

---

## ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

---

УДК 004.75, 004.94

**А. М. Заяц,**

к. т. н., профессор кафедры ИСиТФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет» им. С. М. Кирова, г. Санкт-Петербург,  
*zamfta@yandex.ru*

**С. П. Хабаров,**

к. т. н., доцент кафедры ИСиТФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет» им. С. М. Кирова, г. Санкт-Петербург,  
*serg.habarov@mail.ru*

### ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

*В статье рассматриваются вопросы моделирования информационно-измерительного комплекса мониторинга лесных экосистем, на базе беспроводных сенсорных сетей. Обоснована необходимость применения средств аналитического и имитационного моделирования для исследования таких сетей. Рассматриваются марковские процессы и среда имитационного моделирования OMNeT++.*

**Ключевые слова:** мониторинг лесных территорий, беспроводные сенсорные сети, моделирование.

**A. M. Zayats,**

Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of ISIT, S. M. Kirov St. Petersburg State Forestry University, St. Petersburg,  
*zamfta@yandex.ru*

**S. P. Khabarov,**

Ph. D., Associate Professor of the Department of ISIT of the S. M. Kirov St. Petersburg State Forest Engineering University, St. Petersburg,  
*serg.habarov@mail.ru*

### APPROACH TO MODELING WIRELESS NETWORKS SENSOR NETWORKS FOREST AREA MONITORING SYSTEMS

*The article deals with the issues of modeling the information and measurement complex for monitoring forest ecosystems, based on wireless sensor networks. The necessity of using analytical and simulation modeling tools for the study of such networks is justified. Markov processes and the OMNeT++ simulation environment are considered.*

**Keywords:** monitoring of forest areas, wireless sensor networks, modeling.

При рачительном ведении лесного хозяйства задачи наблюдения, анализа состояния и оценки влияния различных факторов на лесные экосистемы всегда актуальны. Эти задачи решались и решаются различными способами и средствами мониторинга лесных территорий.

Одним из наиболее эффективных способов, обеспечивающим не только собственно задачи мониторинга, но и снижение риска негативного влияния антропогенных факторов на лесные экосистемы является применение беспроводных сенсорных сетей (БСС), которые могут располагаться на больших территориях и представляют собой распределенные информационно-измерительные комплексы [1, 2].

Возможность развертывания сети в сложных условиях, на больших территориях с различными ландшафтными и природными особенностями, где обычно невозможна прокладка проводных систем делают технологию БСС хорошо адаптируемой для мониторинга лесных экосистем.

При реализации таких проектов необходимо учитывать множество факторов различного характера и происхождения.

Определить степень воздействия таких факторов в реальных условиях сложная и дорогостоящая задача. Создание стенда для тестирования БСС не решает задачу ее оценки, так как многие факторы влияют на результаты эксперимента зачастую непредсказуемо, поскольку их учет должен осуществляться комплексно при взаимозависимости друг от друга.

В этих условиях наиболее рациональным является моделирование, позволяющее с высокой степенью достоверности оценить влияние различных факторов на функционирование сети.

На предпроектном этапе разработки БСС важно определить оценочные значения показателей эффективности для чего можно использовать хорошо апробированный аппарат марковских процессов.

В работах [3, 4] представлена модель узла БСС, в которой формируются заявки на обслуживание следующих пакетов (рис.):

- пакеты, от датчиков БСС поступающие на обслуживание в микропроцессоры ее узлов;
- пакеты, поступающие от других узлов сети для ретрансляции;
- пакеты, прошедшие обслуживание в микропроцессоре узла;
- выходной поток пакетов с узлов на шлюз.

Обслуживающими приборами в модели являются микропроцессоры (МП) и приемопередатчики (ПП) узлов. Под обслуживанием заявок понимается процесс параллельно-последовательной их обработки обслуживающими приборами.

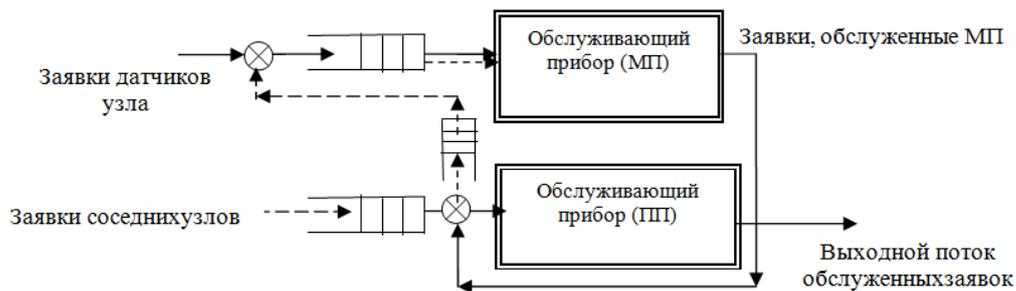


Рис. Модель узла как система массового обслуживания

Вся сеть представлена многоканальной, многофазной системой массового обслуживания. Решение задачи исследования такой системы, с варьированием параметра  $N$  (число узлов БСС), осуществлено получением формальных выражений моделирующих функционирование  $G$ -фазной СМО. Для этого разработан алгоритм, автоматизирующий процесс определения показателей эффективности функционирования БСС при изменяющихся ее параметрах.

