

УДК 004.725

DOI:10.25729/ESI.2025.37.1.004

## Применение генетического алгоритма для проектирования структуры оптимальной беспроводной сенсорной сети на трехмерной модели здания

Сиротинин Анатолий Андреевич, Володько Ольга Станиславовна

Институт вычислительного моделирования СО РАН,

Россия, Красноярск, *slitch@icm.krasn.ru*

**Аннотация.** В работе классический генетический алгоритм применяется при решении задачи оптимального размещения связующих узлов (хабов) в беспроводной сенсорной сети на трехмерной модели здания, что позволяет учесть затухание сигнала не только в стенах, но и в межэтажных перекрытиях. Для проектирования структуры оптимальной БСС на основе генетического алгоритма была разработана программа на языке Python. Представлены результаты модельных расчетов для случаев оптимального размещения хабов.

**Ключевые слова:** беспроводные сенсорные сети, уровень мощности сигнала, интернет вещей, оптимизация сети, многокритериальная задача, генетические алгоритмы

**Цитирование:** Сиротинин А.А. Применение генетического алгоритма для проектирования структуры оптимальной беспроводной сенсорной сети на трехмерной модели здания / А.А. Сиротинин, О.С. Володько // Информационные и математические технологии в науке и управлении, 2025. – № 1(37). – С. 34-40. – DOI:10.25729/ESI.2025.37.1.004.

**Введение.** В настоящей работе представлены результаты решения задачи оптимизации для расстановки связующих узлов (хабов) в беспроводной сенсорной сети (БСС) на трехмерной модели здания. Проблематика построения БСС, выбора радиоволновой модели и алгоритма оптимизации обсуждались в предыдущей работе [1]. Построение БСС рассматривается на примере здания научного института для создания в нем безопасного и комфортного автоматизированного рабочего пространства.

Для решения задачи оптимальной расстановки хабов комбинируется радиоволновая модель – дополненная модель Мотли-Кинана [2], которая учитывает затухание сигнала в стенах и межэтажных перекрытиях, и оптимизационный метод – классический генетический алгоритм [3]. Генетические алгоритмы относятся к стохастическим методам, имитирующим процессы, происходящие в природе, и широко применяются для решения задач оптимизации [4], в том числе при проектировании БСС [5-9]. Хотя полученное с их помощью решение может быть квазиоптимальным, но при большом объеме входных данных они имеют существенно меньшую вычислительную сложность, чем детерминированные методы. Например, в работе [8] генетический алгоритм применялся для структурной оптимизации БСС с целью обеспечения надежности в условиях случайных отказов узлов. В работе [9] с помощью генетического алгоритма решается задача покрытия в коммутационном поле действия интернета вещей и учитываются препятствия на рассматриваемой территории. Задача оптимизации решается для двумерного пространства, хотя и предлагается расширение для трехмерного.

**2. Постановки задачи оптимизации.** В предыдущей работе была поставлена задача оптимизации для оптимального размещения связующих узлов (хабов) в БСС [1]. Задача оптимизации заключается в оптимальной расстановке хабов на трехмерной модели здания с учётом максимально возможного уровня мощности сигнала и минимально возможных затрат на оборудование и коммуникации. В настоящей работе задача оптимизации решается в модифицированной постановке (уровень мощности сигнала рассчитывается во всем здании, а не только в контрольных точках, как в предыдущей постановке):

$$f_1 = \sum_{i=1}^{N_p} RSS_i \rightarrow \max, f_2 = \sum_{i=1}^{N_p} (C_i + H_i)x_i \rightarrow \min, \quad (1)$$

здесь  $N_p$  – количество клеток, на которое разбивается исследуемое здание,  $RSS_i$  – уровень мощности сигнала в  $i$ -ой клетке,  $C_i, H_i$  – стоимость коммуникаций и оборудования соответственно, булевый вектор  $x_i = \{0, 1\}$ , где 1 – хаб установлен в  $i$ -ой клетке, 0 – нет.

