

Д.Д. Жаксыгулова<sup>1\*</sup>, С.Ж. Рахметуллина<sup>1</sup>, С.А. Гнатюк<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск, Казахстан

<sup>2</sup>Национальный авиационный университет, г. Киев, Украина  
\*e-mail: daurija\_zd@mail.ru

## ИССЛЕДОВАНИЯ МОДЕЛЕЙ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА НА ОСНОВЕ IOT

### Аннотация

В статье проведен анализ протоколов решения IoT-задач и усовершенствованы стохастические модели функционирования беспроводных сенсорных сетей, использующие рандомизированные параметры сети (с переменным числом узлов и случайным участием узлов в отдельных группах узлов сети). Это позволило оценить вероятность коллизии сигналов и более эффективно проектировать протоколы связи Интернета вещей. Полученные модели позволили оценить максимальное количество узлов, обеспечивающих качество передачи на уровне вероятности коллизии не выше определенного значения.

В частности, выяснено, что для достижения вероятности коллизии не выше определенного порога, требуется 50 узлов. При этом число узлов, участвующих в коллизии, незначительно по сравнению со средним числом передач. Результаты исследования могут быть использованы для разработки эффективной системы мониторинга окружающей среды.

**Ключевые слова:** IoT, мониторинг, беспроводные сенсорные сети, стохастическая модель, информационная безопасность, коллизия.

### Аңдатпа

Д.Д. Жаксыгулова<sup>1</sup>, С.Ж. Рахметуллина<sup>1</sup>, С.А. Гнатюк<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан

<sup>2</sup>Ұлттық авиация университеті, Киев қ., Украина

## IOT НЕГІЗІНДЕГІ БАҚЫЛАУ ЖҮЙЕСІНЕ АРНАЛҒАН СЫМСЫЗ СЕНСОРЛЫҚ ЖЕЛІ МОДЕЛЬДЕРІН ЗЕРТТЕУ

Мақалада IoT есептерін шешу хаттамаларына талдау жүргізілді және рандомизацияланған желі параметрлерін қолданатын сымсыз сенсорлық желілердің жұмыс істеуінің стохастикалық модельдері жетілдірілді (түйіндердің ауыспалы саны және желілік түйіндердің жекелеген топтарындағы түйіндердің кездейсоқ қатысуы). Бұл сигналдардың соқтығысу ықтималдығын бағалауға және интернет заттарының байланыс хаттамаларын тиімдірек жобалауға мүмкіндік берді. Алынған модельдер белгілі бір мәннен жоғары емес соқтығысу ықтималдығы деңгейінде берілу сапасын қамтамасыз ететін түйіндердің максималды санын бағалауға мүмкіндік берді.

Атап айтқанда, соқтығысу ықтималдығы белгілі бір шектен аспауы үшін 50 түйін қажет екендігі анықталды. Бұл жағдайда соқтығысуға қатысатын түйіндердің саны берілістердің орташа санымен салыстырғанда шамалы. Зерттеу нәтижелерін қоршаған ортаны бақылаудың тиімді жүйесін әзірлеу үшін пайдалануға болады.

**Түйін сөздер:** IoT, мониторинг, сымсыз сенсорлық желілер, стохастикалық модель, ақпараттық қауіпсіздік, коллизия.

### Abstract

## RESEARCH OF MODELS OF WIRELESS SENSOR NETWORKS FOR AN IOS-BASED MONITORING SYSTEM

Zhaxsygulova D.D.<sup>1</sup>, Rakhmetullina S.Zh.<sup>1</sup>, Gnatyuk S.O.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust`-Kamenogorsk, Kazakhstan

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

The article analyzes the protocols for solving IoT problems and improves stochastic models of the functioning of wireless sensor networks using randomized network parameters (with a variable number of nodes and random participation of nodes in separate groups of network nodes). This made it possible to estimate the probability of signal collisions and design Internet of Things communication protocols more efficiently. The obtained models allowed us to estimate the maximum number of nodes providing transmission quality at the level of collision probability not higher than a certain value. In particular, it was found out that 50 nodes are required to achieve a collision probability no higher than a certain threshold.

At the same time, the number of nodes involved in the collision is insignificant compared to the average number of transmissions. The results of the study can be used to develop an effective environmental monitoring system.

