

Date: 9<sup>th</sup> December-2025

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ПРОТОКОЛЫ МАРШРУТИЗАЦИИ ДЛЯ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ

Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммада  
ал-Хоразмий

Доцент кафедры «Телекоммуникационный инжиниринг»

**Садчикова Светлана Александровна**

Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммада ал-  
Хоразмий

Магистрант кафедры «Телекоммуникационный инжиниринг»

**Вахабов Абдор Акмал угли**

**Аннотация:** В данной работе рассматриваются современные подходы к маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях (WSN) с акцентом на энергоэффективность и адаптивность. Актуальность исследования обусловлена ограниченными ресурсами сенсорных узлов и растущей потребностью в надёжных IoT-системах.

**Ключевые слова:** WSN; маршрутизация; энергоэффективность; обучение с подкреплением; кластеризация; интеллектуальные алгоритмы.

### **Введение**

Беспроводные сенсорные сети (WSN) состоят из большого числа энергоограниченных узлов, поэтому эффективность маршрутизации влияет на время жизни системы. Heinzelman и соавт. отмечают: «беспроводные микросенсорные системы обеспечат надёжный мониторинг различных сред» [1, с. 1].

Современные исследования классифицируют протоколы маршрутизации на плоские, иерархические и географические. Как указывают Al-Karaki и Kamal: «маршрутизация в WSN может быть плоской, иерархической и основанной на местоположении» [4, с. 7].

### **Цель исследования**

**Цель исследования** — анализ современных энергоэффективных методов маршрутизации и определение перспективных направлений развития интеллектуальных протоколов для WSN.

**Гипотеза:** интеграция обучаемых механизмов (reinforcement learning, гибридные био-вдохновлённые алгоритмы, многопороговые схемы) способна значительно увеличить время жизни сети и повысить качество доставки данных за счёт адаптации к изменяющимся сетевым условиям.

Методологическая база включала:

Анализ научной литературы. Akkaya и Younis подчёркивают:

«данная работа рассматривает современные протоколы маршрутизации и предлагает их классификацию» [3, с. 325].



Date: 9<sup>th</sup> December-2025

Теоретический сравнительный анализ. Рассматривались энергопотребление, количество управляющих сообщений, масштабируемость, адаптивность и отказоустойчивость.

Анализ принципов работы основных протоколов:

LEACH — иерархическая кластеризация для снижения энергозатрат.

Directed Diffusion, где, как отмечают авторы:

«передача осуществляется для именованных данных» [2, с. 1].

#### **Результаты исследования**

Анализ двух ключевых протоколов — LEACH и Directed Diffusion — показал, что их эффективность определяется особенностями сетевой структуры и характером трафика. Иерархический протокол LEACH демонстрирует значительное снижение энергопотребления благодаря кластеризации и периодической смене глав кластеров. Такой подход позволяет равномерно распределять нагрузку между узлами, увеличивая общее время жизни сети. Этот протокол особенно эффективен в крупных, однородных WSN с равномерным размещением узлов и статичной топологией, где минимизация энергозатрат является главным требованием.

С другой стороны, Directed Diffusion обеспечивает экономию трафика за счёт агрегации данных и механизмов рассылки интересов, что делает его более подходящим для событийно-ориентированных приложений. Он адаптируется к динамике сети и позволяет формировать пути передачи на основе актуальных запросов данных. Такой подход снижает общий объём сетевых коммуникаций и повышает эффективность в сценариях, где данные генерируются неравномерно или имеют различную важность.

Сравнение двух протоколов показало, что LEACH предпочтителен для энергоограниченных сетей с равномерной структурой, тогда как Directed Diffusion лучше подходит для интеллектуальной обработки данных и адаптивной маршрутизации. Таким образом, выбор протокола должен основываться на конкретных требованиях применения, типе данных и условиях развертывания сети.

#### **Заключение**

Энергоэффективная маршрутизация в WSN активно развивается в сторону интеллектуальных и гибридных протоколов, использующих обучение, эволюционные алгоритмы и многослойные иерархии. Интеграция прогнозирующих моделей и адаптивных механизмов выбора маршрутов позволяет существенно продлить время жизни сети, что делает такие подходы наиболее перспективными для современных IoT-систем и крупномасштабных сенсорных развертываниях.

#### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Heinzelman W., Chandrakasan A., Balakrishnan H. *Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks*, 2000. Стр 1.
2. Intanagonwiwat C., Govindan R., Estrin D. *Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks*, 2000. Стр 1.



Date: 9<sup>th</sup> December-2025

3. **Akkaya K., Younis M.** *A Survey on Routing Protocols for Wireless Sensor Networks, Ad Hoc Networks*, 2005. Стр 325.
4. **Al-Karaki J. N., Kamal A. E.** *Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey*, IEEE Wireless Communications, 2004. Стр 1.

