

УДК 002.6; 004.7; 004.722

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ БЕСПРОВОДНОЙ WI-FI-СЕТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

**В. П. КОЧИН**, начальник Центра информационных технологий Белорусского государственного университета, к. т. н., доцент

В статье описываются методы и алгоритмы проектирования беспроводной Wi-Fi-сети на основе искусственного интеллекта. Предлагаемый подход позволяет учитывать обеспечение полного Wi-Fi-покрытия в пределах здания. Разработан модифицированный генетический алгоритм размещения точек доступа Wi-Fi, предложены новые механизмы мутации, селекции, скрещивания. Предложен алгоритм генерации начальной популяции. Разработан вид штрафной функции, который позволяет учитывать уровень сигнала в точке подключения, а также интерференцию сигналов.

## ВВЕДЕНИЕ

В XXI веке информационно-коммуникационные технологии стали важнейшим фактором, определяющим развитие общества. Цифровая трансформация государственного управления, экономической и социальной сфер является необходимым условием для инновационного развития страны [1].

Проектирование Wi-Fi-сетей в университетах играет критически важную роль в обеспечении эффективного образовательного процесса и способствует обеспечению доступности ресурсов для студентов и сотрудников.

Интеграция Wi-Fi-сети с информационно-коммуникационной инфраструктурой (ИКИ) в университете является важным шагом для обеспечения совместной и эффективной работы всех систем и ресурсов учебного заведения. Причем интеграция должна быть как с информационно-коммуникационной инфраструктурой, так и с различными информационными системами и сервисами. Данная интеграция должна в себя включать:

1. *Централизованное управление*: централизованное управление Wi-Fi-сетью позволяет администраторам контролировать и управлять точками доступа, политиками безопасности, аутентификацией и мониторингом сети из единой панели управления.
2. *Интеграция с AD*: интеграция с каталогами пользователей Active Directory (AD), позволяет использовать одни и те же учетные записи и пароли для аутентификации в Wi-Fi-сети и других информационных системах университета.

3. *Общая система учета*: важно иметь единую систему мониторинга, которая позволяет отслеживать активность пользователей в Сети, включая доступ к ресурсам, использование пропускной способности и т. д.

4. *Поддержка IoT-устройств*: с ростом «интернета вещей» (IoT) университеты могут интегрировать Wi-Fi-сеть с устройствами IoT, такими как умные датчики, чтобы собирать данные и управлять учебными и научными работами.

Интеграция Wi-Fi-сети с ИКИ университета обеспечивает эффективное использование сети, повышает безопасность и удобство пользователей, а также обеспечивает согласованное управление ресурсами и данными на кампусе.

## МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ WI-FI-СЕТИ

Проектирование Wi-Fi-сетей – это сложный и многогранный процесс, который включает в себя разработку, развертывание и оптимизацию беспроводной инфраструктуры для обеспечения надежной и высокопроизводительной беспроводной связи.

Проектирование Wi-Fi-сети вуза требует комплексного подхода, учитывающего потребности пользователей, особенности функционирования университета, технические характеристики оборудования, а также интеграцию информационными ресурсами. Эффективное проектирование обеспечит надежную и высокопроизводительную беспроводную связь, что важно для университетов и других организаций.

Таким образом, беспроводная Wi-Fi-сеть является элементом сложной интегрированной системы

управления вузом. Наиболее перспективным способом проектирования отдельных элементов сложной интегрированной системы является использование методов искусственного интеллекта.

Проектирование Wi-Fi-сети заключается в расчете оптимальных параметров, количества точек доступа и мест размещения, с учетом ограничений. При проектировании беспроводной инфраструктуры одной из главных задач является выбор численных методов оптимизации.