**Keywords:** IoT, monitoring, wireless sensor networks, stochastic model, information security, collision.

### Введение

На сегодняшний день существует острая необходимость контроля и измерения почти всех физических величин в больших количествах и практически во всех областях человеческой деятельности. Использование датчиков и связанных с ними узлов связи дает представление об универсальности проблемы беспроводных сенсорных сетей (БСС) [1], в частности, в домах и зданиях; на промышленных объектах; на складах; в окружающей среде (в лесах, полях, над реками, в горах, в почве, в воздухе и т. д.); в условиях воздействия биологического и химического оружия; в автомобилях и самолетах; на движущихся перекрестках; на дне океана; внутри больших машин, вращающихся сфер, шаров; на поверхности океана во время торнадо; на поле боя за линией фронта; как индикатор для животных и товаров; в реках в сочетании с водной энергией и т.д.

Развитие электроники, информационных и коммуникационных технологий (ИКТ) дало основания для реализации идеи измерения и контроля любых необходимых физических величин окружающей среды, производственных процессов, процессов управления, мониторинга и т. д. Такое огромное количество приложений измерительной техники, которая также реализуется в подвижных объектах, требует решений, связанных с техникой сбора, передачи и обработки информации для различных типов используемых процессов. Многие сетевые решения были разработаны и реализованы на основе предыдущего опыта внедрения ИКТ в концепции Интернета вещей (IoT) [2], которые представляют собой компьютерные сети физических объектов (т.е. вещей), которые оснащены технологиями для взаимодействия друг с другом.

### Методология исследования

Стохастические модели БСС. Вероятностная модель, также известная как стохастическая модель, представляет собой математическую конструкцию, которая служит для описания явления, в котором составляющие элементы рассматриваются как случайные величины или случайные события. Поиск стохастических решений открывает широкий спектр надстроек, ранее непригодных для сетевых решений в некоторых приложениях (для невозможных до сегодняшнего момента реализаций). Они расширяют категорию решений для современных приложений, таких как мониторинг окружающей среды [3-4], мониторинг больниц [5] и многое другое. В связи с этим разработка информационных технологий мониторинга окружающей среды в концепции IoT является актуальной научно-технической задачей, имеющей важное научное и практическое значение. Основной целью данного исследования является разработка и моделирование моделей БСС для системы мониторинга на базе Интернета вещей, которые могут быть реализованы для различных критических ситуаций.

Стохастические модели БСС разрабатывались для оценки вероятности коллизии сигналов в системе (в соответствии с представлениями [6-8]).

Обозначим  $A_{s'}$  как событие, означающее отсутствие коллизии в интервале  $[0, s]$  ( $s > 0$ ). Также обозначим  $P(A_{s'})$  как вероятность отсутствия коллизии в интервале  $[0, s]$ . Рассмотрим  $[0, s]$ , где  $s > t_p$ . Предположим, что  $N(s) = j$ , то есть количество передач в промежутке  $[0, s]$  равно  $j$  ( $j \geq 1$ ). Случайный вектор  $(U_1, \dots, U_j)$  времени между передачами равномерно распределяется в множестве  $\Omega_t^* = \{(u_1, \dots, u_j) : u_1 + \dots + u_j \leq s\}$  с условной плотностью  $f(u_1, \dots, u_j | N(s) = j) = j! / s^j$  for  $(u_1, \dots, u_j) \in \Omega_t^*$ , а также 0 сверх этого. Таким образом, условная плотность отсутствия коллизий в интервале  $[0, s]$ , полагая, что  $N(s) = j$ , равна:

$$P(A_{s'} / N(s) = j) = P(U_1 > t_p, \dots, U_j > t_p) = \left(1 - \frac{jt_p}{s}\right)_+^j,$$

где выражение  $x_+$  определяется как  $x_+ = x$  для  $x \geq 0$  и  $x_+ = 0$  для  $x < 0$ . Условная вероятность коллизии на интервале длины  $s$ , где  $s > t_p$ , по условию  $N(s) = j$ , формируется следующим выражением:

$$P(A_s / N(s) = j) = 1 - \left(1 - \frac{jt_p}{s}\right)_+^j. \quad (1)$$

Вероятность коллизии на интервале длины  $s$ , где  $s > t_p$ , определяется следующим выражением:

$$P(A_s) = \sum_{j=2}^{\infty} e^{-n\frac{s}{T}} \frac{(n\frac{s}{T})^j}{j!} [1 - (1 - j\frac{t_p}{s})_+^j], \quad (2)$$

где  $n$ - количество узлов,  $T$ - среднее время между передачами узла,  $t_p$ - время передачи протокола.