Поставленная задача оптимизации представляет собой многокритериальную задачу с двумя целевыми функциями (1). Для учета обоих критериев применялся метод взвешенной функции, в котором определяется новая функция в виде суммы целевых функций с соответствующими весами:

$$F(x) = \sum_{i=1}^K \omega_i f_i(x), \quad \omega_i \in [0; 1], \quad \sum_{i=1}^K \omega_i = 1,$$

где  $f_i(x)$  – целевые функции,  $\omega_i$  – соответствующие веса,  $K$  – количество целевых функций.

Для согласования оптимумов в целевой функции  $f_2$  стоимость хабов и коммуникаций была взята отрицательной:

$$\bar{f}_2 = \sum_{i=1}^{N_p} (\bar{C}_i + \bar{H}_i)x_i \rightarrow \max, \quad \bar{C}_i = -C_i, \quad \bar{H}_i = -H_i$$

Таким образом, задача многокритериальной оптимизации имеет вид:

$$\omega_1 f_1 + \omega_2 \bar{f}_2 \rightarrow \max, \tag{2}$$

где веса  $\omega_1, \omega_2$  выбираются в зависимости от приоритизации целевых функций.

**3. Реализация генетического алгоритма.** Для реализации генетического алгоритма здание научного института было разбито на клетки. Каждая клетка – это куб размером  $3000 \times 3000 \times 3000$  мм. Всего получилось 484 клетки. На рис. 1 приведен пример разбиения этажа здания на клетки.

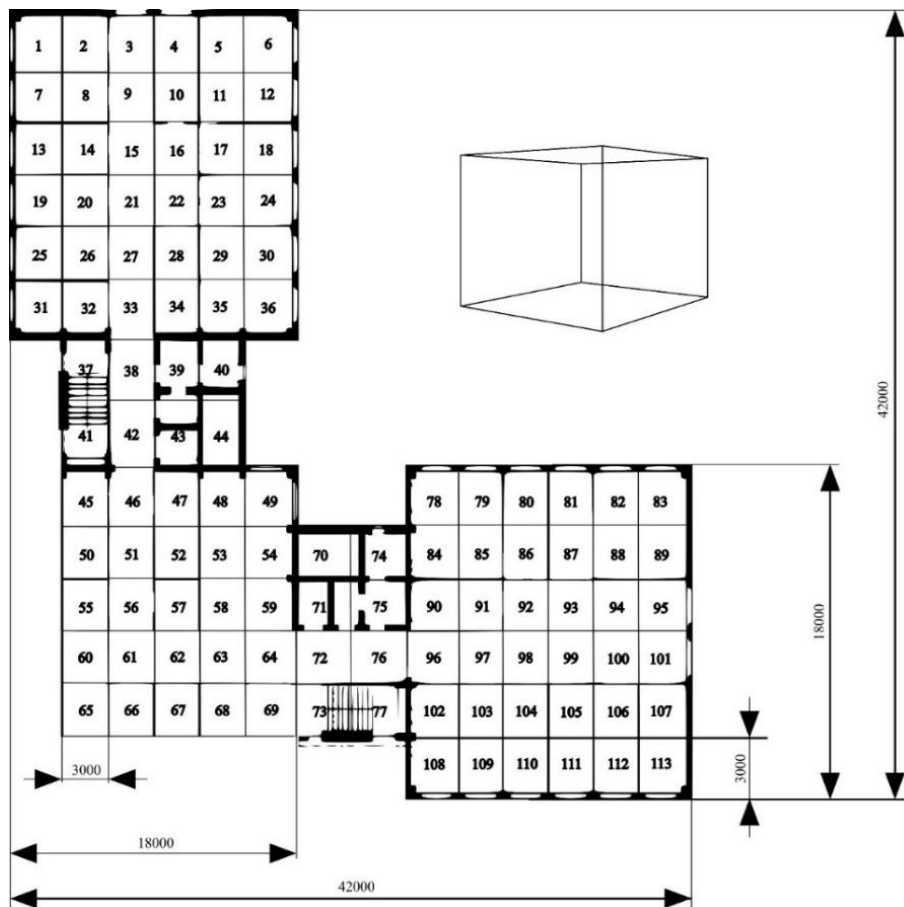


Рис. 1. Разбиение на клетки первого этажа здания научного института

В качестве хромосомы выбран булевый вектор  $x_i$ , который описывает расстановку хабов во всём здании. Каждый ген в хромосоме принимает значения 0 или 1 в зависимости от того, установлен хаб в рассматриваемой клетке или нет.

