

## Этапы предлагаемого генетического алгоритма для решения задачи назначения частот радиоэлектронным средствам связи

### Stages of proposed genetic algorithm for solution of problem connected with allocation of frequencies to communications electronics

**Ключевые слова:** генетический алгоритм – genetic algorithm; частота радиоэлектронного средства связи – frequency of communications facility; блок-схема – block diagram; автоматизированный комплекс разработки радиоданных – automatic radio data processing system; снижение затрат – cost saving.

Предложен вариант решения задачи назначения частот радиоэлектронным средствам связи на основе генетического алгоритма. Представлена блок-схема алгоритма, дано его описание. Показана возможность реализации разработанного алгоритма на языке программирования высокого уровня. Реализация предлагаемого алгоритма назначения частот радиоэлектронным средствам связи в составе автоматизированного комплекса разработки радиоданных позволит существенно повысить оперативность и достоверность результатов расчета и приведет к снижению затрат времени и трудоемкости.

The article proposes a variant of problem solution connected with allocation of frequencies to communications electronics using a genetic algorithm. The article demonstrates the block scheme of this algorithm and describes it. In addition, it shows a possibility to realize the developed algorithm using a high level programming language. Realization of the proposed algorithm intended for allocation of frequencies to communication electronics, contained in the automated complex used for development of radio data, will provide a possibility to increase significantly operational efficiency and reliability of calculation data and will result in reduction of consumed time and work content.

**АРТЮШЕНКО / ARTIYSHENKO A.**

**Александр Николаевич**

адъюнкт научно-исследовательского центра  
Военной академии связи  
им. С.М. Буденного,  
Санкт-Петербург

От качества радиочастотных присвоений зависят все основные показатели эффективности радиосвязи. Назначение частот представляет собой самый сложный и трудоемкий процесс разработки радиоданных. В последнее время для решения задач автоматизированного проектирования, теории управления и ряда других важных задач большое практическое применение нашли генетические методы (ГМ). Экспериментально доказана их эффективность для широкого круга задач. Внутренняя логика генетических алгоритмов (ГА) в наибольшей степени согласована с задачами дискретной математики [1, 2, 7]. Отличительной особенностью ГА для случая решения задачи назначения частот является тот факт, что ГА работают не с числовыми значениями параметров, а с битовыми строками конечной длины, в которые закодированы параметры радиолинии:

$$\text{вариант } l(\text{хромосома}) = \{001100 \quad 010110 \quad \dots \quad 011110\}. \quad (1)$$

ген1{параметр1} ген2{параметр2} ... генN{параметрN}

Таким образом, ГА работают с кодом значений всех параметров радиолинии одновременно, при этом сами значения определяются только при определении пригодности целевой функции, ГА стойки к попаданию в локальные оптимумы решаемой функции оптимизации за счет оператора «мутации». При достаточно сложном рельефе функции пригодности методы поиска с единственным решением в каждый момент времени, такой как простой метод спуска, могут сходиться в локальном решении.

Среди основных особенностей, определяющих эффективность применения генетических алгоритмов в задачах назначения частот радиоэлек-

тронным средствам (РЭС), необходимо отметить следующие:

1) легкая программируемость, поскольку генетические алгоритмы реализуют простую, но достаточно эффективную схему вычислений;

2) отсутствие каких-либо дополнительных требований, предъявляемых к математической модели задачи в виде непрерывности, дифференцируемости и унимодальности критерия оптимизации. В генетическом алгоритме не используются никакие наискорейшего спуска, что представляет собой определенные преимущества для задач с не дифференцируемой функцией.

Вышесказанное позволяет сделать вывод о целесообразности использования методов искусственного интеллекта, в частности – генетических алгоритмов, которые являются достаточно мощным средством и могут с успехом применяться для широкого класса прикладных задач [3–6]. В связи с этим существует объективная необходимость разработки и последующего исследования эффективных алгоритмов для решения задачи назначения рабочих частот РЭС на основе применения генетических методов, что позволит существенно повысить оперативность и достоверность результатов расчета и приведет к снижению затрат времени и трудоемкости.