Вопрос о количестве узлов, которые остаются в коллизии на интервале длины  $s$ , также анализируется для  $s > t_p$ . Вероятность коллизии в интервале длины  $s$  исследуется для  $s > t_p$ . Ниже представлены модели, характеризующие нижнюю и верхнюю оценки условной вероятности количества шестерен, остающихся конфликтными, в интервале длины  $s$  в предположении, что количество передач в интервале передачи находится в интервале длины  $s$  ( $s > t_p$ ) и равно  $j$ .

Обозначим  $Y_s$  как количество коллизий передач в интервале длины  $s$ . В этом случае мы получим выражение:

$$\begin{aligned} (j\frac{t_p}{s})^{\kappa-1} (1 - j\frac{t_p}{s})^{j-\kappa} \leq P(Y_s = \kappa | N(s) = j) \leq (j\frac{t_p}{s})^{\lfloor \frac{\kappa+1}{2} \rfloor} (1 - \frac{t_p}{s})^{j - \lfloor \frac{\kappa+1}{2} \rfloor}, \\ \sum_{j=2}^{\infty} e^{-n\frac{s}{T}} \cdot \frac{(n\frac{s}{T})^j}{j!} (j\frac{t_p}{s})^{\kappa-1} (1 - j\frac{t_p}{s})_+^{j-\kappa} \leq P(Y_s = \kappa) \leq \sum_{j=2}^{\infty} e^{-n\frac{s}{T}} \cdot \frac{(n\frac{s}{T})^j}{j!} (j\frac{t_p}{s})^{\lfloor \frac{\kappa+1}{2} \rfloor} (1 - \frac{t_p}{s})_+^{j - \lfloor \frac{\kappa+1}{2} \rfloor}. \end{aligned}$$

Модели, характеризующие нижнюю и верхнюю оценки ожидаемого количества конфликтующих шестерен и дисперсию количества конфликтующих шестерен в интервале длин  $s$  ( $EY_s, D^2(Y_s)$ ). Предположим, что  $s > t_p$ . Тогда

$$\begin{aligned} & \sum_{\kappa=2}^{\infty} \kappa \sum_{j=2}^{\infty} e^{-n\frac{s}{T}} \cdot \frac{(n\frac{s}{T})^j}{j!} (j\frac{t_p}{s})^{\kappa-1} (1 - j\frac{t_p}{s})_+^{j-\kappa} \leq EY_s \\ & \leq \sum_{\kappa=2}^{\infty} \kappa \sum_{j=2}^{\infty} e^{-n\frac{s}{T}} \cdot \frac{(n\frac{s}{T})^j}{j!} (j\frac{t_p}{s})^{\lfloor \frac{\kappa+1}{2} \rfloor} (1 - j\frac{t_p}{s})_+^{j - \lfloor \frac{\kappa+1}{2} \rfloor}, \\ & \sum_{\kappa=2}^{\infty} \kappa^2 \sum_{j=2}^{\infty} e^{-n\frac{s}{T}} \cdot \frac{(n\frac{s}{T})^j}{j!} (j\frac{t_p}{s})^{\lfloor \frac{\kappa+1}{2} \rfloor} (1 - j\frac{t_p}{s})_+^{j - \lfloor \frac{\kappa+1}{2} \rfloor} \left[ \sum_{\kappa=2}^{\infty} \kappa \sum_{j=2}^{\infty} e^{-n\frac{s}{T}} \cdot \frac{(n\frac{s}{T})^j}{j!} (j\frac{t_p}{s})^{\lfloor \frac{\kappa+1}{2} \rfloor} (1 - j\frac{t_p}{s})_+^{j - \lfloor \frac{\kappa+1}{2} \rfloor} \right]^2 \\ & \leq D^2(Y_s) \leq \\ & \sum_{\kappa=2}^{\infty} \kappa^2 \sum_{j=2}^{\infty} e^{-n\frac{s}{T}} \cdot \frac{(n\frac{s}{T})^j}{j!} (j\frac{t_p}{s})^{\kappa-1} (1 - j\frac{t_p}{s})_+^{j-\kappa} \left[ \sum_{\kappa=2}^{\infty} \kappa \sum_{j=2}^{\infty} e^{-n\frac{s}{T}} \cdot \frac{(n\frac{s}{T})^j}{j!} (j\frac{t_p}{s})^{\kappa-1} (1 - j\frac{t_p}{s})_+^{j-\kappa} \right]^2. \end{aligned}$$

Графики иллюстрируют вероятность коллизии в зависимости от количества узлов (датчиков) при заданном среднем времени между сообщениями (рис. 1), а также показывают зависимость от среднего времени передачи протокола, если задано количество узлов (рис. 2).

