

**В.М. ТОНКОНОГИЙ**, д-р техн. наук, **А.А. ПЕРПЕРИ**,  
**Д.А. МОНОВА**, Одесса, Украина

## **МНОГОЦЕЛЕВАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДОМ КОМПЛЕКСНОГО ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА**

Запропонований метод рішення багаточільових завдань оптимізації багатоекстремальних функцій з узагальненими аргументами за допомогою комплексного генетичного алгоритму. Метод випробуваний і рекомендується для використання при проектуванні об'єктів, які мають узагальнені параметри, наприклад, єдину швидкість обертання двох інструментів, розташованих на одному валу. Практичні випробування методу на прикладі комплексної механічної обробки деталей показали його працездатність та технічну ефективність.

Предложен метод решения многоцелевых задач оптимизации многоэкстремальных функций с обобщенными аргументами с помощью комплексного генетического алгоритма. Метод испытан и рекомендуется для использования при проектировании объектов, имеющих обобщенные параметры, например, единую скорость вращения двух инструментов, расположенных на одном валу. Практические испытания метода на примере комплексной механической обработки деталей показали его работоспособность и техническую эффективность.

*V.M. TONKONOGIJ, A.A. PERPERI, D.A. MONOVA*

### *MULTI-PURPOSE OPTIMIZATION BY THE METHOD OF COMPLEX GENETIC ALGORITHM*

The method of the multi-purpose problems decision of multiextreme functions optimization with the generalized arguments by means of complex genetic algorithm is offered. The method is tested and it is recommended for use at designing of the objects having generalized parameters, for example, uniform speed of rotation of two tools, located on one shaft. Practical tests of a method for an example of complex details machining have shown its working capacity and technical efficiency.

Эволюционные методы оптимизации непрерывно развиваются. В частности, появляются новые разновидности классического генетического алгоритма (ГА), позволяющие решать задачи поиска многомерного оптимума быстрее и эффективнее. Немалую роль в этом развитии играют и сами объекты оптимизации, специфика которых требует от ГА новых возможностей. Предлагаем комплексный генетический алгоритм (КГА), предназначенный для использования в задачах многоцелевой оптимизации многоэкстремальных функций с обобщенными аргументами.

Рассмотрим некоторую систему, состоящую из двух подсистем, описываемых многоэкстремальными уравнениями:

$$z_1 = z_1(x_1, y_1); \quad (1)$$

$$z_2 = z_2(x_2, y_2), \quad (2)$$

где  $x_1, y_1, x_2, y_2$  – параметры системы,  $z_1, z_2$  – целевые функции ее функционирования.

Сформулируем проблему решения задачи многоцелевой оптимизации такой системы:

$$P^* = P(z_1^*, z_2^*) = \max P(x_1, y_1, x_2, y_2), \quad (3)$$

где  $P$  – комплексная целевая функция,  $x_{1min} \leq x_1 \leq x_{1max}$ ;  $x_{2min} \leq x_2 \leq x_{2max}$ ;  $y_{1min} \leq y_1 \leq y_{1max}$ ;  $y_{2min} \leq y_2 \leq y_{2max}$ . В данном случае функция  $P$  является, по существу, сверткой компонент многоцелевого показателя качества  $P\{z_1, z_2\}$  и преобразует совокупность таких компонент в скалярный целевой показатель [3].

Если в задаче (3)  $x_1$  и  $x_2$ , а также  $y_1$  и  $y_2$  попарно независимы или, наоборот, равны между собой, то ее решение при известной функции  $P$  оптимально и может быть легко выполнено с помощью ГА.

Проблема возникает в том случае, когда, например,  $x_1$  и  $x_2$  независимы, а  $y_1 = y_2 = y$ . Тогда задача (3) сводится к:

$$P^* = \max P(x_1, x_2, y), \quad (4)$$

а классический ГА становится неприменимым к ней из-за отсутствия символьных моделей такой системы и операторов для их преобразования в ГА.

Особенностью объектов, описываемых выражением (4) является одновременное наличие следующих свойств:

- целевых функций больше одной;
- функции многоэкстремальны;
- часть аргументов у функций обобщены.

Как известно ГА, благодаря своим свойствам, является идеальным инструментом для оптимизации многоэкстремальных функций, в которых дифференцируемость, непрерывность, удовлетворение условию Гельдера (в том числе, липшицируемость функции) не являются необходимым свойством, кроме того, целевая функция может вообще быть не определенной за пределами допустимой области, а в ее пределах иметь несколько глобальных экстремумов [1, 2]. В рамках этого алгоритма объект на генетическом уровне представляется хромосомой, представляющей собой линей-

ную последовательность битовых символов [3, 4]. Наличие в фенотипе объекта нескольких целевых функций приводит на уровне генотипа к появлению “параллельных” хромосом. Однако для целевых функций с обобщенными аргументами такие хромосомы не годятся.

