УДК 004.738.5

ИССЛЕДОВАНИЕ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ

Ачилова И.И., Глушак Е.В.

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики», Самара, e-mail: achilova_ilvira@mail.ru

Проведен анализ беспроводных сенсорных сетей. Для исследований выбрана программа OMNeT++. Реализована задача по исследованию модельного ряда беспроводных сенсорных сетей и оценки параметров их функционирования. Были решены следующие задачи: усовершенствована модель энергопотребления в беспроводных сенсорных сетях, предложен алгоритм работы данной модели, позволяющий уменьшить задержки при передаче пакетов между узлами. Разработана компьютерная модель в выбранной программе, доказано, что применение данной модели эффективно и целесообразно на практике. В данной статье было проведено исследование энергопотребления узлов сети. Именно энергопотребление является ключевым параметром качества функционирования беспроводных сенсорных сетей, поэтому вопрос о его расчете при создании подобных систем возникает первым. В работе проведен подробный анализ энергопотребления узлов беспроводных сенсорных сетей, а также предложена методика расчета энергопотребления оконечных узлов. Предложены различные подходы по снижению энергопотребления. Главным моментом энергоэффективных сетевых операций будет возможность поместить больше узлов в спящий режим, непосредственно для увеличения продолжительности их работы от батареи. Также в сенсорных сетях с применением технологии ZigBee возможно сжатие информации перед ее отправкой. Количество затраченной энергии аналогично будет зависеть от выбранной сетевой топологии. Доказано, что самые малые затраты энергии происходят при использовании топологий «звезда» или «кластерное дерево», потому что в этих топологиях координаторы непосредственно подключены к стационарной сети.

Ключевые слова: беспроводная сенсорная сеть, программа Omnet++, задержки при передаче, энергопотребление датчиков, помехи, пропускная способность сети, сохранение энергии

THE STUDY OF WIRELESS SENSOR NETWORKS

Achilova I.I., Glushak E.V.

Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics, Samara, e-mail: achilova_ilvira@mail.ru

The analysis of wireless sensor networks is carried out. OMNeT++ is selected for research. The task of studying the model range of wireless sensor networks and evaluating the parameters of their operation is implemented. The following tasks have been solved: the model of power consumption in wireless sensor networks has been improved, the algorithm of this model has been proposed, which allows to reduce delays in the transfer of packets between nodes. The computer model in the chosen program is developed, it is proved that application of this model is effective and expedient in practice. In this article, we conducted a study of power consumption of network nodes. It is the power consumption that is the key parameter for the quality of the wireless sensor networks, so the question of its calculation when creating such systems arises first. The paper presents a detailed analysis of the power consumption of wireless sensor networks nodes, as well as the proposed method of calculating the power consumption of terminals. Various approaches to reduce energy consumption are proposed. The main point of energy-efficient network operations will be the ability to put more nodes in sleep mode, directly to increase their battery life. Also in sensor networks using ZigBee technology it is possible to compress information before sending it. The amount of energy consumed will similarly depend on the network topology selected. It is proved that the lowest energy costs occur when using star or cluster tree topologies, because in these topologies the coordinators are directly connected to the fixed network.

Keywords: wireless sensor network, Omnet++ program, transmission delays, sensor power consumption, interference, network bandwidth, energy conservation

Недавние достижения в области полупроводниковых, сетевых и материально-технических технологий ведут повсеместное развертывание широкомасштабных беспроводных сенсорных сетей (WSN).

Беспроводная сенсорная сеть – это распределённая, самоорганизующаяся сеть множества датчиков (сенсоров) и исполнительных устройств, объединенных между собой посредством радиоканала. Причем область покрытия подобной сети может составлять от нескольких метров до нескольких километров за счет способности ретрансляции сообщений от одного элемента к другому [1].

В [2] была предложена модель беспроводной сенсорной сети. Чтобы оценить эффективность предлагаемой модели, выполним моделирование в программном пакете OMNeT++. Проведем анализ процедуры моделирования и результатов моделирования. OMNeT++ – это объектно-ориентированный симулятор сети с дискретным событием [3–5].

