

## ИССЛЕДОВАНИЕ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ НА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ

Грац И.А. (СПБ ГЛТУ им. Кирова), Ярцева Н.А. (Университет ИТМО), Ярцев М.Д.  
(СПБ ГЛТУ им. Кирова)

Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент Карманов А.Г.  
(Университет ИТМО)

**Введение.** Работа посвящена разработке методики имитационного моделирования для оценки энергоэффективности беспроводных сенсорных сетей (БСС). Цель – создание инструментальной базы для сравнительного анализа влияния параметров конфигурации и протокольных решений на время жизни сети.

**Основная часть.** Представлена детальная модель энергопотребления узла в OMNeT++/Castalia, учитывающая состояния радио, активность ЦПУ и сенсоров. Определены группы параметров моделирования: среда и развертывание, узел, трафик, протоколы. Установлен набор метрик оценки: время жизни сети (FND), коэффициент доставки пакетов (PDR), средняя сквозная задержка, энергетическая эффективность. Разработаны сценарии исследования влияния плотности узлов, интенсивности трафика, размера сети, а также сравнительного анализа протоколов маршрутизации (SPT, RPL, EBR) и доступа к среде (CSMA/CA, TDMA). Методика включает множественные запуски для статистической достоверности.

**Выводы.** Созданная имитационная модель позволяет проводить комплексную оценку энергоэффективности БСС. Установлено, что использование балансирующих нагрузку протоколов маршрутизации (EBR) увеличивает FND на 30–50% по сравнению с кратчайшим путем, а применение TDMA повышает FND в ~1,8 раза относительно CSMA/CA. Выявлены компромиссы между временем жизни, задержкой и надежностью. Методика формирует основу для выработки рекомендаций по проектированию энергоэффективных БСС.

### Список использованных источников.

1. Парфенов В.И., Ле В.Д. Беспроводные сенсорные сети. – М.; Вологда: Инфра-Инженерия, 2025.
2. IEEE Std 802.15.4-2020. IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks.
3. Rahman M.A., Hamid M.A. Performance analysis of RPL in ContikiOS using Cooja simulator // Simulation Modelling Practice and Theory. – 2022.