Целью настоящей работы является повышение эффективности оптимизации обобщенных систем путем разработки метода комплексного генетического алгоритма, оперирующего на уровне генотипа звездообразными хромосомами.

КГА, так же, как и классический ГА, начинается с ввода исходных данных. Здесь отличие от ГА заключается в том, целевых функций больше, чем одна, и все они должны быть известны (например, в результате эксперимента) к началу работы КГА.

Далее начинается подготовительный период. Отличие его от ГА в двух компонентах:

- вначале рассчитываются целевые функции для всей популяции, а затем их значения объединяются в значение функции приспособленности  $P$ ;
- в новом методе символьными моделями объекта являются особые, комплексные звездообразные хромосомы.

Всего звездообразных хромосом, изображенных на рис. 1 в, формируется  $N$  – по количеству особей-родителей нулевого поколения.

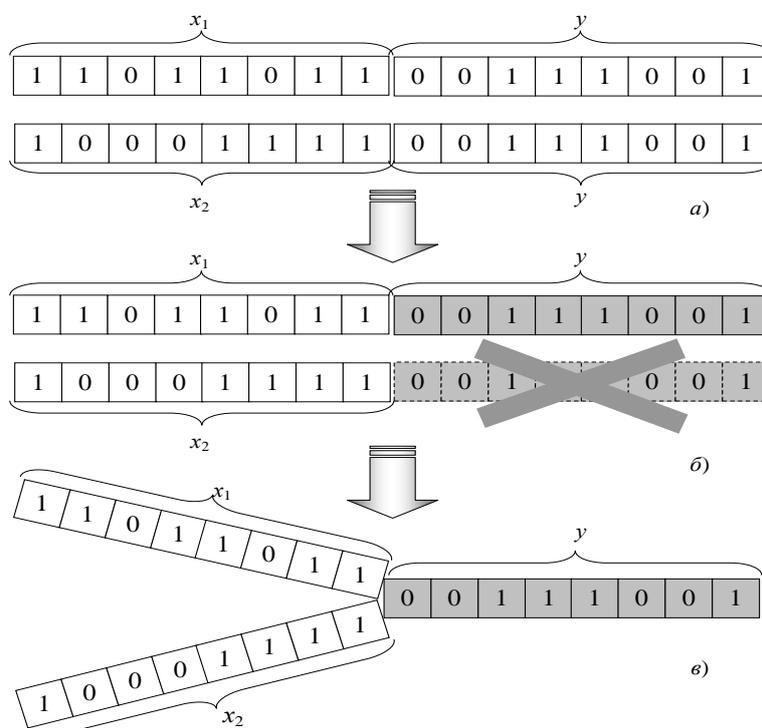


Рисунок 1 – Схема формирования звездообразной хромосомы с обобщенным параметром: *a* – формирование двух хромосом отдельных подсистем; *b* – исключение повторяющегося в обеих хромосомах гена; *в* – звездообразная конкатенация индивидуальных и обобщенного генов

Далее начинается основная часть КГА, когда в цикле объект проживает  $T$  эпох до завершения процесса оптимизации. На протяжении нулевой эпохи (номер эпохи  $t = 0$ ;  $t \in T$ ) вначале осуществляется скрещивание, состоящее из четырех операторов: выбора пар, собственно скрещивания (кроссовера), мутации и инверсии.

Пара особей  $A_1$  и  $A_2$  (рис. 2 а) подбирается для скрещивания из  $N$  в соответствии с настройками пользователя (например, случайно). Механизм скрещивания хромосом особей  $A_1$  и  $A_2$  приведен на рис. 2 б. Вначале обычным для ГА способом выполняется оператор кроссовера для обобщенной части хромосом родителей. При этом получается обобщенная часть хромосомы отпрыска.