В симуляции есть два типа пакетов: пакеты сообщений, которые используются узлами датчиков в сети для отправки информации на узел приемника, а второй тип – это энергетический пакет, который

используется для передачи энергетической информации в узел мониторинга [6]. В симуляции каждый узел периодически вычисляет количество потребляемой энергии, а также прогнозирует количество энергии, которое он будет потреблять в предстоящем периоде. Проводится сравнение количества энергии потребляемой с прогнозируемым: если разница между ними больше, чем определенный порог, узел отправит энергетический пакет в главный узел сети (базовую станцию). Часть пакетов содержат информацию о прогнозируемом потреблении энергии в узлах. Численные значения, выбранные для моделирования, можно увидеть в таблице ниже.

Использованные численные значения

Параметры	Значения
Диапазон передачи	15 м
Число узлов	100
Начальная энергия	200J
Площадь	100 м *100 м
Положение узла приемника	x = 50 m, y = 50 m

Эти значения используются во всех симуляциях. Чтобы продемонстрировать эффективность предлагаемой модели прогнозирования, реализована сеть с сотней узлов. Узлы в сети используют выбранный протокол маршрутизации, называемый MFR [7], для пересылки пакета к узлу приемника. Узел, использующий MFR, пересылает данные в узел в своем диапазоне передачи.

На рис. 1 узел S передает его данные в узел M, поскольку он ближе к приемнику D, чем другие узлы в его диапазон передачи, когда он проецируется на линию, соединяющую узел S и приемник D. Узлы датчиков используют системное сообщение о местоположении, чтобы уведомить об их местоположении их соседей. Узлы датчиков в сети заполняют таблицу маршрутизации местоположение их соседей, и выбирают ближайший в качестве следующего для передачи данных.

Представим моделирования, выполненные с использованием моделирования OMNeT ++. Анализируется ошибка между остаточной энергией в каждом узле и значением, зарегистрированным в узле мониторинга для различного значения порога. Далее исследуется соотношение между числом пакетов энергии, отправленных на контрольный узел, и используемым пороговым значением. Затраты энергии – это энергия, затрачиваемая узлами в сети для хранения информации в контрольном узле относительно количества остаточной энергии, оставшейся в их батареях. Эта энергия сети зависит от среднего количества энергетических пакетов, отправляемых на узел мониторинга каждым узлом датчика. На рис. 2 показано среднее количество пакетов, отправленных на узел для разных пороговых значений, когда E = 100 с.

После запуска моделирования в течение двух с половиной часов результаты моделирования представлены на рис. 2 и 3. Графики на рисунках показывают количество энергетических пакетов, отправленных на контрольный узел для трех периодов прогнозирования (T = 200, T = 300 и T = 400), когда две разные максимальные скорости прибытия событий (E = 100 с и E = 50 с). Графики на двух рисунках продемонстрировали, как скорость прихода увеличивается, количество отправленных энергетических пакетов обычно увеличивается. При одинаковой скорости прибытия данных количество отправленных пакетов энергии увеличивается, поскольку порог ошибки предсказания уменьшается.