Генетический алгоритм представляет собой имитацию эволюционного процесса (рис. 2) и включает следующие этапы: отбор, скрещивание и мутацию [3].



**Рис. 2.** Схема генетического алгоритма

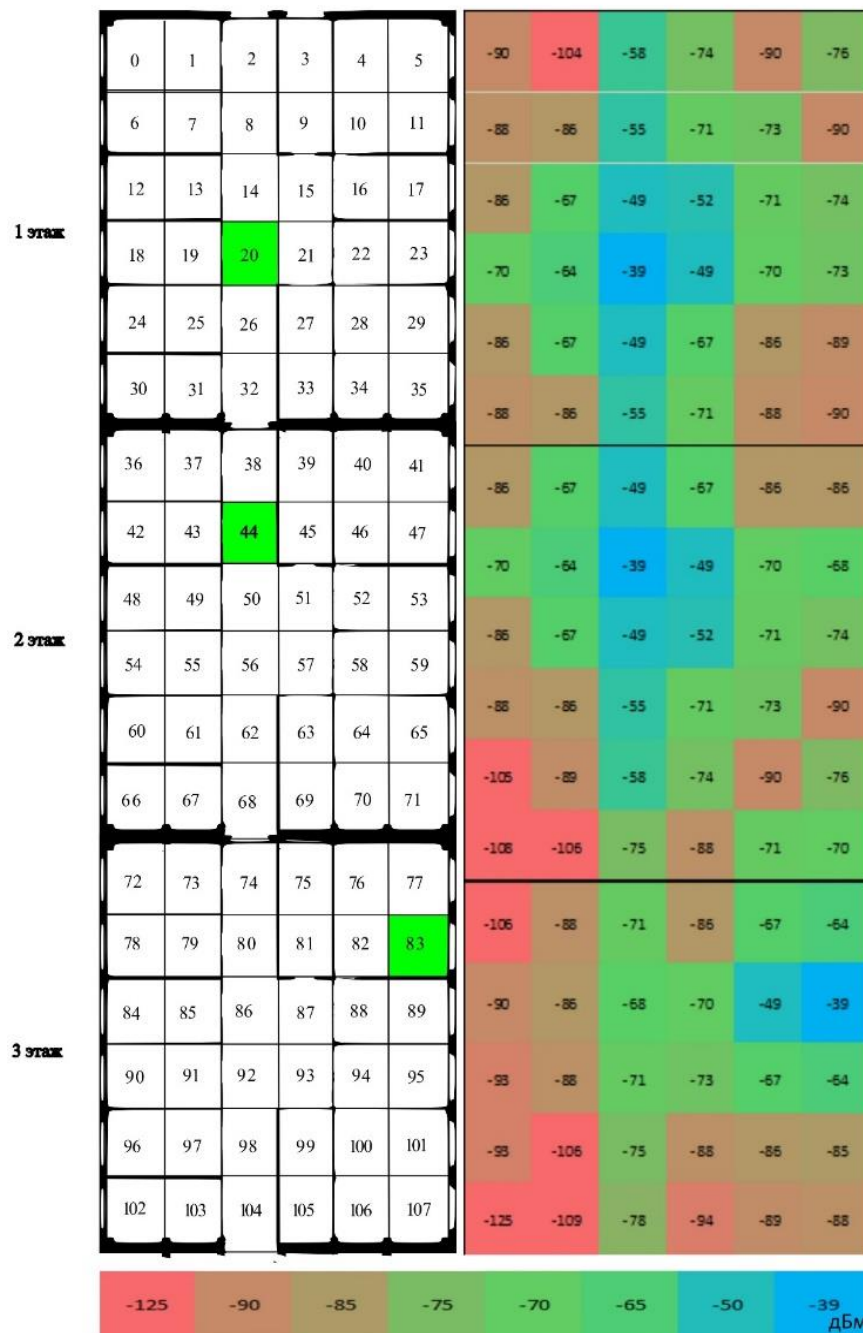
В нашем случае в качестве метода отбора выбран турнирный отбор, метод k-скрещивания и мутация в виде инвертирования бита. Приспособляемость для каждого индивидуума вычисляется, как сумма двух целевых функций с соответствующими весами по формуле (2). Условием окончания работы ГА является прохождение заданного количества поколений, после которого функция приспособляемости выходит на плато. Для проектирования структуры оптимальной БСС на основе генетического алгоритма была разработана программа на языке Python [10]. На вход программы подается конфигурация здания, чтобы учесть наличие стен и перекрытий этажей.

