порог обнаружения РЛС;

2. Разработан способ передачи цифровых данных в радиолокационном сигнале радиолокатора П-18М;

3. Создан алгоритм и программное обеспечение, где свёрточную нейронную сеть можно использовать для первичной обработки в радиолокаторах с темпом обзора пространства менее 1 секунды;

4. Проведены экспериментальные исследования тропосферного распространения радиоволн, как на равнинных, так и на горных трассах в диапазоне УКВ для различных сезонов и времен суток;

5. Оценка эффективности и точности работы интеллектуальной аппаратно-программной платформы показала, что обнаружила эффект многопутности распространения радиоволн при тропосферном и стратосферном распространении;

6. Внедрение обнаружителя на базе нейронной сети можно осуществить без аппаратных переделок в РЛС П-18М.

Результаты диссертационной работы защищены одним патентом на изобретение и одним патентом на полезную модель на радиолокационную станцию кругового обзора метрового диапазона волн с функцией передачи данных и на зигзагообразную сжатую антенну по вертикали.

*Оценка достоверности и новизна полученных данных*

Работа основана на многолетнем практическом исследовании тропосферного распространения радиоволн в разных метеорологических условиях и рельефах местности, в сезонные, также и суточные дни.

Результаты диссертационной работы защищены одним патентом на изобретение и одним патентом на полезную модель на радиолокационную

станцию кругового обзора метрового диапазона волн с функцией передачи данных и на зигзагообразную сжатую антенну по вертикали.

*Значение для теории и практики*

Результаты диссертационных исследований могут использоваться:

- на других радиолокационных станциях разведки, например, на РЛС 5Н84АМ, для повышения эффективности обнаружения малогабаритных беспилотных летательных аппаратов;
- в РЛС для обнаружения БПЛА.

**Председатель Керимкулова Г.К:**

Были предложения рекомендовать работу Исабаева К.Ж. к защите.

Прошу проголосовать.

**Голосование:** «За» - 14; «Против» - нет; «Воздержавшиеся» - нет.

Принято единогласно. Спасибо.

**Председатель Керимкулова Г.К:** Переходим ко второму вопросу заседания. По второму вопросу о дополнительной программе специальной дисциплине для сдачи кандидатского экзамена по диссертационной работе, разработанной сотрудниками лаборатории «Информационно-измерительных систем» при Институте машиноведения и автоматике имени Б.Ельцина НАН КР слово предоставили Аскалиевой Г.О. ведущему научному сотруднику лаборатории.

**Слушали:** Аскалиева Г.О., который изложил дополнительную программу по диссертационной работе Исабаева Кайыртая Жулдызтаевича на тему «Исследование и разработка интеллектуальной аппаратно-программной платформы анализа радиолокационных сигналов и обработки радиолокационной информации».

**По докладу вопросы не возникли.**

**Председатель.** Если нет желающих выступить, то позвольте мне подытожить заседание.

**Заключительное слово председателя – Керимкулова Г.К:**

Сегодня мы рассмотрели и достаточно полно обсудили диссертационную работу Исабаева Кайыртая Жулдызтаевича на тему «Исследование и разработка интеллектуальной аппаратно-программной платформы анализа радиолокационных сигналов и обработки радиолокационной информации» и дополнительную программу специальной дисциплины – для сдачи кандидатского минимума. Подводя итоги обсуждения, я хочу отметить, что в этой программе в полной мере освещены вопросы по функциональной возможности радиостанции с радиолокатора сделать центр управления.

Предлагаю проголосовать за утверждение дополнительной программы специальной дисциплины для сдачи кандидатского экзамена Исабаева Кайыртая Жулдызтаевича на тему «Исследование и разработка интеллектуальной аппаратно-программной платформы анализа

радиолокационных сигналов и обработки радиолокационной информации», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям 05.13.05 – элементы и устройства вычислительной техники и систем управления.

Прошу проголосовать.

**Голосование:** «За» - 14; «Против» - нет; «Воздержавшиеся» - нет.

Принято единогласно. Спасибо.

### **ПОСТАНОВИЛИ:**

1. Диссертационная работа Исабаева Кайыртая Жулдызтаевича на тему «Исследование и разработка интеллектуальной аппаратно-программной платформы анализа радиолокационных сигналов и обработки радиолокационной информации» выполнена на актуальную тему, имеет научную новизну и практическую ценность и представляют собой вклад в дальнейшее развитие в технических средствах, ориентированных на повышение подготовки инженерных кадров.

2. Принять положительное заключение по диссертационной работе Исабаева Кайыртая Жулдызтаевича на тему «Исследование и разработка интеллектуальной аппаратно-программной платформы анализа радиолокационных сигналов и обработки радиолокационной информации», и рекомендовать к дальнейшему рассмотрению в диссертационном совете Д 05.23.686 при Институте машиноведения и автоматике НАН КР И КРСУ имени Б.Ельцина на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – элементы и устройства вычислительной техники и систем управления.

3. Утвердить дополнительную программу специальной дисциплины для сдачи кандидатского экзамена Исабаева Кайыртая Жулдызтаевича на тему «Исследование и разработка интеллектуальной аппаратно-программной платформы анализа радиолокационных сигналов и обработки радиолокационной информации», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям 05.13.05 – элементы и устройства вычислительной техники и систем управления.

**Председатель объединенного семинара  
лабораторий Института машиноведения,  
автоматики и геомеханики НАН КР  
к.ф.-м.н., с.н.с.**

**Секретарь  
к.т.н., с.н.с.**



**Г.К. Керимкулова**

**Г.О. Аскалиева  
10.04.2024.г.**