При среднем времени между передачами узла, равном 10 с, максимальное число узлов, обеспечивающее качество передачи на уровне вероятности, не превышающем  $10^{-2}$ , равно 10, а при среднем времени между передачами узла, равном 30 с, максимальное количество узлов равно 50. Дальнейшее увеличение среднего времени между передачами узлов позволяет увеличить максимальное количество узлов. Для заданного количества узлов увеличение среднего времени между коллизиями приводит к уменьшению вероятности коллизии. С помощью графиков можно найти оптимальные значения параметров, влияющих на корректность передачи ( $n, T, t_p$ ). Графики позволяют определить, в каком диапазоне качество передачи обеспечивается на данном уровне или при каких значениях ( $n, T, t_p$ ) резко возрастает вероятность коллизии.

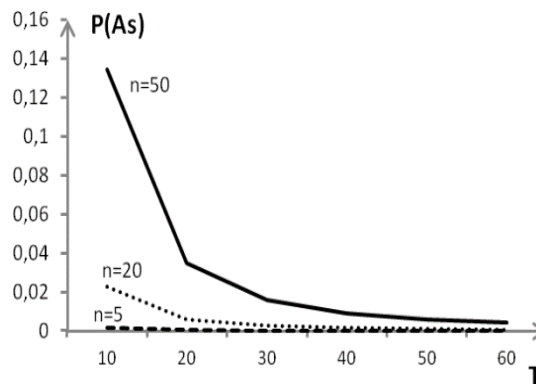


Рисунок 1. Вероятность коллизии на интервале  $s$ , где  $s > t_p$  в зависимости от времени наблюдения  $s = 180$  с и средним временем между передачами узла для  $n = 5, 20, 50$

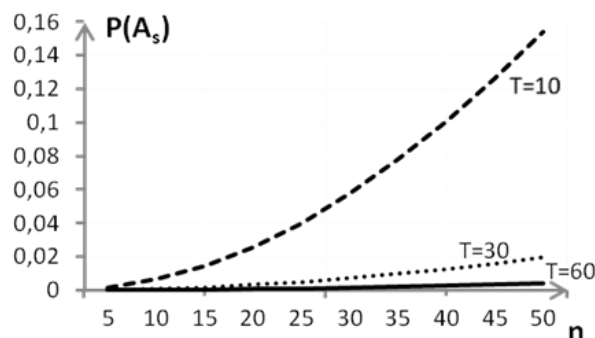


Рисунок 2. Вероятность коллизии на интервале  $s$ , где  $s > t_p$  в зависимости от времени наблюдения  $s = 180$  с и количества узлов, где  $T = 10$  с., 30 с., 60 с.

Вы можете определить порядок значений вероятности коллизии для произвольно выбранных параметров: например, для  $t_p = 3.2 \times 10^{-5}$ , количество датчиков-преобразователей, равное 10, и при условии, что каждый датчик имеет среднее время передачи каждые  $T = 60$  с, вероятность коллизии равна  $1.65 \times 10^{-4}$ . Трехмерная система координат (рис. 3) показывает множество конечных устройств  $A = \{a_1, \dots, a_m\}$  и множество конечных точек системы  $B = \{b_1, \dots, b_m\}$  от начала набора координаторов сети  $K = \{k_1, \dots, k_m\}$  (для начала  $a = 1$ ).

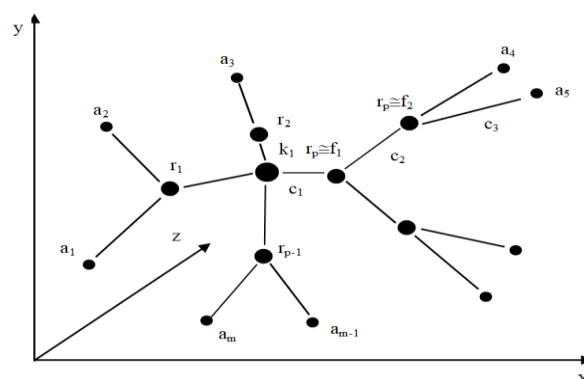


Рисунок 3. Модель конечной топологии БСС (первичные источники информации)

Таким образом, для вероятности коллизии получаются две зависимости (рис. 2-3). Первое выражение (1) описывает вероятность коллизии за короткое время  $t_p$  предоставления протокола, определяя вероятность неповрежденного предоставления протокола. Второе выражение (2) получено с использованием других свойств пуассоновского процесса относительно вероятности коллизии за достаточно большое время передачи.