Пусть задана сеть радиосвязи  $S$  как совокупность радиолиний, некоторые из которых являются адаптивными и имеют псевдослучайную (программную) перестройку рабочей частоты (ППРЧ):

$$\begin{aligned} S &= \{S_n\}, n = \overline{1, N}; \\ S' &= \{S'_n\}, n = \overline{1, N'}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $S'$  – подмножество адаптивных радиолиний и радиолиний с ППРЧ. Радиолинии организуются от множества пунктов управления:

$$U = \{U_i\}, i = \overline{1, I}. \quad (3)$$

На пунктах управления (узлах связи) могут располагаться радиосредства, организационно относящиеся к радиолиниям других сетей радиосвязи, частоты которым уже назначены. Для каждой из радиосетей и радионаправлений сети  $S$  известны потребности в частотах и требования к их выбору, определяемые:

- организационно-техническими характеристиками радиолиний;
- условиями распространения радиоволн (РРВ);
- условиями электромагнитной совместимости (ЭМС) радиосредств.

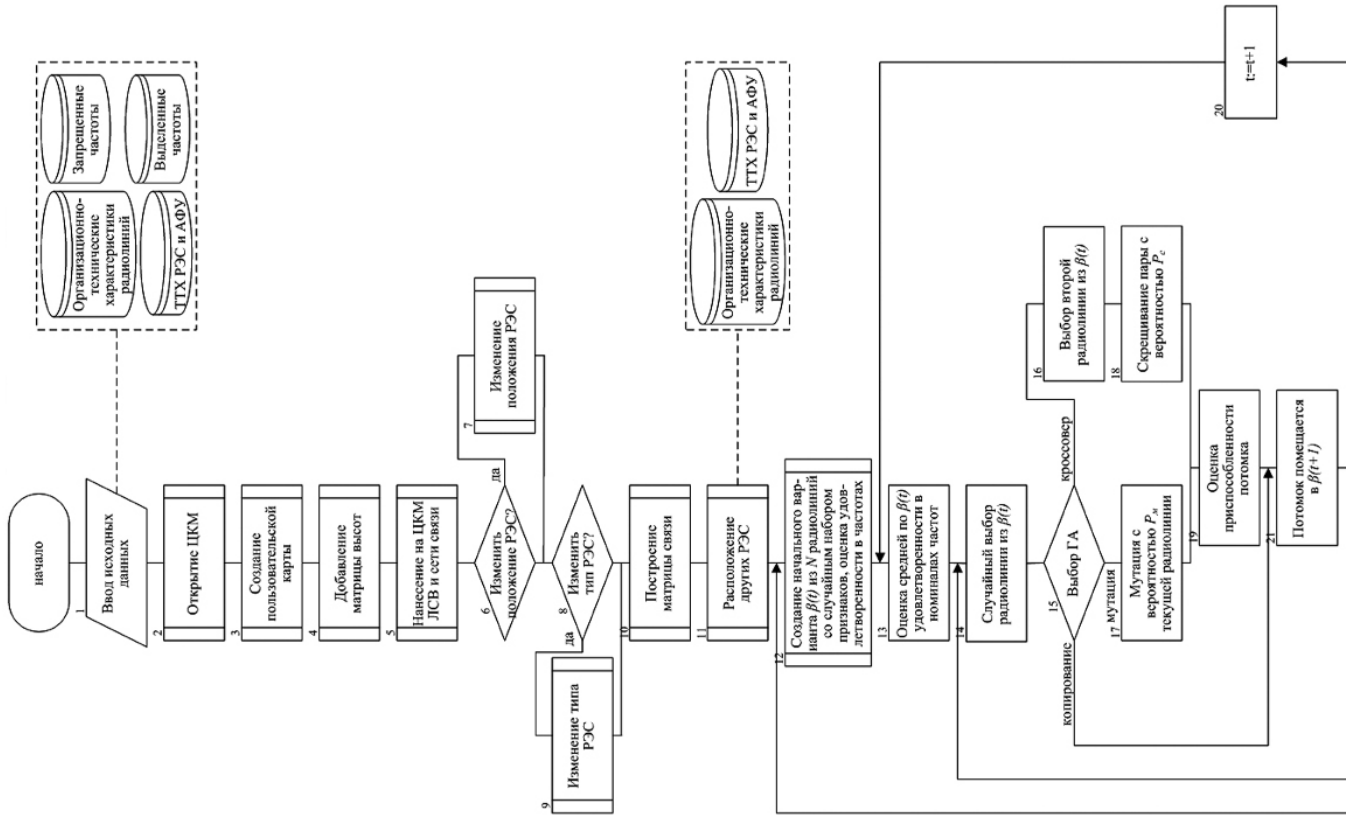
Пусть в известной по территориальным размахам и физико-географическим условиям группировке войск одновременно функционирует заданная