Проведена серия модельных расчетов для трёх этажей одного крыла здания научного института. В ходе работы программы варьировались параметры расчета, такие, как размер популяции, количество поколений, вероятность мутации хромосомы и гена, вероятность и количество точек при k-скрещивании. Для того, чтобы оптимизировать количество хабов в рассматриваемом здании, была проведена серия расчетов и выбраны следующие веса для целевых функций: 0,8 для стоимости оборудования и коммуникаций; 0,2 для уровня мощности сигнала. В таблице 1 приведены оптимальные параметры, при которых были получены представленные в настоящей работе результаты.

По результатам работы генетического алгоритма были получены варианты оптимальной расстановки хабов для БСС. На рис. 3 представлена схема оптимальной расстановки трех хабов и тепловая карта уровней мощности сигнала в каждой клетке.

**Таблица 1.** Параметры расчета для генетического алгоритма

Затухание в стенах	-15 дБм
Затухание в перекрытиях этажей	-20 дБм
Затухание в несущих стенах	-30 дБм
Длина хромосомы	108
Количество поколений	50
Размер популяции	150
Вероятность скрещивания	0,5
Вероятность мутации хромосомы	0,1
Вероятность мутации гена	1/108
RSS	0,2



**Рис. 3.** Схема оптимального размещения трех хабов. Слева – план здания, зеленым обозначены места установки хабов. Справа – тепловая карта уровней мощности сигнала

При таком количестве хабов и их расстановки достигается практически полная зона покрытия, но при этом имеются несколько зон со слабым уровнем сигнала ( $\leq -100$  дБм), что является недостаточным для связи с сенсорными устройствами. Для решения этой проблемы в программу было добавлено ограничение на минимальный уровень мощности сигнала ( $\geq -100$  дБм) для всей рассматриваемой зоны покрытия в здании. Как следствие введенного ограничения, увеличилось количество хабов. На рис. 4 представлена схема оптимальной расстановки шести хабов и тепловая карта уровней мощности сигнала в каждой клетке. При анализе тепловой карты видно, что уровень мощности сигнала во всей области покрытия не менее -95 дБм.