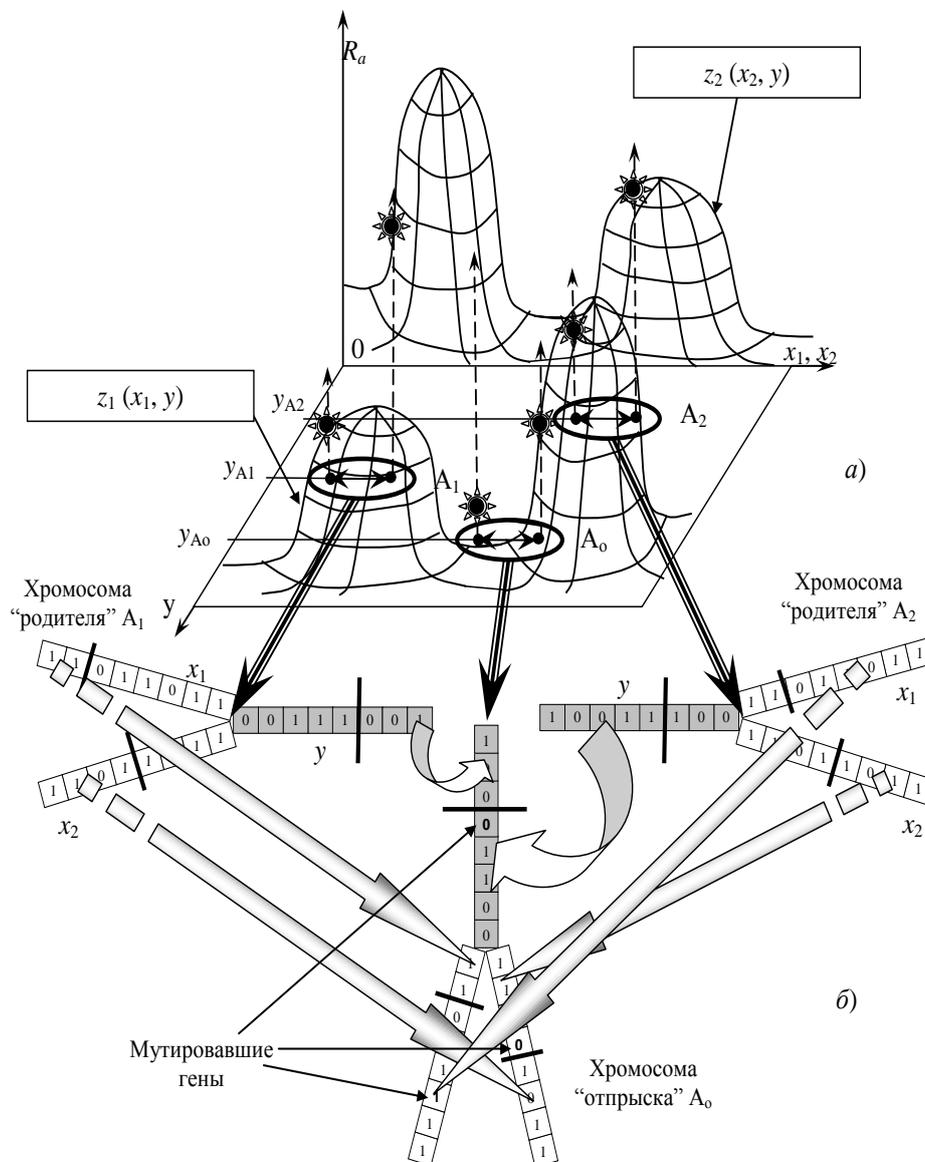


Рисунок 2 – Схема процесса скрещивания в методе КГА:  
а – уровень фенотипа; б – уровень генотипа

Таким же образом скрещивают отдельно индивидуальные части хромосом особей  $A_1$  и  $A_2$ . Конкатенацией полученных фрагментов получают новую полную звездообразную хромосому. К отдельным ее частям применяют операторы мутации и (если необходимо) инверсии, после чего полученная хромосома отпрыска готова (рис. 2 б).

Далее  $N$  звездообразных хромосом родителей и  $N/2$  хромосом отпрысков подвергаются отбору по величине функции  $P$ .

По окончании отбора из  $1,5 N$  особей оставляют  $N$  лучших по значению  $P$ , остальные  $0,5 N$  уничтожаются (стираются). На этом текущая эпоха процесса оптимизации завершается.

*Критерием общего останова* является отсутствие увеличения всех значений функции  $P$  для всех особей текущей и предпоследней популяций после очередной эпохи. Такой останов считается штатным для алгоритма, т.к. в этом случае он сходится, сходится на оптимуме и сходится за приемлемое время. В противном случае необходимо менять настройки пользователя: количество особей в популяции; метод заселения области решений на нулевом этапе; функция приспособленности  $P$ ; способ нормирования аргументов; структура и длина хромосомы; метод подбора пар; количество и место расположения точек скрещивания; количество и место расположения мутирующих точек; необходимость и методика инверсии; критерий останова.

Схема комплексного генетического алгоритма оптимизации обобщенных систем приведена на рис. 3.

В качестве объекта практического применения КГА использовали технологический процесс механической обработки детали, в котором одновременно задействованы два вращающихся на одном валу режущих инструмента, обрабатывающие разные поверхности. В качестве аргументов выражений (1) и (2) в этом случае выступает количество режущих зубьев у инструментов –  $x_1$  и  $x_2$ , соответственно, и обобщенная скорость их вращения  $y$ ; в качестве целевых функций  $z_1$  и  $z_2$  – шероховатости поверхностей после обработки.

Для условий, принятых при сравнительных испытаниях метода, оптимальные значения  $x_1^* = 6$ ,  $x_2^* = 10$ ;  $y = 630$  об/мин были найдены методом подбора за 2,3 часа, с помощью КГА за 63 с машинного времени.