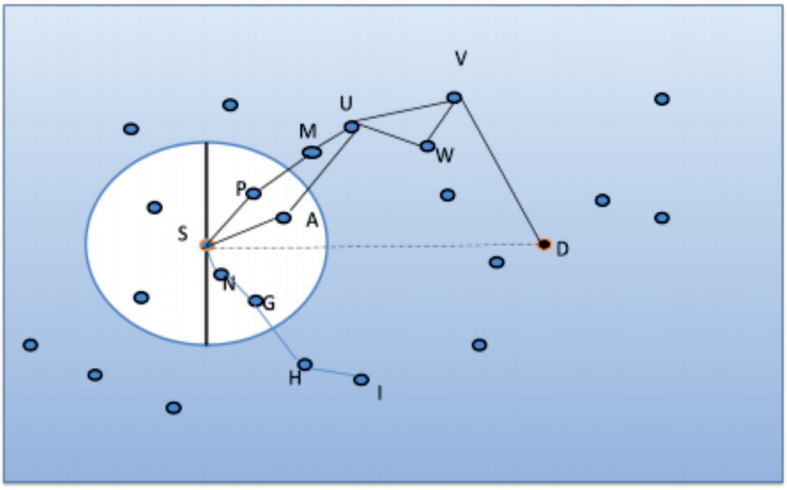

Рис. 1. MFR

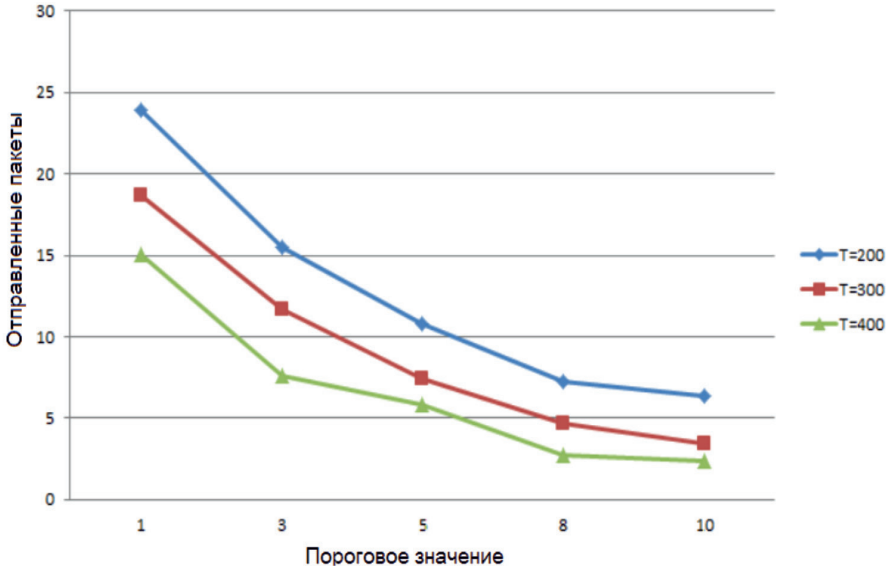

Рис. 2. Среднее количество пакетов, отправленных на узел, когда E = 100 с

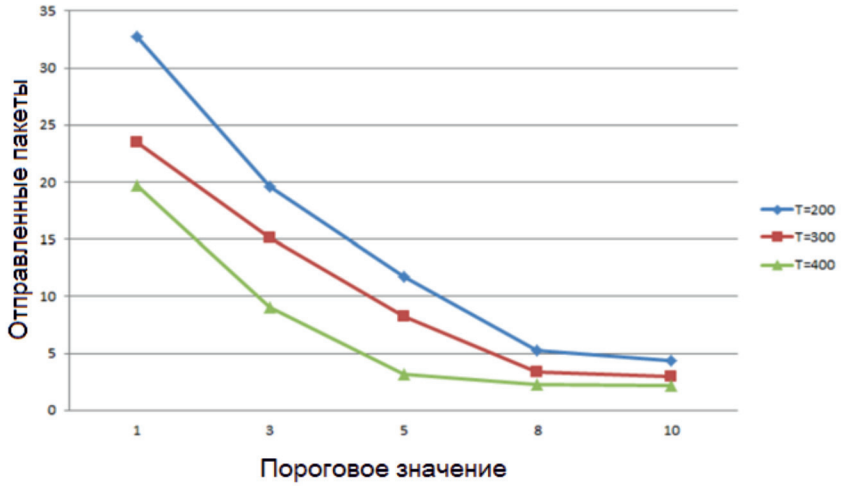

Рис. 3. Среднее количество пакетов, отправленных на узел, когда E = 50 с

На рис. 4 и 5 показано количество пакетов энергии, отправленных при возникновении события, которые запускают датчик сенсорных узлов, считаются строго периодическими. Используемые периоды прибытия между событиями P = 50 и P = 100 с. Согласно графикам, количество энергетических пакетов, отправленных с каждого узла, увеличилось, так как время прибытия события уменьшилось. За тот же период отправленное количество пакетов показало приращение при уменьшении порога.