В общем виде задачу проектирования беспроводной сети можно выразить следующим образом:

$$\begin{cases} \vec{x} = (x_1, \dots, x_m) \\ g_i(\vec{x}) \geq b_i, i = \overline{1, n} \\ f_j(\vec{x}) \rightarrow \max, j = \overline{1, k}, \vec{x} \in D \end{cases} \quad (1)$$

где  $m$  – количество переменных;  $g_i$  – функции-ограничения задачи;  $b_i$  – предельно допустимые значения ограничений;  $f_j$  –  $j$ -й критерий оптимальности,  $k$  – количество критериев оптимальности;  $D$  – множество допустимых значений переменных оптимизации.

В многокритериальной оптимизации (далее – МКО) имеется неопределенность целей, поэтому может быть получено только компромиссное решение.

Пусть  $\vec{x}_1, \vec{x}_2 \in D$ . Если для всех критериев  $f_1(\vec{x}), \dots, f_k(\vec{x})$  имеют место неравенства  $f_i(\vec{x}_2) \geq f_i(\vec{x}_1), i = 1, k$ , причем хотя бы одно неравенство строгое, то говорят, что решение  $\vec{x}_2$  предпочтительнее решения  $\vec{x}_1$ . В задаче многокритериальной оптимизации точка  $\vec{x}_0 \in D$  называется оптимальной по Парето, если не существует других точек  $\vec{x} \in D$ , которые были бы предпочтительнее, чем  $\vec{x}_0$ . Точки, оптимальные по Парето, образуют множество точек, называемых Парето-фронтом. Цель многокритериальной оптимизации состоит в выделении Парето-фронта из множества решений [2–8]. Далее окончательное решение из множества Парето-оптимальных решений производится на основе либо экспертной оценки, либо с использованием дополнительного критерия.

Ряд исследователей в своих работах [12–16] в качестве численного метода оптимизации расположения точек доступа Wi-Fi используют генетические алгоритмы. Последние являются эвристическими итерационными вероятностными алгоритмами, основанными на механизмах естественного отбора и эволюции.

Применительно к задаче проектирования беспроводной сети необходимо отметить основные преимущества генетических алгоритмов:

Высокая степень распараллеливаемости алгоритма на различных этапах его работы (формирование исходной популяции, расчет фитнес-функции, скрещивание), что особенно актуально в связи с ростом вычислительных мощностей суперкомпьютерных кластерных систем.

Параметры генетических алгоритмов (вероятности скрещивания и мутации) остаются постоянными на протяжении всего процесса эволюции.

Алгоритм хорошо приспособлен для многокритериальной оптимизации, не требует априорного задания весов критериев и способен получать на выходе множество решений, оптимальных по Парето.

Основными недостатками генетических алгоритмов являются: высокая вычислительная сложность, что объясняется многократным вычислением фитнес-функции на каждой итерации, отсутствие явных критериев остановки алгоритма, которые в каждом конкретном случае вырабатываются либо эмпирически, либо на основе опыта эксперта.

Задача оптимизации беспроводной сети заключается в определении оптимального расположения точек доступа Wi-Fi в помещении с целью организации беспроводного доступа с учетом особенностей организации учебного процесса вуза – требований на полное покрытие учебных корпусов и обеспечение бесшовного роуминга. В работах [5–8] указываются дополнительные требования на возможность подключения заданного количества пользователей к точке доступа. Однако в настоящее время при обеспечении полного покрытия данные условия будут однозначно выполняться по следующим причинам:

- в настоящее время разработаны и используются новые стандарты Wi-Fi (в частности, Wi-Fi 6), которые позволяют обеспечить скорость доступа до 11 Гбит/с [17]. Соответственно, скорость доступа даже при большом количестве подключенных пользователей будет соответствовать требованиям;
- при разворачивании Wi-Fi в учреждениях образования используются точки доступа уровня Enterprise, позволяющие обеспечить одновременное подключение большого числа пользователей. Оно, как правило, соответствует максимальному количеству пользователей, которое можно разместить в аудиториях в пределах радиуса действия сети [18].