Расстояние между точками  $a(x_i, y_i, z_i)$  и  $b(x_j, y_j, z_j)$  равно:

$$c_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2}.$$

Существует множество таких расстояний  $C = \{c_{11}, \dots, c_{m1}, \dots, c_{1n}, \dots, c_{mn}\}$ . Расстояние между узлами не должно превышать максимально допустимую дальность передачи данных. Будем считать, что максимальная дальность передачи между любыми узлами БСС одинакова и равна  $\text{toc}_{\max}$ .

### Экспериментальное исследование и обсуждение

Во многих приложениях предлагаемого решения сети с произвольным доступом указывается возможность разделения общего количества узлов на группы с разным средним временем между передачами. Такое деление имеет свое техническое обоснование, а именно, если в БСС поступают данные, относящиеся к разным физическим величинам с разной скоростью изменения их параметров.

Например, мониторинг параметров окружающей среды, в частности измерение суточных изменений температуры почвы и скорости ветра. Этот пример уже указывает на возможность различной периодичности проведения измерений таких величин.

Задача заслуживает внимания, поскольку возможность снижения интенсивности движения радиопакетов всегда благотворно сказывается в данном методе на повышение качества передачи. На приведенных ниже в этом разделе графиках представлены результаты экспериментальных исследований поведения WSN для различного процента узлов с разным средним временем между передачами [9,10].

Исследование проводилось для следующих процентов: 10% узлов со средними интервалами между передачами каждые 10 с и 90% со средними интервалами между передачами каждые 30 с (10 % / 10 с + 90 % / 30 с были записаны для уменьшения). В дальнейшем 10%/10 с + 90%/60 с. Следующие исследования для 1/3 (33%)/10 с + 2/3 (67%)/30 с и два исследования для 50%/10 с + 50%/30 с и 50%/10 с + 50% / 60 с. (Рис. 4 – Рис. 6).

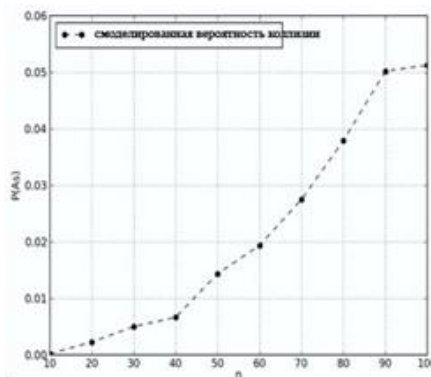


Рисунок 4. Влияние количества узлов с разным средним временем между передачами на вероятность коллизии: количество узлов со средним временем между передачами

$T = 10$  с – это 10 % от общего числа узлов, а 90 % узлов работают со средним временем между передачами  $T = 30$  с.

В представленной (упомянутой) задаче время протокола связи составляет  $t_p = 3,2 \cdot 10^{-5}$  с.

Получены результаты моделирования, совместимые с ожидаемыми, которые следуют из ранее представленных авторами зависимостей.

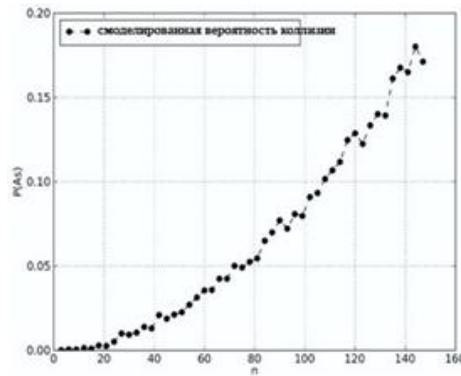


Рисунок 5. Влияние количества узлов с разным средним временем между передачами на вероятность коллизии: количество узлов со средним временем между передачами

$T = 10$  с – это  $1/3$  от общего числа узлов, а  $2/3$  узлов работает со средним временем между передачами  $T = 30$  с.

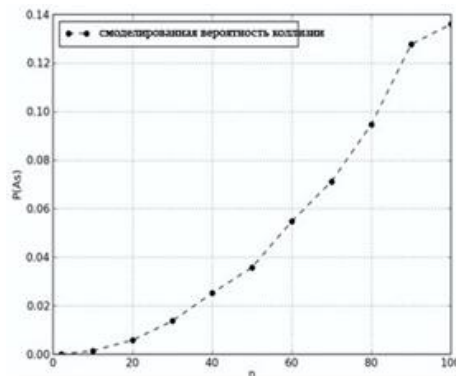


Рисунок 6. Влияние количества узлов с разным средним временем между передачами на вероятность коллизии: количество узлов со средним временем между передачами