группа сетей радиосвязи, использующих группу из  $Q$  частот диапазона  $F = \{f_q\}$ , где каждая  $f_q$  ( $q = \overline{1, Q}$ ) является фиксированной частотой настройки РЭС связи. Известны потребности каждой сети радиосвязи в частотных номиналах.

Взаимное размещение радиосредств в составе группировки задано соответствующей матрицей взаимного размещения, элементами которой являются взаимные расстояния между РЭС. Известны таблицы распределения частот для сетей радиосвязи как типовых потребителей. Заданы тактико-технические характеристики (ТТХ) РЭС, требования по ЭМС. Известны также местоположение, ТТХ и режимы работ РЭС, организационно относящиеся к радиолиниям других сетей радиосвязи, частоты которым уже назначены и в процессе решения задачи назначения частот не подвергаются изменениям. Требуется назначить частоты сетям радиосвязи таким образом, чтобы обеспечить удовлетворение их потребностей с учетом требований ЭМС радиосредств. Результаты назначения должны быть представлены в виде таблиц (наборов, списков) частот, назначенных сетям радиосвязи. Входными данными для задачи являются коды потребителей и их местоположение, рабочие диапазоны частот, локально-запрещенные частоты, организационно-технические характеристики радиосвязей, глобально-запрещенные частоты, потребности в частотах, технические характеристики радиосредств, параметры излучений, участки диапазонов передачи и приема, характеристики антенн, время смены частот, таблица распределения частот.

Наиболее целесообразным способом представления входных данных являются сформированные заблаговременно различного рода базы данных (БД) и файлы, внутренняя логика организации которых подчиняется единому закону. Выходные данные задачи – информация о назначении частот РЭС и перечень резервных частот, таблицы (массивы) частот, назначенные РЭС, таблица (массив) взаимного влияния РЭС в системе радиосвязи. Наиболее подходящим способом хранения результатов работы являются различные БД и файлы, создаваемые в накопителях на жестких магнитных дисках (НЖМД) АРМ ПК, в формате, удобном для оперативной загрузки их в модули памяти РЭС, удобства поиска и обработки оператором АРМ.

Сформулированная задача является многомерной задачей нелинейного математического программирования с многоэкстремальной целевой функцией и ограничениями типа неравенств и/или типа дискретности, поэтому используемый метод решения задачи состоит в применении генетического алгоритма для назначения рабочих частот РЭС. Задача назначения рабочей частоты каждому из РЭС группировки в интересах обеспечения их ЭМС состоит