Помещение, в котором необходимо обеспечить беспроводную связь, представляет собой множество стен с заданными координатами их углов, толщиной, и проницаемостью материала стены:

$$W_i = \{f_i(x); x_i'; x_i''; h_i; \varepsilon_i^{int}; \varepsilon_i^{ext}\}, i = \overline{1, M}, \quad (2)$$

где  $M$  – количество стен в здании;  $f_i(x)$  – уравнение  $i$ -й стены с границами  $x_i', x_i''$ ;  $h_i$  – толщина внутреннего слоя  $i$ -й стены;  $\varepsilon_i^{int}, \varepsilon_i^{ext}$  – диэлектрическая проницаемость внутреннего и внешнего слоев стены.

Полное покрытие определяется уровнем сигнала во всех точках помещения и определяется следующим выражением:

$$U_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если в } i\text{-й точке помещения обеспечивается} \\ & \text{необходимый уровень сигнала от } j\text{-й точки доступа} \\ 0, & \text{если в } i\text{-й точке помещения не обеспечивается} \\ & \text{необходимый уровень сигнала от } j\text{-й точки доступа} \end{cases} \quad (3)$$

Для оценки уровня сигнала применяются выражения [5–8], зависящие от следующих аргументов:

- $d$  – расстояние от точки доступа до абонента;
- $h$  – толщина внутреннего слоя стены, через которую проходит волна;
- $\varepsilon^{int}$  – диэлектрическая проницаемость внутреннего слоя стены;
- $\varepsilon^{ext}$  – диэлектрическая проницаемость внешних слоев стены;
- $f$  – частота волны.

С помощью данного выражения становится возможным вычислить уровень сигнала в точке  $(x_i, y_i)$  при распространении радиосигнала из точки  $(x^x, y^y)$ :

$$\psi(x_i; y_i; x_i^x; y_i^y). \quad (4)$$

Для качественного доступа к сети скорость должна быть не менее 24 Мбит/с, что соответствует уровню сигнала не менее -70 Дбм [5–8].

На основе данного выражения и требований к характеристикам качества предоставляемых услуг положим:

$$\varphi(\psi_i) = \begin{cases} 1, & \text{если в } i\text{-й точке помещения обеспечивается} \\ & \text{необходимый уровень сигнала} \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (5)$$

Таким образом, задача оптимизации выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^N U_{ij} \varphi(\psi(x_i; y_i; x_i^x; y_i^y)) \rightarrow \max \\ \sum_{j=1}^N U_{ij} \leq 1, \forall i \in 1, R \end{cases} \quad (6)$$

где  $x_i, y_i$  – координаты  $i$ -й точки помещения,  $x_i^x, y_i^y$  – координаты  $j$ -й точки доступа Wi-Fi.

Искомым решением задачи является множество координат и уровень сигнала точек доступа  $X_i = \{x_i^x, x_i^y, L_i^d\}$ ,  $i = 1, \dots, N$ . В связи с этим в алгоритме предлагается координаты каждой точки доступа и излучаемый уровень сигнала определять геном; их множество будет формировать хромосому.

Блок-схема алгоритма оптимизации расположения точек доступа показана на рисунке.

Первым шагом алгоритма является генерация начальной популяции решений. В качестве такого алгоритма предлагается следующий. На первом этапе на основе экспертного мнения определяется начальное количество точки доступа, которое учитывает в том числе и параметры оборудования.

Следует принять во внимание, что решаемая задача характеризуется рядом ограничений:

а) геометрия помещения (возможно, точка со самым слабым сигналом будет ближайшая по расстоянию);

б) вычислительная сложность с учетом того, что необходимо сгенерировать популяцию с  $Q$  количеством особей ( $Q$  определяется количеством точек доступа);

в) количество точек доступа, которые могут видеть друг друга, ограничено количеством непересекающихся каналов. В частности, в диапазоне 2,4 ГГц таких каналов 3.

Вследствие этого был разработан специальный алгоритм генерации.