$T = 10$  с составляет 50 % от общего числа узлов, остальные 50 % узлов работают со средним временем между передачами  $T = 30$  с

Это указывает на то, что чем больше среднее время между передачами узлов  $T$ , тем лучше работает сеть (с меньшим количеством коллизий). Существенным условием является то, что длительность протокола связи  $t_p$  намного меньше среднего времени между передачами узлов  $T$ . Следовательно, если значительная часть пакетов в радиопространстве может транслироваться как можно реже, тем лучше для общего результата качества радиопередачи. Еще одним следствием этого факта, которое можно увидеть на графиках ниже по сравнению с полученными результатами, если узлы имеют только одно среднее время вещания, есть возможность увеличить пропускную способность сети ( $n$  узлов) для стабильного качества передачи, выраженную вероятностью коллизии.

Оценивалось и анализировалось качество передачи данных в БСС с произвольным доступом в зависимости от разного процента узлов в группах. Исследовано влияние групп узлов с переменными средними временами между передачами на качество передачи данных в БСС с произвольным доступом. По результатам модельных исследований подтверждена сходимость теоретических положений с данными, полученными при компьютерном моделировании БСС с произвольным доступом.

### Заключение

Усовершенствованы стохастические модели функционирования беспроводных сенсорных сетей, использующие рандомизированные параметры сети (с переменным числом узлов и случайным участием узлов в отдельных группах узлов сети). Это позволило оценить вероятность коллизии сигналов и более эффективно проектировать протоколы связи Интернета вещей. Эти модели позволили оценить вероятность коллизии сигналов: максимальное количество узлов, обеспечивающих качество передачи на

уровне вероятности коллизии не выше  $10^{-2}$ , равно 50, при этом количество узлов, участвующих в коллизии, пренебрежимо мало по сравнению со средним числом передач, в частности отношение среднего числа участвующих в коллизии узлов к среднему числу передач составляет  $10^{-7}$ .

Дальнейшее развитие получила информационная технология мониторинга, которая за счет использования стохастических моделей беспроводных сенсорных сетей и усовершенствованного метода мониторинга позволила разработать программное и аппаратное обеспечение (с использованием Arduino, JavaScript, NodeJs, HTML и CSS) для мониторинга параметров окружающей среды в реальном времени в концепции IoT.

Данный комплекс оперативного мониторинга параметров окружающей среды может быть использован в качестве прототипа для организации мониторинга в динамически изменяющихся условиях и при возникновении различных критических ситуаций.

На основе разработанных математических моделей БСС были проведены модельные исследования по верификации теоретических зависимостей базиса вероятности коллизии от моделирования вероятности коллизии, что позволило верифицировать предложенные модели.

По результатам компьютерного моделирования БСС установлено соответствие полученных теоретических зависимостей вероятности коллизии для: а) одинакового среднего времени между передачами данных, б) случая разделения узлов на группы с разными средними временами между передачами данных. Оценивалось и анализировалось качество передачи данных в БСС с произвольным доступом в зависимости от разного процентного соотношения узлов в группах. Исследовано влияние групп узлов с переменными средними временами между передачами на качество передачи данных в БСС с произвольным доступом.

*Список использованной литературы:*

1 Рахман М.Э., Вахид К.А. «LDCA: упрощенный алгоритм динамической кластеризации для глобальной сети WSN, подключенной к Интернету вещей, и мобильного приемника данных с использованием LoRa» в журнале *IEEE Internet of Things*, том 9, № 2, 15 январь 2022, с. 1313-1325. <https://doi.org/10.1109/IOT.2021.3079096>.

2 Мазон-Оливо Б., Пэн А. «Интернет вещей: современное состояние, вычислительные парадигмы и эталонные архитектуры», в *IEEE LatinAmericaTransactions*, том 20, № 1, январь 2022, с. 49-63. <https://doi.org/10.1109/LTA.2022.9662173>.

3 Эрнандес-Альписар Л., Карраскилья-Батиста А., Санчо-Чаваррия Л. «Настройка мониторинга на основе текущих данных монитора IoT-COTS для химического анализа окружающей среды», 12-й Латиноамериканский симпозиум *IEEE по схемам и системам, (LASCAS) 2021*, с. 1-4. <https://doi.org/10.1109/LASCAS51355.2021.9459119>.

4 Цмоц Т., Кузьмин О., Кузьмин С. «Моделирование мониторинга окружающей среды с использованием беспроводных сенсорных сетей», 15-я Международная конференция *IEEE по компьютерным наукам и информационным технологиям, 2020 (CSIT)*, с. 361-364. <https://doi.org/10.1109/CSIT49958.2020.9322054>.