Энергия при построении карты энергии напрямую связана с количеством потраченной энергии, в результате чего он также увеличивается, поскольку порог ошибки прогнозирования уменьшен. Результаты выполненных имитаций также показали, что период прогнозирования увеличивает количество отправленных пакетов энергии. Это из-за того, что с более длинными интервалами прогнозирования потребление энергии узлов проявляет более периодический характер, чем более короткие интервалы прогнозирования. Это приводит к более точному прогнозу потребления энергии, поскольку метод зависит от прошлой истории потребления энергии узлов для прогнозирования.

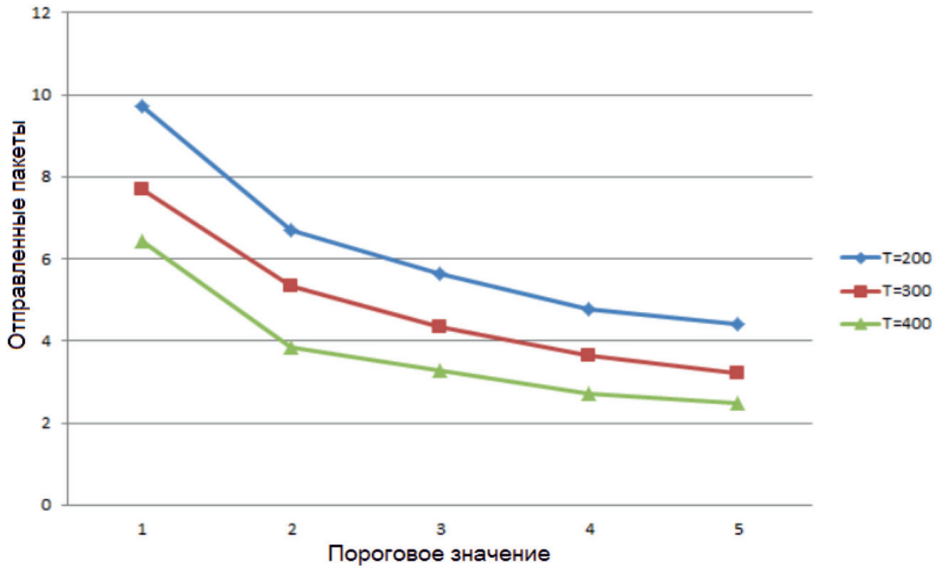

Рис. 4. Среднее количество пакетов, отправленных на узел, когда P = 100 с

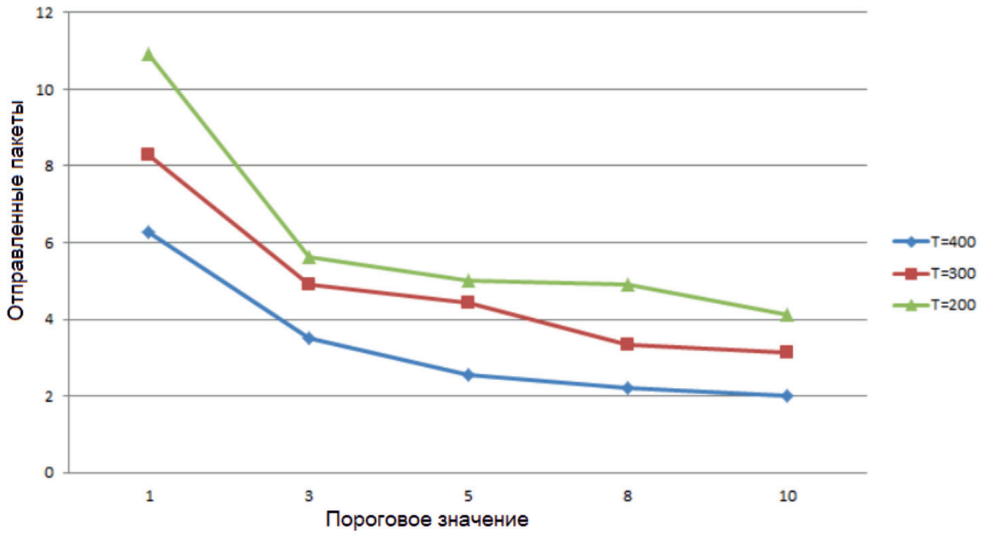

Рис. 5. Среднее количество пакетов, отправленных на узел, когда P = 50 с

На рис. 6 показано сравнение результатов, полученных при экспоненциальном использовании метода, предложенного в этой работе, и результаты, найденные в [8]. Сравнение производится на основе среднего количества энергетических пакетов, отправленных на узел мониторинга для различных пороговых значений.