Геометрическая конфигурация здания, в котором размещаются точки доступа, вписывается в прямоугольник с координатами левого нижнего угла  $(x_{min}; y_{min})$ , правого верхнего угла  $(x_{max}; y_{max})$ .

Вся площадь расположения точек доступа Wi-Fi разбивается на  $U^2$  квадратов. Причем  $U$  определяется соотношением:

$$(U - 1)^2 < N \leq U^2, \quad (7)$$

где  $N$  – начальное количество точек доступа Wi-Fi, которые необходимо разместить.

На втором этапе работы алгоритма точка доступа случайным образом помещается внутри  $i$ -го квадрата. В случае если точка доступа находится в запрещенной области, необходимо вернуться к первому шагу алгоритма. Учитывается, что осуществить установку точки доступа возле стены технически проще. Для этого определяется расстояние  $H$  до ближайшей стены, и, если  $H < H_0$ , где  $H_0$  – эталонное расстояние, равное 0,5 м, точку доступа перемещаем к стене по перпендикуляру. Излучаемый начальный уровень сигнала точки доступа устанавливается максимальным, при этом он не должен превышать заданного значения (обычно – 20 дБм, если нет специальных ограничений).

Следующим этапом оптимизации расположения точек доступа является расчет уровня сигнала во всех точках помещения, для чего предлагается следующий алгоритм:

1. Вся площадь разбивается на квадраты 20x20 см. Измерения уровня сигнала осуществляется для центра каждого квадрата (точки измерения).
2. Для точки  $X$  рассчитывается уровень сигнала  $W_k$  при подключении ко всем точкам доступа  $K_i$ .
3. Вычисляется параметр  $l$ , который равен количеству точек доступа, уровень сигнала которых в точке превышает -75 Дбм.
4. Выбираем  $\max(W_k)$ .

Оценивание приспособленности хромосом в популяции состоит в расчете функции приспособлен-

ности (фитнес-функции) для каждой хромосомы этой популяции. В алгоритме предлагается использовать следующий вид функции приспособленности:

$$F = \sum_{i < W} w_i c_i + \sum_{i > 3} h_i, \quad (8)$$

где  $W$  – минимальный пороговый уровень сигнала, Дбм;  $w_i$  – уровень сигнала в  $i$ -й точке, Дбм;  $c_i$  – штрафная функция для точки доступа, для которой  $w_i < W$ ;  $h_i$  – штрафная функция для точки подключения, в которой уровень сигнала больше минимального более чем от трех точек доступа. Причем, исходя из поставленной задачи, вид штрафной функции для точки доступа  $k$ , для которой выполняется условие  $w_i < W$ , должен зависеть от  $w_i$  и удовлетворять следующему соотношению:

$$\sum_{i \neq k} c_i^{max} < \sum_i c_i^{min}. \quad (9)$$

Таким образом, штрафная функция для точек доступа будет иметь вид:

$$c_i = const + e^{W - w_i}, \quad (10)$$

где  $const$  – константа, которая зависит от количества точек доступа  $N$ , участвующих в оптимизации параметра  $W$ :

$$const \geq N(e^W - 1). \quad (11)$$

Штрафная функция для точки подключения будет иметь вид:

$$h_i = e^{li - 3}. \quad (12)$$

Фитнес-функция будет иметь вид:

$$F = \sum_{i < W} w_i (const + e^{W - w_i}) + \sum_{i > 3} e^{li - 3} \quad (13)$$

Вследствие особенностей размещения точек доступа и необходимости на каждом шаге задавать изменяемый уровень сигнала точек доступа, стандартные операторы генетических алгоритмов не могут напрямую применяться для оптимизации беспроводной инфраструктуры сети.

Оператор мутации определим как применение одного из следующих преобразований:

а) удаление точки доступа с вероятностью  $\alpha$ ;

б) добавление точки доступа с вероятностью  $\beta$  (добавляется точка доступа в точке со случайной координатой, причем генерируемые случайные координаты должны попадать в множество разрешенных координат);

в) с вероятностью  $\gamma$  – смещение точки доступа Wi-Fi в новое положение;

г) увеличение излучаемого уровня сигнала точки доступа с вероятностью  $\theta_1$ . Уровень сигнала при этом не должен превышать заданной величины;

д) уменьшение излучаемого уровня сигнала точки доступа с вероятностью  $\theta_2$ .