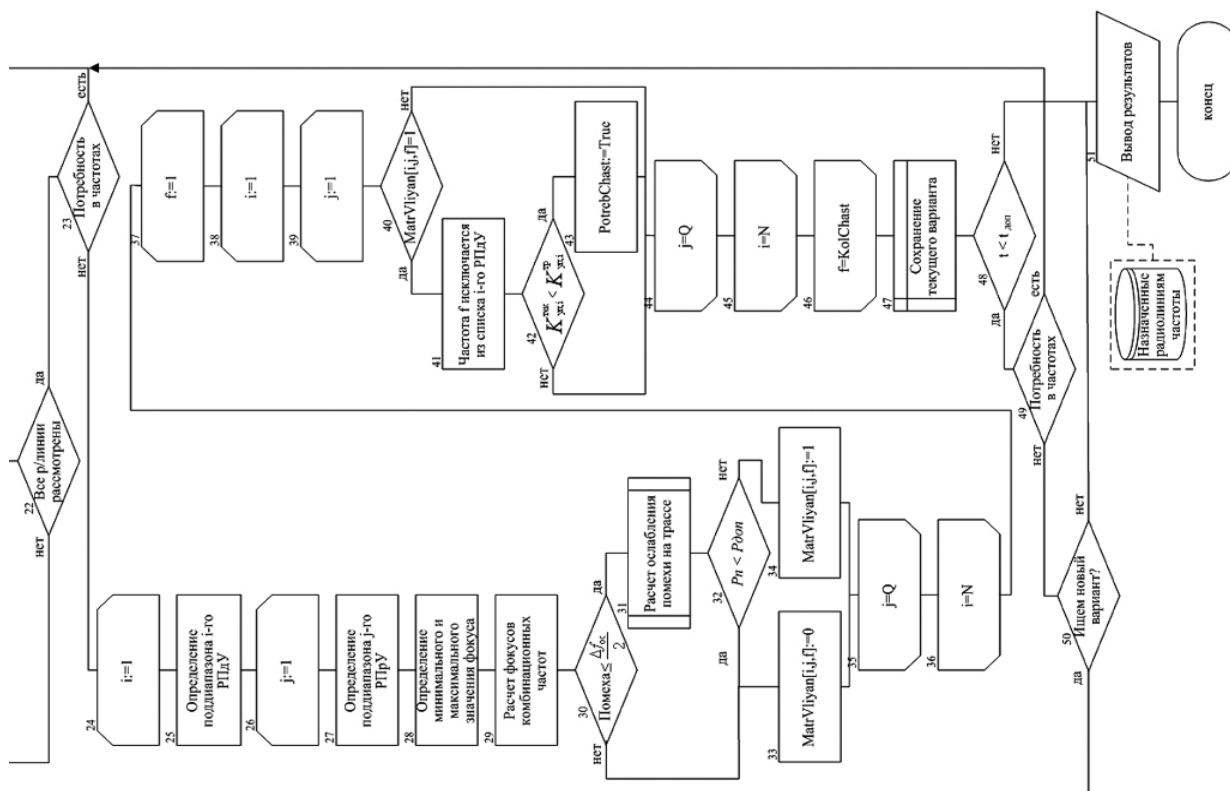


Рис. 1. Блок-схема алгоритма назначения частот

в определении такого вектора рабочих частот  $F_{opt}$ , при котором достигается минимум некоторого показателя ЭМС (минимум взаимных помех) совокупности РЭС при максимуме показателя удовлетворенности потребителей частот в их номиналах.

$$\hat{O}(x) \rightarrow \min_{P_{yi}^n} \max_{E^*}, \text{ при условии:}$$

$$x = (\tilde{\delta}_1, \dots, \tilde{\delta}_n) \in \Omega_n = \{0, 1\}^n, \quad (4)$$

где  $\Omega_n$  — область допустимых значений;  $x$  — допустимый вариант назначения рабочих частот РЭС;  $\tilde{\delta}_n$  — радиолиния в системе связи,  $n = 1, N$ ,  $\tilde{\delta}_n = \{\tilde{\delta}_1, \dots, \tilde{\delta}_q\}$ ,  $q = 1, Q$ ;  $\beta(i) = \{\tilde{\delta}_1^i, \dots, \tilde{\delta}_s^i\}$  — популяция на  $i$ -м шаге итерации.

В процессе назначения частот важную роль играет задача обеспечения ЭМС РЭС как способности их совместной работы в течение определенного времени на определенной территории при обеспечении требуемого качества функционирования, т.е. без непреднамеренного взаимного влияния друг на друга. В нормативных документах установлено, что РЭС (комплекс или система) должно функционировать с заданным качеством в условиях воздействия непреднамеренных радиопомех. Уточняется, что непреднамеренные радиопомехи включают в себя все стационарные радиопомехи, т.е. излучения всех РЭС — и РЭС своей локальной группировки (ЛГ), и удаленные РЭС других систем и регионов.