5 Залиский М., Одарченко Р., Гнатюк С., Петрова Ю., Чаплиц А. «Метод мониторинга трафика для обнаружения DDoS-атак в системах и сетях электронного здравоохранения», *Материалы семинара SEUR*, том 2255, 2018, с. 193-204.

6 Явич М., Кучухидзе Т., Иаивили Г., Гнатюк С., Боку Р. «Новый квантовый генератор случайных чисел с улучшенным методом сертификации», *Международный журнал математических наук и вычислений (IJMSC)*, Vol.7, №3, 2021, с. 41-53. <https://doi.org/10.5815/ijmsc.2021.03.05>.

7 Шарифуллина А.Ю., Галямов Р.Р., Зарипова Р.С. «Технические принципы создания беспроводной локальной сети Wi-Fi» // *T-Comm: Телекоммуникации и транспорт*. Том 15. №7. 2020, с.28-33.

8 Гадерипур Ю., Динари Х. «Потоковый метод обнаружения сетевых вторжений с использованием регрессии опорных векторов (SVR) по некоторым отличительным признакам графа», *Международный журнал математических наук и вычислений (IJMSC)*, том 6, № 4, 2020, с. 1–11. <https://doi.org/10.5815/ijmsc.2020.04.01>.

9 Чжэнбинг Ху, Одарченко Р., Гнатюк С., Залиский М., Чаплиц А., Бондарь С., Боровик В. «Статистические методы обнаружения кибератак на компьютерные сети на основе анализа аномального поведения трафика», *Международный журнал компьютерных сетей и информационной безопасности*, 2020, с. 1470-1475. <https://doi.org/10.1109/ICCAS.2016.7832497>.

10 Белоусова Е.С., Алейникова Д.И. «Методы ликвидации коллизий при передаче данных в беспроводных сетях», 57-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов Минск БГУИР, 2021 г., том 7, № 1, 2021, с. 7-10.

11 Мукеш А.Н., Шарма П.К., Ядав В.П., Паял П.О., Соланки Л. «Проектирование и анализ гибкой антенны с усеченной кромкой для приложений Wi-Fi», *Международная конференция по электронике и возобновляемым системам, 2022 (ICEARS)*, с. 1861-1864, <https://doi.org/10.1109/ICEARS53579.2022.9752032>.

12 Астахова Т.Н., Верзун Н.А., Касаткин В.В., Колбанев М.О., Шамин А.А. *Исследование моделей связности*

сенсорных сетей. Информационно-управляющие системы, 2019, № 5, с. 38-50. <https://doi.org/10.31799/1684-8853-2019-5-38-50>

13 Assim M., Аль-Омари А. «Проектирование и внедрение умного дома с использованием технологий WSN и IoT», Международная конференция по инновациям и интеллекту для информатики, вычислений и технологий, 2020 г (3ICT), 2020, с. 1-6. <https://doi.org/10.1109/3ICT51146.2020.9311966>.

#### References:

1 Rahman M.Je., Vahid K.A. (2022) LDCA: uproszhennyj algoritm dinamičeskoj klasterizacii dlja global'noj seti WSN, podključennoj k Internetu veshhej, i mobil'nogo priemnika dannyh s ispol'zovaniem LoRa [LDCA: Lightweight Dynamic Clustering Algorithm for IoT-Connected Wide-Area WSN and Mobile Data Sink Using LoRa] Zhurnal IEEE Internet of Things, tom 9, № 2, 1313-1325. (in English) <https://doi.org/10.1109/IIOT.2021.3079096>.

2 Mazon-Olivo B., Pjen A. (2022) Internet veshhej: sovremennoe sostojanie, vychislitel'nye paradigmy i jetalonnye arhitektury [Internet of Things: State-of-the-art, Computing Paradigms and Reference Architectures] v IEEE LatinAmericaTransactions, tom 20, № 1, (in English) <https://doi.org/10.1109/TLA.2022.9662173>.

3 Jernandes-Al'pizar L., Karraskil'ja-Batista A., Sancho-Chavarrija L. (2021) «Nastrojka monitoringa na osnove tekushhij dannyh monitora IoT-COTS dlja himičeskogo analiza okruzhajushhej sredy» [Setting up monitoring based on the current data of the It-COTS monitor for chemical analysis of the environment] 12-j Latinoamerikanskij simpozium IEEE po shemam i sistemam, (LASCAS) 1-4. (in English) <https://doi.org/10.1109/LASCAS51355.2021.9459119>.