Как правило, среднее число энергии пакетов, отправленные на узел мониторинга, выше для всех пороговых значений, используемых, когда используется экспоненциальная модель, чем вероятностный метод в [8], когда предполагается, что появление событий в окружающей среде равномерно распределено. Это связано с тем, что метод экспоненциального усреднения предсказывает предстоящее потребление энергии узлов на основе их истории потребления энергии. Из-за появления неожиданных событий поведение некоторых из потребляющих энергию узлов может отклоняться от средней энергии, которую они использовали в прошлом. Это влияет на ожидаемые предсказания истощения энергии в будущем узлов, побуждая узлы отправлять большее количество пакетов.

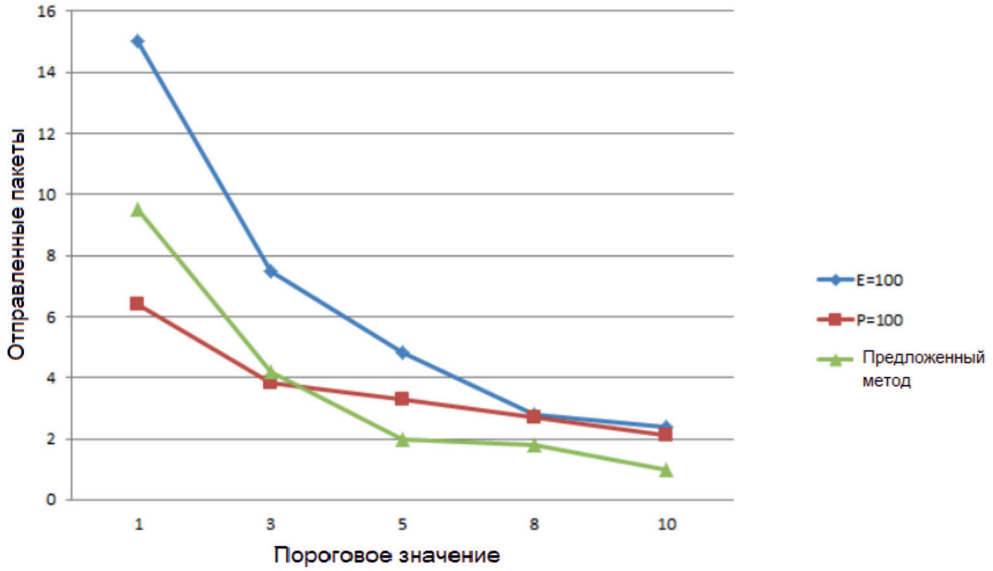

Рис. 6. Сравнение моделей (среднее количество отправленных пакетов на узел)

Чем выше количество пакетов энергии, отправленных на мониторинг узла, тем выше стоимость строительства энергетической карты. В случае строго периодической модели прибытия событий экспоненциальная модель, используемая в этой работе, показывает лучшую производительность, чем модель, используемая в [8], когда порог установлен на 1% и 3%. Это связано с постоянным потреблением энергии узлов, связанных с периодическим характером событий.

На рис. 7 и 8 показано общее количество пакетов в сети для двух разных моделей прибытия пакетов. В обоих случаях общее количество пакетов энергии в сети увеличивается, когда пороговое значение уменьшается, а количество пакетов сообщений остается неизменным. Рост общего количества энергетических пакетов увеличивает стоимость энергетической карты, поскольку он напрямую связан с количеством энергетических пакетов, отправленных из узла датчика. Обе цифры показывают общее количество пакетов в сети для всего периода моделирования, когда период прогнозирования установлен в 400 с.