Оператор скрещивания определяется следующим образом. На первом этапе для скрещивания случайным образом выбираются пары хромосом из родительской популяции. Это временная популяция, состоящая из хромосом, отобранных в результате селекции и предназначенных для дальнейших преобразований операторами скрещивания и мутации с целью формирования новой популяции потомков. Само скрещивание происходит по следующим правилам:

а) для пары хромосом вычисляются вероятности  $p_1^c = \frac{F_1}{F_1 + F_2}$ ,  $p_2^c = 1 - p_1^c$ , где  $F_1$  и  $F_2$  – значения фитнес-функции для двух хромосом;

б) далее проверяется выполнение следующих условий:

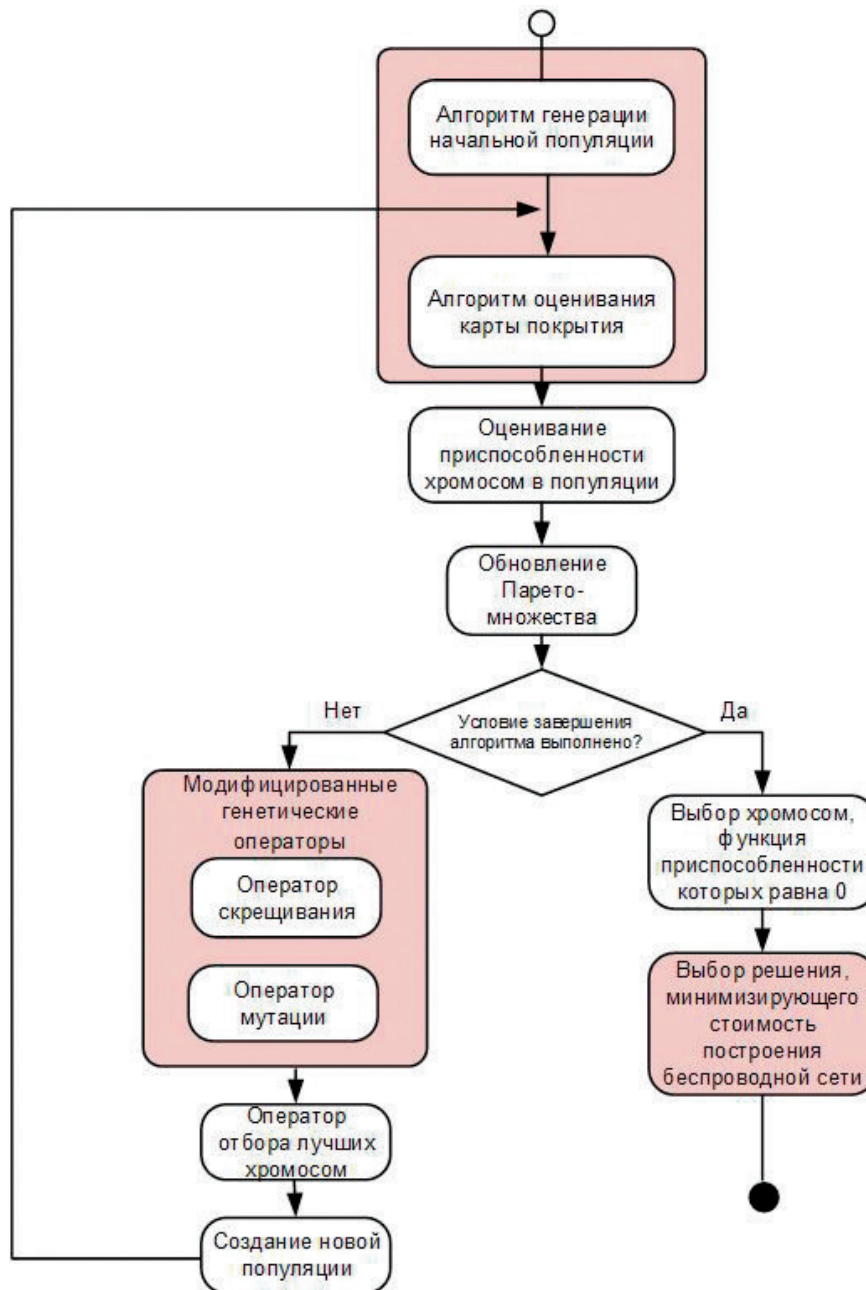
- точка доступа присутствует в первой хромосоме, но отсутствует во второй. Тогда с вероятностью  $p_1^c$  она присутствует в потомке, с вероятностью  $p_2^c$  не присутствует;
- точка доступа присутствует во второй хромосоме, но отсутствует в первой. Тогда с вероятностью  $p_2^c$  она присутствует в потомке, с вероятностью  $p_1^c$  не присутствует;
- точка доступа присутствует в обеих хромосомах. Тогда координаты точки доступа потомка берутся с вероятностью  $p_1^c$  из первой хромосомы или с вероятностью  $p_2^c$  из второй хромосомы.