Стационарные помехи от удаленных РЭС других систем и регионов (внешние помехи) могут воздействовать на радиоприемные устройства (РПрУ) формируемой локальной группировки только за счет воздействия основных излучений радиопередающих устройств (РПДУ) по основным каналам приема (ОКП) РПрУ. Управлять излучениями удаленных РЭС других систем и регионов не представляется возможным. Излучениями РПДУ своей локальной группировки можно управлять, устанавливая требуемые территориальные, частотные и, при необходимости, временные разности РЭС. Показатель, характеризующий состояние ЭМС РЭС связи  $c$ -й радиолинии, можно представить в виде:

$$w_c = \begin{cases} 1, & \text{if } \delta_{yi}^n(z \geq z_{\delta\delta}) \geq P_{yi}^n; \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (5)$$

При необходимости оценки состояния ЭМС совокупности радиолиний, функционирующих на общем (частотном, территориальном, пространственном и временном) ресурсе можно использовать обобщенный показатель, характеризующий

состояние ЭМС РЭС связи совокупности  $c$ -й сети радиосвязи, который можно представить:

$$W_{YI}^c = \prod_{c=1}^C w_c. \quad (6)$$

Он представлен как произведение частных показателей состояния ЭМС РЭС связи в дуэльной оценке отдельных радиолиний. Необходимость свертки частных показателей через произведение заключается в постановке жестких требований системы управления к сети радиосвязи. Невыполнение условия хотя бы одной радиолинией предполагает срыв выполнения задачи всей совокупностью РЭС связи. Такой жесткий подход к оценке условий выполнения ЭМС среди совокупности радиоэлектронных средств связи обеспечивает некоторый запас помехоустойчивости сети радиолиний от воздействия непреднамеренных радиопомех (НРП), что соответствует принципу достаточности реализуемых мероприятий.

Решение задачи осуществляется в рамках следующих допущений. Известны технические характеристики каждого из типов РЭС, входящих в состав группировки, идентичные для всех экземпляров РЭС одного типа. Характеристики, имеющие случайный разброс значений, заданы математическим ожиданием на множестве экземпляров одного типа. Местоположение РЭС и параметры, описывающие условия их функционирования, известны. Пакет частот для назначения выделен из существующих таблиц частот и сформирован по условиям РРВ. Блок-схема алгоритма решения задачи приведена на рис. 1.

Решение задачи назначения частот радиолиниям осуществляется в три этапа. На первом (блоки 1–11) производится подготовка данных для расчета, открытие цифровой карты местности, нанесение обстановки и схемы организации связи. Далее на основании полученных данных строится матрица связи. На втором (блоки 12–23) этапе работа алгоритма осуществляется с использованием генетических операторов. Процедура получения решения является итерационной и начинается с формирования в блоке 12 некоторого начального множества вариантов назначения частот  $\beta(0)$ , которое либо задается оператором, либо определяется автоматически, случайным образом.

Также на этом шаге по признаку удовлетворенности в номиналах частот производится оценка приспособленности каждой радиолинии и средней приспособленности по популяции. Следующим шагом является случайный выбор радиолинии из текущего варианта назначения частот, к которой применяют случайным образом выбранный генетический оператор («копирование», «мутация» или «кроссовер»). Данные действия производят до тех пор, пока в текущем варианте назна-

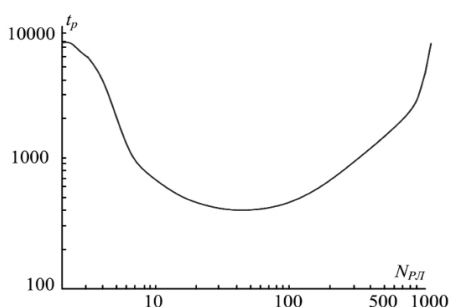


Рис. 2. Зависимость количества итераций от количества радиолоний

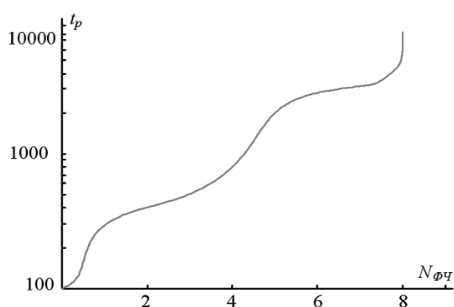


Рис. 3. Зависимость времени решения от количества фиксированных частот

чения частот РЭС присутствуют не задействованные радиолонии (блок 22).