Эта задача решалась в следующей последовательности [5]:

1. Получены аналитическое выражение для определения количества состояний исследуемого процесса.
2. Разработан порядок нумерации состояний в модели.
3. Выведено выражение, связывающее пространственные координаты состояний с их номерами.
4. Разработана методика оценки эффективности БСС.
5. Разработан алгоритм определения стационарных вероятностей марковской цепи и получения значений показателей эффективности БСС.

Анализ показал, что основным инструментом анализа и исследования БСС, на этапе непосредственного проектирования, является имитационное моделирование, позволяющее выбрать ее структуру, определить связность узлов, способы маршрутизации и т. п.

В настоящее время имеется достаточное количество имитационных сред обеспечивающих решение поставленных задач.

При исследовании и построении имитационных моделей возникает вопрос о выборе инструментария. При этом важными качествами для создания эффективной модели являются:

- детальная реализация протоколов беспроводных самоорганизующихся сетей;
- возможность написания и подключения модулей (узлов);
- возможность изменения параметров моделирования;
- платформенная независимость;
- развитый графический интерфейс;
- доступность продукта и его цена;

Исходя из отмеченных требований, наиболее востребованной средой имитационного моделирования являются OMNeT++ (Objective Modular Network Testbed in C++) – расширяемый, модульный фреймворк, на основе компонентов библиотеки C++, используемый для построения моделей сети [6, 7]. Он имеет детальную реализацию протоколов, начиная с физического и канального уровней, и пред-

ставляет собой симулятор дискретных событий. OMNeT++ бесплатный для некоммерческого пользования симулятор, основанный на Eclipse с графическими инструментами Castalia.

Наличие в OMNeT++ развитого графического интерфейса, как для построения моделей, так и для анализа полученных результатов, а также свободное распространение и подробная документация делают его привлекательным для исследования сетей.

В нем при создании модели работы сети достаточно подробного описания типичных узлов сети и алгоритмов их взаимодействия. В среде имитационного моделирования работа беспроводной сенсорной сети реализуется с использованием принципов агентного моделирования.

Программа OMNeT++ подходит для моделирования любой сети, основой которой является дискретное событие. Процесс удобно отображается в виде объектов, обменивающимися сообщениями. Модели программы собираются из компонентов множественного использования, называемых модулями. Модули можно использовать и объединять много раз. Они соединяются между собой с помощью портов, и объединяются в составные модули с использованием высокоуровневого языка программирования NED. Модули связываются посредством передачи сообщений, которые содержат произвольные структуры данных. Они могут передавать сообщения по определенным портам и соединениям к серверу или непосредственно друг другу.

Программа OMNeT++ имеет несложный для освоения интерфейс, бесплатна для использования, в ней реализованы основные функции сетевого уровня протокола ZigBee, ее применение оправдано для моделирования и исследования беспроводных сенсорных сетей.

В работах [8, 9] приведены модели БСС в среде OMNeT++, которые могут иметь произвольное количество узлов, а также позволяют определять необходимое количество точек доступа и места размещения для обеспечения полноценного покрытия мониторинговой области лесной территории.

#### Список литературы

1. Заяц А. М., Логачев А. А. Информационная система мониторинга лесов и лесных пожаров с использованием беспроводных сенсорных сетей // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. СПб. :СПбГЛТУ, 2016. № 216. С. 241–255.
2. Заяц А. М., Думов М. И. Обзор беспроводных сенсорных сетей и технологий информационных систем оценки лесной пожароопасности и мониторинга лесов // Информационные системы и технологии: теория и практика : сб. науч. трудов. СПб. : СПбГЛТУ, 2016. № 8. С. 5–9.
3. Заяц А. М., Игнатъева Т. И. Математическая модель функционирования беспроводной сенсорной сети // Информационные системы и технологии: теория и практика : сб. науч. трудов. СПб.: СПбГЛТУ, 2019. № 10. С. 3–10.
4. Заяц А. М., Игнатъева Т. И. Модельное представление узлов беспроводной сенсорной сети // Актуальные вопросы в лесном хозяйстве : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, 11–12 ноября 2020 г. СПб. : Изд-во «СИНЭЛ», 2020. С. 210.
5. Заяц А. М., Игнатъева Т. И. Алгоритм определения показателей эффективности беспроводных сенсорных сетей // Информационные системы и технологии: теория и практика : сб. науч. трудов. СПб. : СПбГЛТУ, 2021. № 13.
6. Заяц А. М., Хабаров С. П. Настройка беспроводных соединений в системах мониторинга лесных территорий // Леса России: политика, промышленность, наука, образование : материалы третьей международной НТК / под ред. В. М. Гедьо, 2018. С. 80–83.
7. Хабаров С. П. Моделирование Ethernet сетей в среде OMNeT++ INET framework // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2018. Т. 18. № 3. С. 462–472.
8. Заяц А. М., Хабаров С. П. Исследование алгоритма работы распределенной системы мониторинга лесных территорий // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2019. № 229.
9. Заяц А. М., Хабаров С. П. Построение моделей беспроводных сетей с учетом энергопотребления и мобильности ее узлов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2020. Вып. 232. С. 252–264.