## БЛОК-СХЕМА АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ РАЗМЕЩЕНИЯ ТОЧЕК ДОСТУПА Wi-Fi

После скрещивания размер популяции становится увеличенным по отношению к своему нормальному уровню. Для корректировки этой ситуации на финальном этапе итерации проводится отбор наиболее приспособленных индивидов на основе значений функции приспособленности. Используется принцип естественного отбора, в соответствии с которым наибольшие шансы на участие в создании новых особей имеют хромосомы с наименьшими значениями функции приспособленности. Таким образом, в алгоритме используется турнирная селекция, при которой в результате скрещивания пары хромосом выбирается особь с наилучшим значением функции приспособленности.

Конкретизация отдельных характеристик генетического алгоритма должна производиться для конкретных классов решаемых задач.

В результате работы алгоритма получается множество решений, оптимальных по Парето. Выбор окон-



чательного решения производится либо группой экспертов с использованием матрицы опросов, либо на основании дополнительного критерия, в качестве которого может выступать количество точек доступа. Соответственно, будет выбрано решение с наименьшей ценой.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Впервые предложены алгоритмы и методы проектирования Wi-Fi-сети с использованием технологий искусственного интеллекта. Разработан модифицированный генетический алгоритм размещения точек доступа Wi-Fi. Предложенные подходы позволяют проектировать беспроводные сегменты сети с учетом интеграции с информационными системами учреждений.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Листопад, Н. И. Электронные средства обучения: состояние, проблемы и перспективы / Н. И. Листопад, Ю. И. Воротницкий // Высшая школа. – 2008. – № 6. – С. 6–14.
2. Ногин, В. Д. Проблема сужения множества Парето: подходы к решению / В. Д. Ногин // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2008. – № 1. – С. 98–112.
3. Sawaragi, Y. Theory of Multiobjective Optimization / Y. Sawaragi, H. Nakayama, T. Tanino. – Orlando: Academic Press, 1985. – 296 p.
4. Steuer, R. E. Multiple Criteria Optimization: Theory, Computation and Application / R. E. Steuer. – New York: Wiley, 1986. – 546 p.