По окончании цикла (то есть окончании эпохи) формирование нового множества вариантов назначения частот завершается. В блоке 23 проверяется удовлетворенность радиолоний текущего множества вариантов назначения в номиналах частот, если не все радиолонии удовлетворены в номиналах, происходит смена эпох, иначе – переход к третьему этапу (блоки 24–46), к оценке взаимных помех в системе связи с текущим вариантом назначения частот РЭС.

На первом шаге третьего этапа осуществляется формирование матрицы взаимного влияния. После окончания цикла рассмотрения всех РПДУ осуществляется переход ко второму шагу – корректировке номиналов частот с вычеркиванием лишних частот, ухудшающих ЭМС. На втором шаге, в цикле, определяется частота, на которой  $i$ -е РПДУ осуществляет мешающее воздействие  $j$ -му РПДУ, и при наличии такой производится исключение ее номинала из списка назначенных рассматриваемой радиолонии. По окончании цикла корректировки текущий вариант назначения частот радиолониям сохраняется как промежуточное решение (блок 47).

Сохранение требуемого количества текущих «лучших» вариантов назначения частот с заменой «более худших» из предыдущей итерации необходимо на случай нештатного завершения работы алгоритма, в этом случае частоты из имеющихся вариантов могут быть назначены при условии ухудшения ЭМС

и/или коэффициента удовлетворенности радиолоний в номиналах частот. Далее, если текущее время работы меньше отведенного для решения задачи и необходимо осуществить поиск нового варианта назначения частот, происходит переход к созданию нового начального множества вариантов назначения частот (блок 12), иначе – вывод результатов работы алгоритма и его завершение.

Разработанный генетический алгоритм назначения частот РЭС был реализован на языке программирования высокого уровня. По результатам многократных запусков программы были получены статистические данные, по усредненным значениям которых построены графики, изображенные на рис. 2 и 3. Во время тестирования решалась задача назначения частот для 80 радиолоний с фиксированной частотой и 10 радиолоний ППРЧ по 8 частот в пакете в УКВ-диапазоне.

Пакет частот, выделенный к назначению и сформированный по условиям РРВ, составляет 350 номиналов. Из рисунка 2 видно, что существует область значений размера популяции, составляющая от 20 до 100 радиолоний, для которой количество итераций при назначении частот наименьшее. Действительно, если размер популяции мал, при заданном ограничении количества вычислений функции приспособленности и/или фиксированном времени вычислений алгоритм успеет создать большее количество поколений, но вероятнее всего, преждевременно сойдется к локальному оптимуму. С другой стороны, слишком большой размер популяции приведет к увеличению вычислительной сложности алгоритма и, как следствие, нехватке отведенного для вычислений временного ресурса. Из рисунка 3 видно, что алгоритм способен гарантированно находить решение для радиолоний с количеством фиксированных частот не более 7.

### Литература

1. Еремеев А.В. Диссертация канд. физ.-мат. наук. – Омск, 2000.
2. Кисляков А.В. Диссертация канд. техн. наук. – М.: МГУЭСИ, 2001.
3. Сосунов Б.В., Щербаков Д.С. Применение генетических алгоритмов в задачах конструктивного синтеза антенн. – СПб.: ВАС, 2005.
4. Флетчер К. Численные методы на основе метода Галеркина. – М.: Мир, 1988.
5. Прюгель-Беннетт А., Рэттрэй М., Шапиро Д. Применение методов статистической механики для изучения динамики генетического алгоритма // Обзорение прикладной и промышленной математики. – 1996. – Т. 3. – Вып. 5. – С. 670–687.
6. Johnson J., Rahmat-Samii Y. Genetic algorithms and method of moments (GA/MOM) in the design of integrated antennas // IEEE Trans. Antennas Propagat. – Vol. 47. – № 10. – October 1999. – P. 1606–1614.
7. Kerkhoff A. Design of band-notched planar monopole antennas using a genetic algorithm optimization // IEEE Trans. Antennas Propagat. – March 2007. – Vol. 55. – P. 604–611.