

**Микаева Светлана Анатольевна,**

д. т. н., профессор,

МИРЭА – Российский технологический университет,  
Москва

Mikaeva Svetlana Anatolyevna,  
MIREA – Russian Technological University

**Газзаев Азамат Асланбекович,** студент,  
МИРЭА – Российский технологический университет,  
Москва

Gazzaev Azamat Aslanbekovich,  
MIREA – Russian Technological University

**АЛГОРИТМЫ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ  
СИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ РАДИОЛОКАЦИИ  
DIGITAL SIGNAL PROCESSING  
ALGORITHMS IN RADAR SYSTEMS**

**Аннотация:** В статье рассматриваются современные алгоритмы цифровой обработки сигналов (ЦОС) в системах радиолокации. Анализируются методы подавления шумов, фильтрации, доплеровской обработки и сжатия импульсов. Рассматриваются современные тенденции в разработке цифровых радиолокационных систем, включая применение методов машинного обучения и адаптивной обработки сигналов.

**Abstract:** The article examines modern digital signal processing (DSP) algorithms in radar systems. Methods of noise suppression, filtering, Doppler processing, and pulse compression are analyzed. Modern trends in the development of digital radar systems are considered, including the application of machine learning methods and adaptive signal processing.

**Ключевые слова:** радиолокация, цифровая обработка сигналов, спектральный анализ, доплеровский эффект, адаптивная фильтрация, машинное обучение.

**Keywords:** radar, digital signal processing, spectral analysis, Doppler effect, adaptive filtering, machine learning.

**Введение.** Развитие радиолокационных систем (РЛС) тесно связано с совершенствованием методов цифровой обработки сигналов. Современные технологии позволяют повышать точность обнаружения, снижать уровень помех и адаптироваться к изменяющимся условиям работы. Алгоритмы ЦОС играют ключевую роль в анализе и интерпретации радиолокационных данных, обеспечивая фильтрацию сигналов, подавление шумов, оценку параметров движения целей и реконструкцию изображений. В данной статье рассматриваются основные алгоритмы цифровой обработки сигналов, применяемые в радиолокационных системах, их принципы работы, преимущества и перспективы развития.

**1. Основные методы цифровой обработки сигналов в радиолокации.** Цифровая обработка сигналов в РЛС включает несколько ключевых этапов:

- Фильтрация шумов – устранение помех и паразитных сигналов.
- Спектральный анализ – извлечение информации о частотных характеристиках радиолокационного сигнала.
- Доплеровская обработка – определение скорости движения целей.
- Сжатие импульсов – повышение разрешающей способности радиолокационной системы.

1 1. Фильтрация шумов.



Для повышения качества принимаемого сигнала используются цифровые фильтры:

- Фильтры нижних частот (ФНЧ) – устраняют высокочастотные шумы.
- Фильтры Калмана – применяются для адаптивного подавления помех.
- Вейвлет-фильтрация – используется для многомасштабного анализа и устранения

локальных помех.

1 2. Спектральный анализ.

Для исследования спектрального состава радиолокационного сигнала применяются:

- Быстрое преобразование Фурье (БПФ) – основной метод анализа спектра.
- Автокорреляционные методы – используются для оценки периода повторяющихся

сигналов.

• Метод Прони – позволяет повышать точность спектрального анализа при ограниченном количестве наблюдений.

1 3. Доплеровская обработка.

Используется для определения скорости движения объектов. Основные методы:

• Коэффициентная фильтрация – позволяет выделять движущиеся цели на фоне стационарных объектов.

• Доплеровское преобразование – основано на анализе частотного сдвига сигнала, вызванного движением цели.

• Алгоритмы адаптивного подавления наземных помех – улучшают качество обнаружения в сложных условиях [1-6].

1 4. Сжатие импульсов.

Для повышения разрешающей способности радиолокационных систем применяется метод сжатия импульсов. Основные техники:

• Линейно-частотно-модулированные сигналы (ЛЧМ) – обеспечивают высокую разрешающую способность за счет увеличенной полосы частот.

• Кодовая манипуляция (Barker, Голлоуб) – повышает помехозащищенность системы.

• Автоматическая корреляция импульсов – снижает уровень боковых лепестков сигнала.

**2. Современные технологии цифровой обработки сигналов.** С развитием вычислительной техники в радиолокации активно применяются новые методы обработки сигналов:

• Машинное обучение и нейронные сети – используются для классификации и предсказания траекторий объектов.

• Когнитивная радиолокация – анализирует окружающую среду и адаптирует алгоритмы обработки сигналов в реальном времени.

• Квантовые алгоритмы обработки сигналов – перспективное направление, позволяющее повысить скорость анализа радиолокационных данных.

**3. Вызовы и перспективы развития.**

Несмотря на значительные успехи в области цифровой обработки сигналов в радиолокации, остается ряд нерешенных задач:

• Повышение точности обработки сигналов в условиях сильных помех.

• Снижение вычислительной нагрузки при обработке больших объемов данных.

• Разработка энергоэффективных алгоритмов для беспилотных и портативных РЛС.

• Интеграция радиолокационных систем с искусственным интеллектом для автоматического принятия решений.

В перспективе ожидается дальнейшее развитие адаптивных алгоритмов обработки сигналов, внедрение квантовых вычислений и использование мультиспектральных методов для повышения точности обнаружения.



**Заключение.** Алгоритмы цифровой обработки сигналов играют ключевую роль в современных радиолокационных системах. Развитие методов фильтрации, спектрального анализа, доплеровской обработки и сжатия импульсов позволяет повысить точность и эффективность радиолокационных станций. Будущие достижения в области машинного обучения, квантовых вычислений и когнитивных систем откроют новые горизонты для радиолокации, обеспечивая более точное и оперативное обнаружение объектов в сложных условиях.

*Список литературы:*

1. Skolnik M. Introduction to Radar Systems. – McGraw-Hill, 2008.
2. Richards M.A. Fundamentals of Radar Signal Processing. – McGraw-Hill, 2014.
3. Van Trees H.L. Detection, Estimation, and Modulation Theory. – Wiley, 2001.
4. Haykin S. Adaptive Filter Theory. – Pearson, 2013.
5. Krieger G., Moreira A. Spaceborne Synthetic Aperture Radar: Techniques and Applications. – IEEE Press, 2019.
6. Kim Y. Machine Learning Techniques for Radar Signal Processing. – CRC Press, 2021.