Оценка мониторинга энергии – это разница между остаточной энергией каждого узла и остаточной энергией, зарегистрированной в контрольном узле [9]. В результате оценки сделаем вывод, что превышающее пороговое значение количество энергии, накапливается в узле мониторинга и отклонение больше для более высоких пороговых значений.

Заключение

Подводя итоги, рекомендуем различные подходы по снижению энергопотребления:

1) главным моментом энергоэффективных сетевых операций будет возможность поместить больше узлов в спящий режим, непосредственно для увеличения продолжительности их работы от батареи. Когда сенсорный узел находится в активном состоянии, он может перейти в режим сна, позволяющий ему снизить потребление энергии. Сенсорный узел переходит в данный режим между сеансами приема/передачи данных. Все режимы состоят из циклов, а каждый цикл будет состоять из периодов сна и периодов прослушивания. Максимальные затраты энергии будут на передаче и приеме данных. А именно, одним из вариантов снижения энергопотребления будет переход датчика из активного режима в режим сна, когда потребление энергии будет минимально;

2) в сенсорных сетях с применением технологии ZigBee возможно сжатие информации перед ее отправкой. При этом уменьшается время передачи данных, само устройство уменьшает время своего пребывания в эфире и, естественно, расходует меньшее количества энергии на передачу пакета данных. Для непосредственного сжатия необходимы кодеки. Использование кодеков позволяет уменьшить потребление энергии за счет сжатия передаваемой информации. Минимизация объема транслируемых данных приведет к уменьшению энергопотребления.