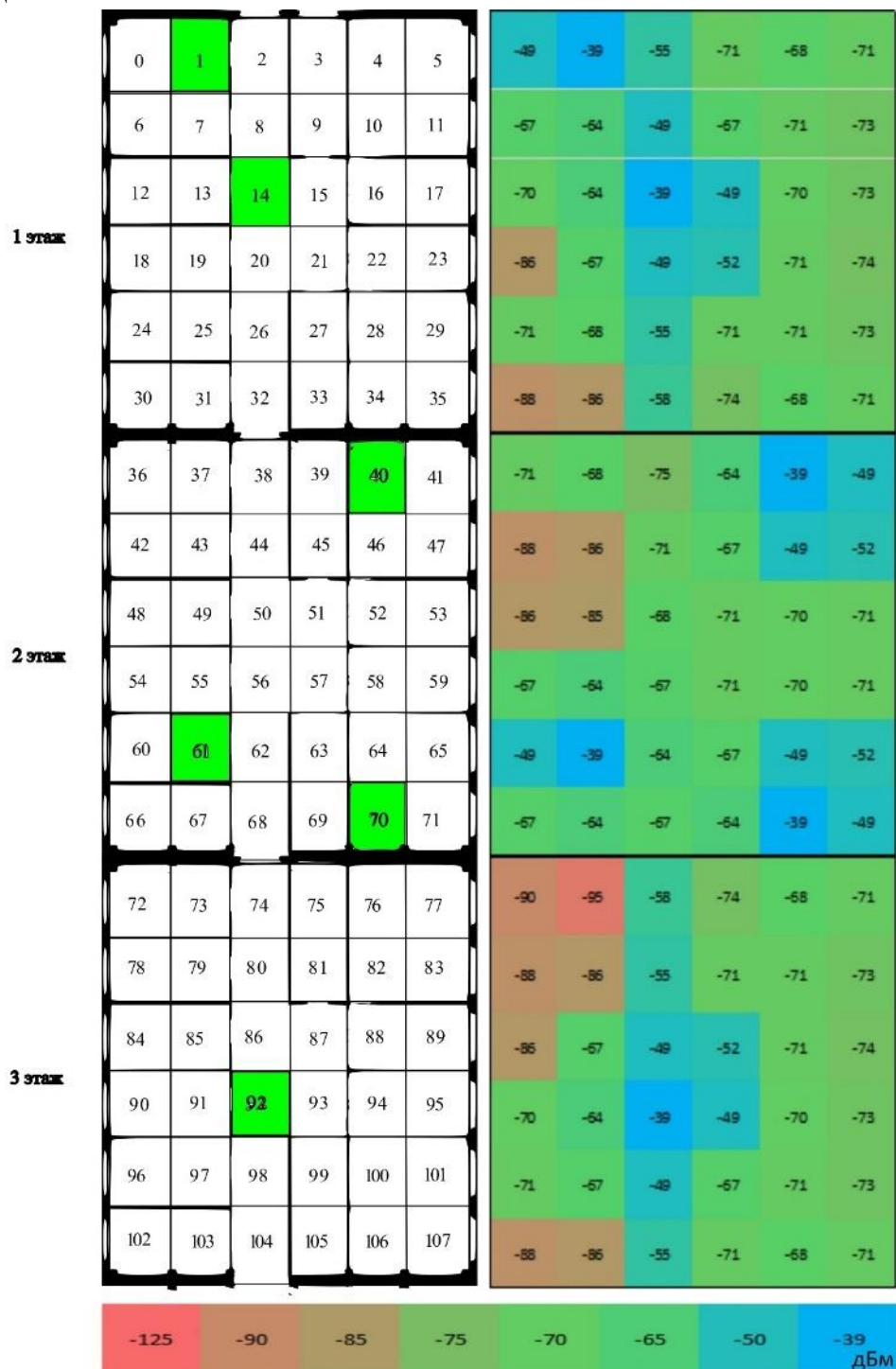


Рис. 4. Схема оптимального размещения шести хабов. Слева – план здания, зеленым обозначены места установки хабов. Справа – тепловая карта уровней мощности сигнала

В дальнейшем также планируется учитывать интерференцию сигналов, для того, чтобы исключить варианты, когда хабы располагаются близко друг к другу. Поставленная задача оптимизации для связующих узлов БСС может быть расширена с учетом расстановки сенсорных узлов, подключенных по стандарту ZigBee.

**Заключение.** В работе представлены результаты решения задачи оптимальной расстановки связующих узлов (хабов) для БСС внутри здания. Для решения поставленной задачи авторами была разработана программа для проектирования структуры оптимальной БСС внутри здания на основе генетического алгоритма. Проведена серия модельных расчетов для трех этажей одного крыла здания, в результате которых получена схема расположения связующих узлов сенсорной сети (хабов) для трехмерной модели здания. В дальнейшем также планируется учитывать интерференцию сигналов, чтобы минимизировать зоны перекрытия между соседними узлами.