5. Кочин, В. П. Быстрая оценка мощности Wi-Fi-сигнала при прохождении препятствий в пределах здания / В. П. Кочин, Ю. И. Воротницкий, Д. А. Стрикелев // Вестник БГУ. Серия 1, Физика. Математика. Информатика. – 2013. – № 1. – С. 45–50.
6. Воротницкий, Ю. И. Оценка пропускной способности информационного канала беспроводной связи с заданной мощностью сигнала / Ю. И. Воротницкий, В. П. Кочин, Д. А. Стрикелев // Информатизация образования. – 2013. – № 3. – С. 26–33.
7. Воротницкий, Ю. И. Генетический алгоритм для оптимизации структуры беспроводной сети с заданным качеством обслуживания / Ю. И. Воротницкий, В. П. Кочин, Д. А. Стрикелев // Информатика. – 2014. – № 2. – С. 117–123.
8. Кочин, В. П. Модель трансляции качества сервиса при передаче мультимедийных данных через беспроводные сети / В. П. Кочин // Электроника инфо. – 2014. – № 7. – С. 44–46.
9. Воротницкий, Ю. И. О подходах к моделированию информационно-вычислительных структур компьютерных сетей / Ю. И. Воротницкий, Д. А. Стрикелев // Радиофизика и электроника: сб. науч. тр. / Белорус. гос. ун-т; редкол.: С. Г. Мулярчик [и др.]. – Минск, 2003. – Вып. 6 – С. 144–149.
10. Воротницкий, Ю. И. Об одном подходе к проектированию распределенных информационно-вычислительных систем / Ю. И. Воротницкий, Д. А. Стрикелев // Сборник трудов XVI международной научно-технической конференции «Прикладные задачи математики и механики», Севастополь, Украина, 15–19 сентября 2008 г. / Севаст. нац. техн. ун-т; редкол.: Е.В.Пашков [и др.] – Севастополь, 2008. – С. 74–78.
11. Воротницкий, Ю. И. Проектирование сетей на основе генетических алгоритмов, модифицирующих структуру хромосом / Ю. И. Воротницкий, Д. А. Стрикелев // Информатика. – 2006. – № 2(10). – С. 116–123.
12. Jianjun, H. Wireless Access Point Configuration by Genetic Programming / H. Jianjun, E. Goodman // Evolutionary Computation. – 2001. – Vol. 1. – pp. 1178–1184.
13. Kamenetsky, M. Coverage planning for outdoor wireless LAN systems / M. Kamenetsky, M. Unbehauen // Broadband Communications, 2002. Access, Transmission, Networking 2002. International Zurich Seminar, Zurich, 19-21 Feb. 2002. – Zurich, 2002. – pp. 491–496.
14. Maksuriwong, K. Wireless LAN access point placement using a multi-objective genetic algorithm / K. Maksuriwong, V. Varavithya, N. Chaiyaratana // Systems, Man and Cybernetics, 2003. IEEE International Conference, Washington, 5–8 Oct. 2003. – Washington, 2003. – Vol. 2 – pp. 1944–1949.
15. Vanhatupa, T. Genetic Algorithm to Optimize Node Placement and Configuration for WLAN Planning / T. Vanhatupa, M. Hannikainen, T. Hamalainen // Wireless Communication Systems. ISWCS 2007. 4th International Symposium, Trondheim 17–19 Oct. 2007. – Trondheim, 2007. – pp. 612–616.
16. Yun, Z. An Integrated Method of Ray Tracing and Genetic Algorithm for Optimizing Coverage in Indoor Wireless Networks / Z. Yun, S. Lim, M. Iskander // Antennas and Wireless Propagation Letters. – 2008. – Vol. 7. – pp. 145–148.
17. IEEE 802.11ax [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.11ax](https://ru.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11ax). – Дата доступа: 26.12.2023.
18. Wi-Fi-оборудование для построения беспроводных Wi-Fi-сетей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ruijienetworks.by/ruijie-wireless>. – Дата доступа: 26.12.2023.

The article describes methods and algorithms for designing a wireless Wi-Fi network based on artificial intelligence. The proposed approach allows us to take into account the provision of full Wi-Fi coverage within the building. A modified genetic algorithm for the placement of Wi-Fi access points has been developed, new mechanisms of mutation, selection, and crossing have been proposed. An algorithm for generating the initial population is proposed. A type of penalty function has been developed that allows you to take into account the signal level at the connection point, as well as signal interference.