4 Cmoc T., Kuz'min O., Kuz'min S. (2020) Modelirovanie monitoringa okruzhajushhej sredy s ispol'zovaniem besprovodnyh sensoryh setej [Simulation of Environmental Monitoring Using Wireless Sensor Networks] 15-ja Mezhdunarodnaja konferencija IEEE po komp'juternym naukam i informacionnym tehnologijam, 361-364. (in English) <https://doi.org/10.1109/CSIT49958.2020.9322054>.

5 Zaliskij M., Odarchenko R., Gnatjuk S., Petrova Ju., Chaplic A. (2018) Metod monitoringa trafika dlja obnaruzhenija DDoS-atak v sistemah i setjah jelektronnogo zdravoohranenija [Method of traffic monitoring for DDoS attacks detection in e-health systems and networks] Materialy seminaru CEUR, tom 2255, 193-204. (in English)

6 Javich M., Kuchuhidze T., Iashvili G., Gnatjuk S., Boku R. (2021) Novyj kvantovij generator sluchajnyh chisel s uluchshennym metodom sertifikacii [A traffic monitoring method for detecting DDoS attacks in e-health systems and networks] Mezhdunarodnyj zhurnal matematičeskijh nauk i vychislenij (IJMSC), Vol.7, №3, 41-53. (in English) <https://doi.org/10.5815/ijmsc.2021.03.05>.

7 Sharifullina A.Ju., Galjamov R.R., Zaripova R.S. (2020) Tehničeskie principy sozdanija besprovodnoj lokal'noj seti Wi-Fi [Technical principles of creating a wireless local area network Wi-Fi] // T-Comm: Telekomunikacii i transport. Tom 15. №7, 28-33. (in English)

8 Gaderipur Ju., Dinari H. (2020) Potokovij metod obnaruzhenija setevyh vtorzhenij s ispol'zovaniem regressii opornyh vektorov (SVR) po nekotorym otlichitel'nyh priznakam grafa [A streaming method for detecting network intrusions using support vector regression (SVM) based on some distinctive features of the graph] Mezhdunarodnyj zhurnal matematičeskijh nauk i vychislenij (IJMSC), tom 6, № 4, 1–11. (in English) <https://doi.org/10.5815/ijmsc.2020.04.01>.

9 Chzhjenbing Hu, Odarchenko R., Gnatjuk S., Zaliskij M., Chaplic A., Bondar' S., Borovik V. (2020) Statističeskie metody obnaruzhenija kiberatak na komp'juternye seti na osnove analiza anomal'nogo povedenija trafika [Statistical methods for detecting cyber attacks on computer networks based on the analysis of abnormal traffic behavior] Mezhdunarodnyj zhurnal komp'juternyh setej i informacionnoj bezopasnosti, 1470-1475. (in English) <https://doi.org/10.1109/ICCAS.2016.7832497>.

10 Belousova E.S., Alejnikova D.I. (2021) Metody likvidacii kollizij pri peredache dannyh v besprovodnyh setjah [Methods for eliminating collisions in data transmission in wireless networks] 57-ja nauchnaja konferencija aspirantov, magistrantov i studentov Minsk BGUIR, 2021 g., tom 7, № 1, 7-10. (In Russian)

11 Mukesh A.N., Sharma P.K., Jadav V.P., Pajal P.O., Solanki L. (2022) Proektirovanie i analiz gibkoj anteny s usečennoj kromkoj dlja prilozhenij Wi-Fi [Design and Analysis of an Edge Truncated Flexible Antenna for Wi-Fi Applications] Mezhdunarodnaja konferencija po jelektronike i vozobnovljaemym sistemam, 1861-1864 (in English) <https://doi.org/10.1109/ICEARSS53579.2022.9752032>.

12 Astahova T.N., Verzun N.A., Kasatkin V.V., Kolbanev M.O., Shamin A.A. (2019) Issledovanie modelej svjaznosti sensoryh setej. Informacionno-upravljajushhie sistemy [Investigation of models of connectivity of sensor networks. Information management systems] 2019, № 5, 38-50. (In Russian) <https://doi.org/10.31799/1684-8853-2019-5-38-50>

13 Assim M., Al'-Omari A. (2020) Proektirovanie i vnedrenie unnogo doma s ispol'zovaniem tehnologij WSN i IoT [Designing and implementing a smart home using VPN and IoT technologies] Mezhdunarodnaja konferencija po innovacijam i intellektu dlja informatiki, vychislenij i tehnologij, (3ICT), 1-6. (in English) <https://doi.org/10.1109/3ICT51146.2020.9311966>.