### Список источников

1. Сиротинин А.А. Построение оптимизационной модели беспроводной внутренней сети для использования технологии интернета вещей / А.А. Сиротинин, О.С. Володько // Информационные и математические технологии в науке и управлении, 2024 – № 2(34). – С. 135-143. – DOI:10.25729/ESI.2024.34.2.013.
2. Zhang Y., Wang F., Shen Y. et al. A study of indoor distributed calculation model of mobile communication. Information Computing and Applications: Second international conference, Qinhuaogdao, China. Proceedings, Part I 2, 2011, pp. 458-465, DOI:10.1007/978-3-642-27503-6.
3. Goldberg D.E. Genetic algorithms in search, optimization and machine learning. Canada: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1989, 412 p.
4. Singh A., Sharma S., Singh, J. Nature-inspired algorithms for wireless sensor networks: A comprehensive survey. Computer science review, 2021, vol. 39, p.100342, DOI:10.48550/arXiv.2101.10453.
5. Srinidhi N.N., Kumar S.M.D., Venugopal K.R. Network optimizations in the Internet of Thing: A review. Engineering science and technology, an international journal, 2019, vol. 22, no. 1, pp. 1-21, DOI:10.1016/j.jestch.2018.09.003.
6. Song B. Reliability analysis and optimization of computer communication network based on genetic algorithm. International journal of communication systems, 2022, vol. 35, no. 5, e4601, DOI:10.1002/dac.4601.
7. Li W., Tang R., Wang S., et al., An optimal design method for communication topology of wireless sensor networks to implement fully distributed optimal control in IoT-enabled smart buildings. Applied energy, 2023, vol 349, p.121539, DOI:10.1016/j.apenergy.2023.121539.
8. Кутузов О.И. Решение одной задачи размещения сенсорных устройств в сетях интернета вещей / О.И. Кутузов, Т.М. Татарникова., И.Н. Дзюбенко // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ, 2018. – (6). – С.15-20.
9. Мигов Д.А. Генетические алгоритмы оптимальной по критерию надёжности расстановки стоков в беспроводных сенсорных сетях. / Д.А. Мигов, К.А. Волжанкина, А.С. Родионов // Автометрия, 2021. – №57(3). – С.19. – DOI:10.15372/AUT20210303.
10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024682730. Программа для проектирования структуры оптимальной базовой сенсорной сети внутри здания с помощью генетического алгоритма: заявка №2024681352 от 17.09.2024 РФ / А.А.Сиротинин, О.С. Володько (РФ) – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 26.09.2024 г. (РФ).

*Сиротинин Анатолий Андреевич. Институт вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук, аспирант. SPIN: 9617-6083, AuthorID: 1215100, slitch@ict.krasn.ru, 660036, Россия, Красноярск, Академгородок, дом. 50, стр. 44.*

*Володько Ольга Станиславовна. Кандидат физико-математических наук, Институт вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук, м.н.с. ORCID: 0000-0002-0580-9103, SPIN: 8080-9331, AuthorID: 907835, osv@ict.krasn.ru. 660036, Россия, Красноярск, Академгородок, дом. 50, стр. 44.*

UDC 004.725

DOI:10.25729/ESI.2025.37.1.004

## Application of genetic algorithm to design the structure of an optimal wireless sensor network on a 3D building model

Anatoliy A. Sirotinin, Olga S. Volodko

Institute of computational modeling SB RAS,  
Russia, Krasnoyarsk, *slitch@icm.krasn.ru*

**Abstract.** In this paper, the classical genetic algorithm is used to solve the problem of optimum placement of nodes (hubs) in networks of wireless sensors on a 3D building model, which allows taking into account not only signal attenuation in the walls, but also in interfloor ceilings. To design the structure of an optimal WSN based on the genetic algorithm, a program in Python was developed. The results of model calculations of optimum placement of hubs are presented.