Таким образом, в работе получен метод решения многоцелевых задач оптимизации многоэкстремальных функций с обобщенными аргументами с помощью комплексного генетического алгоритма. Практические испытания метода на примере комплексной механической обработки деталей показали его работоспособность и техническую эффективность.

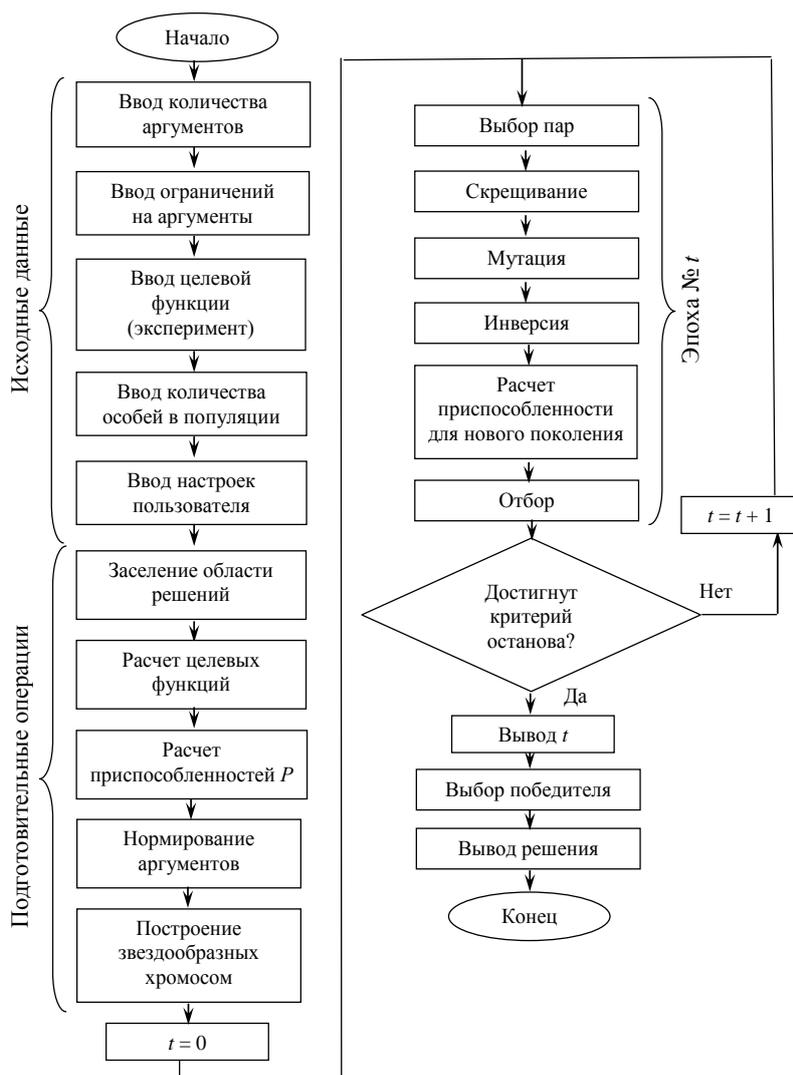


Рисунок 3 – Схема комплексного генетического алгоритма оптимизации

**Список использованных источников:** 1. Гладков Л.А. Генетические алгоритмы / Л.А. Гладков, В.В. Курейчик, В.М. Курейчик. – М: Физматлит, 2006. – 320 с. 2. Гладков Л.А. Биоинспирированные методы в оптимизации / Л.А. Гладков, В.В. Курейчик, В.М. Курейчик. – М: Физматлит, 2009. – 384 с. 3. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л.Рутковский. – М: Горячая линия-Телеком, 2008. – 452 с. 4. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети / А.П. Ротштейн. – Винница: Универсум-Винница, 1999. – 320 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. Gladkov L.A. Geneticheskie algoritmy / L.A. Gladkov, V.V. Kurejchik, V.M. Kurejchik. – M: Fizmatlit, 2006. – 320 s. 2. Gladkov L.A. Bioinspirirovannye metody v optimizacii / L.A. Gladkov, V.V. Kurejchik, V.M. Kurejchik. – M: Fizmatlit, 2009. – 384 s. 3. Rutkovskaja D. Nejronnye seti, geneticheskie algoritmy i nechetkie sistemy / D. Rutkovskaja, M. Pili'n'skij, L.Rutkovskij. – M: Gorjachaja linija-Telekom, 2008. – 452 s. 4. Rotshtejn A.P. Intellektual'nye tehnologii identifikacii: nechetkie mnozhestva, geneticheskie algoritmy, nejronnye seti / A.P. Rotshtejn. – Vinnica: Universum-Vinnica, 1999. – 320 s.