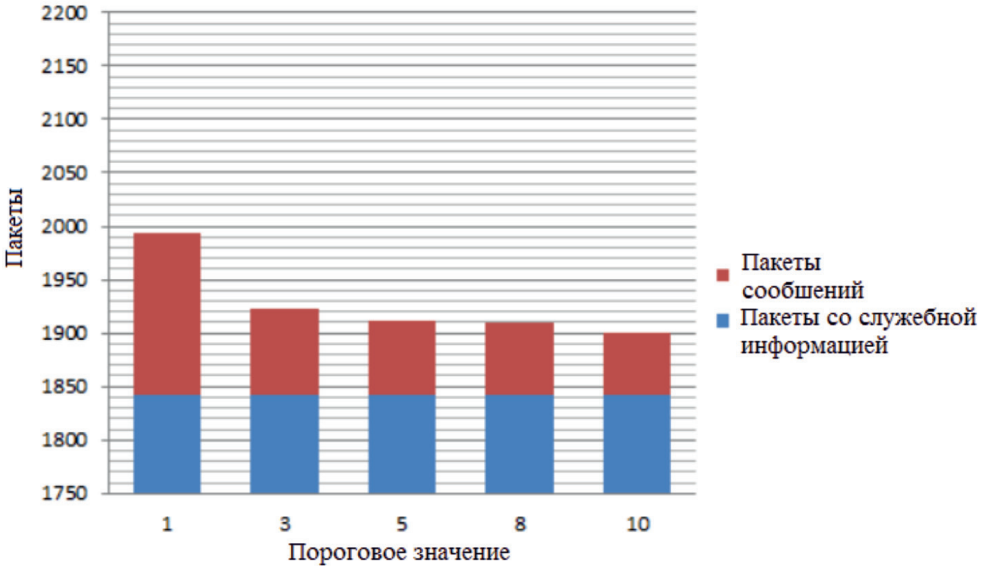

Рис. 7. Общее количество пакетов в сети для P = 50

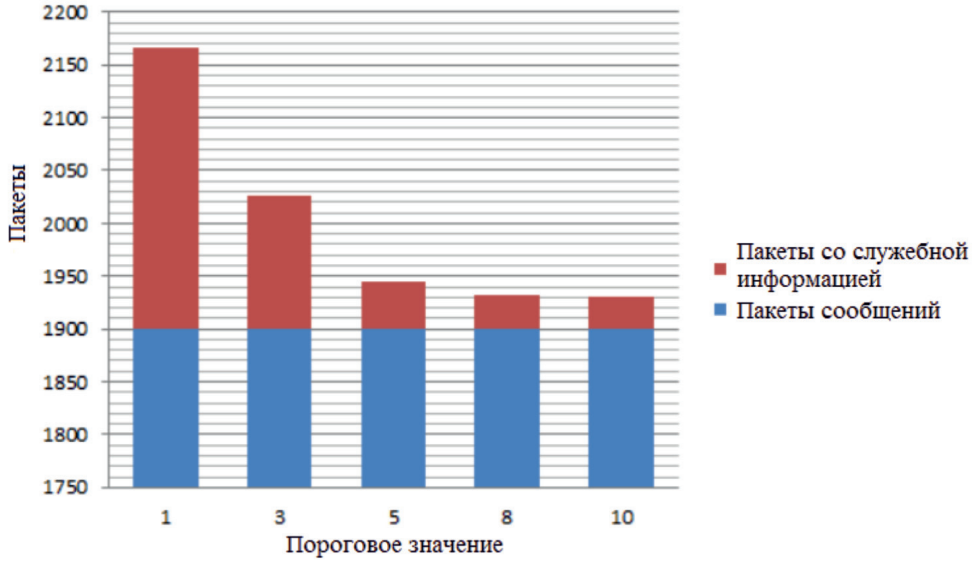

Рис. 8. Общее количество пакетов в сети для E = 50

3) количество затраченной энергии аналогично будет зависеть от выбранной сетевой топологии. Энергия тратится больше в ячейковой топологии за счет того, что каждый узел сети выходит на связь чаще, и, следовательно, в рабочем состоянии он находится больше.

Самые малые затраты энергии происходят при использовании топологий «звезда» или «кластерное дерево», потому что в этих топологиях координаторы непосредственно подключены к стационарной сети.

Список литературы

1. Терентьев М.Н. Метод функционирования систем мониторинга параметров объектов с изменяемой конфигурацией на базе дискретных беспроводных сенсорных сетей: дис. … канд. техн. наук: 05.13.15 / М.Н. Терентьев. – Москва, 2010.– 154 с.

2. Хуснуллин В.И. Исследование энергопотребления узлов в беспроводной сенсорной сети / В.И. Хуснуллин, Е.В. Глушак // Тез. докл. на II научном форуме «Телекоммуникации: теория и технологии (ТТТ)» на XVIII Международной научно-технической конференции «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций». – Казань, 2017. – Т. 2. – С. 10–13.

3. Иванова И.А. Определение периметра зоны покрытия беспроводных сенсорных сетей / И.А. Иванова // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2010. – № 10. – С. 25–30.

4. Власова В.А. Анализ энергоциклов узлов беспроводных сенсорных сетей / В.А. Власова, А.Н. Зеленин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – Т. 3, № 9 (57). – С. 13–17.

5. Галкин П.В. Особенности реализации беспроводных сенсорных сетей на основе технологии ZigBee: матер. VI межд. науч.-практ. конф. / П.В. Галкин, Д.В. Карловский // Актуальные проблемы наук. – 2010. – № 31. – С. 7–11.

6. Баскаков С. Оценка энергопотребления беспроводных узлов в сетях MeshLogic / С. Баскаков // Беспроводные технологии. – 2010. – № 1. – С. 28–31.

7. Киреев А.О. Распределенная система энергетического мониторинга беспроводных сенсорных сетей / А.О. Киреев, А.В. Светлов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 5(118). – С. 60–65.

8. Daniel Kifetew Shenkutie, Residual Energy Monitoring in Wireless Sensor Networks / School of Information Science, Computer and Electrical Engineering Halmstad University. – 2011. – 84 с.

9. Краморенко Е.Г. Понижение энергопотребления сенсорных сетей за счет предварительной компрессии данных: матер. к IV Всеукр. науч.-техн. конф. / Е.Г. Краморенко, М.В. Привалов // Информационные управляющие системы и компьютерный мониторинг 2013. – Донецк: ДонНТУ, 2013. – С. 364–369.