**Keywords:** wireless sensor network, signal strength, Internet of Things, network optimization, multicriterial problem, genetic algorithms

### References

1. Sirotinin A.A., Volod'ko O.S. Postroyeniye optimizatsionnoy modeli vnutrenney besprovodnoy seti dlya ispol'zovaniya tekhnologiy interneta veshchey [Building an optimization model of a wireless internal network for using interne of things technology]. *Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii* [Information and Mathematical Technologies in Science and Management]. 2024, no. 2(34), pp. 135-143.
2. Zhang Y., Wang F., Shen Y. et al. A study of indoor distributed calculation model of mobile communication. *Information Computing and Applications: Second international conference, Qinhuangdao, China. Proceedings, Part I 2*, 2011, pp. 458-465, DOI:10.1007/978-3-642-27503-6.
3. Goldberg D.E. *Genetic algorithms in search, optimization and machine learning*. Canada: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1989, 412 p.
4. Singh A., Sharma S., Singh, J. Nature-inspired algorithms for wireless sensor networks: A comprehensive survey. *Computer science review*, 2021, vol. 39, p.100342, DOI:10.48550/arXiv.2101.10453.
5. Srinidhi N.N., Kumar S.M.D., Venugopal K.R. Network optimizations in the Internet of Thing: A review. *Engineering science and technology, an international journal*, 2019, vol. 22, no. 1, pp. 1-21, DOI:10.1016/j.jestch.2018.09.003.
6. Song B. Reliability analysis and optimization of computer communication network based on genetic algorithm. *International journal of communication systems*, 2022, vol. 35, no. 5, e4601, DOI:10.1002/dac.4601.
7. Li W., Tang R., Wang S., et al., An optimal design method for communication topology of wireless sensor networks to implement fully distributed optimal control in IoT-enabled smart buildings. *Applied energy*, 2023, vol 349, p.121539, DOI:10.1016/j.apenergy.2023.121539.
8. Kutuzov O.I., Tatarnikova T.M., Dzyubenko I.N. Resheniye odnoy zadachi razmeshcheniya sensorykh ustroystv v setyakh interneta veshchey [Solution of one problem of placement of sensor devices in the networks of the Internet of Things]. *Izvestiya SPbGETU LETI* [Bulletin of ETU LETI], 2018, 6, pp.15-20.
9. Mígov D.A., Volzhankina K.A., Rodionov A.S. Geneticheskiye algoritmy optimal'noy po kriteriyu nadozhnosti rasstanovki stokov v besprovodnykh sensorykh setyakh [Genetic algorithms for optimal reliability allocation of drains in wireless sensor networks]. *Avtometriya*, 2021, no. 57(3), 19 p., DOI:10.15372/AUT20210303.
10. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 2024682730. Programma dlya proyektirovaniya struktury optimal'noy bazovoy sensornoy seti vnutri zdaniya s pomoshch'yu geneticheskogo algoritma zaiavka №2024681352 ot 17.09.2024 RF [Certificate of state registration of the computer program No. 2024682730. Software for basic sensor network design for indoor using a genetic algorithm No. 2024682730 dated 09/17/2024 of the Russian Federation]. Sirotinin A.A., Volod'ko O.S. Zaregistrirvano v reestre programm dlia EVM 26.09.2024 g. (RF).

*Sirotinin Anatoly Andreevich. The Institute of computational modeling SB RAS is a separate division of the FITC KNC SB RAS, postgraduate student. SPIN: 9617-6083, AuthorID: 1215100, slitch@icm.krasn.ru, 660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, h. 50, b. 44.*

*Volodko Olga Stanislavovna. Ph. D., The Institute of computational modeling SB RAS, junior researcher, ORCID: 0000-0002-0580-9103, SPIN: 8080-9331, AuthorID: 907835, osv@icm.krasn.ru, 660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, h. 50, b. 44.*

*Статья поступила в редакцию 13.11.2024; одобрена после рецензирования 07.02.2025; принята к публикации 11.02.2025.*

*The article was submitted 11/13/2024; approved after reviewing 02/07/2025; accepted for publication 02/11/2025.*