

ПОЖАРНАЯ ТЕХНИКА И ВООРУЖЕНИЕ

УДК 629.5.067.8(476)

**д-р техн. наук, проф. Здор Г.Н.,
Потеха А.В.* , канд. техн. наук Иванов Ю.С.****

Определение перспективных направлений совершенствования пожарных роботов с использованием метода генетических алгоритмов

УО «Белорусский национальный технический университет», г. Минск

**УО «Гродненский государственный аграрный университет», г. Гродно*

***Учреждение «Научно-исследовательский институт*

пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций»

Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, г. Минск

Генетические алгоритмы использованы для определения перспективных направлений развития систем пожарного робота. Дано определение и осуществлена трактовка основных технических терминов пожарной робототехники – аналогов базовых терминов генетических алгоритмов. На основе предложенной терминологии разработана методика матричного представления пожарного робота в параметрах двоичного кода. Последовательная реализация этапов генетического алгоритма позволила установить итерационный рост значений функции приспособленности, свидетельствующий о повышении инновационности конструкции пожарного робота. Средние значения фенотипов систем генерируемых популяций позволяют оценить динамику их развития и сделать выводы о перспективах использования при создании более совершенных конструкций пожарных роботов. Обосновывается попытка введения и даётся определение новому термину – «генотехника».

Ключевые слова: генетические алгоритмы, пожарные роботы, направления совершенствования, генотехника.

**Dr. (Tech.), prof. G.N. Zdor
A.V. Potekha*, Ph.D. (Tech.) Y.S. Ivanov****

Upcoming trends identifying for fire-robots improvement using the method of genetic algorithms

Belarussian National Technical University, Minsk

**Grodno State Agrarian University, Grodno*

***The Establishment «Research Institute of Fire Safety and Emergencies»
of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk*

Genetic algorithms are used to identify advanced areas of fire-robot systems. Main technical fire robotics terms, that are equivalent to basic terms of genetic algorithms, are disclosed. New method based on matrix notation of fire-robot parameters in binary code is developed on the basis of the proposed terminology. Consistent implementation of the genetic

algorithm stages has allowed to establish an iterative growth of fitness function values, that indicates the innovation increase of fire-robots construction design. Average phenotypes values of generated populations allow to assess the dynamics of their development and to draw conclusions about the prospects of using it in creating improved fire-robots designs. An attempt to introduce and to define a new term «genotechnics» is made.

Keywords: genetic algorithms, fire robots, direction of improvement, genotekhnika.

Введение

Идея создания генетических алгоритмов (далее – ГА) принадлежит Дж. Холланду [1]. Практически сразу после своего создания ГА привлекли внимание практически ориентированных исследователей и представителей прикладной науки [2-5].

В настоящее время ГА используются для оптимизации архитектуры САПР, решения задач компоновки, размещения, трассировки и верификации элементов СБИС [2]. Применительно к техническим системам ГА применяются для выбора оптимальной траектории движения мобильных робототехнических средств [6]. Известны исследования, посвящённые использованию ГА для синтеза новых конструкций электрических малых антенн для сферы телекоммуникаций. При этом в качестве критерия оптимизации используется геометрическая форма антенн и их элементов [7].

Насколько нам известно, какие-либо исследования, посвященные использованию ГА для совершенствования технических устройств и систем, не проводились. С нашей точки зрения, отсутствие работ по практическому использованию ГА для решения задач по конструкционному совершенствованию технических систем и их элементов связано с большой

сложностью и масштабируемостью решаемой задачи, а также недостаточно хорошо проработанной методической стороной вопроса.

Вместе с тем актуальность такого рода исследований, по нашему мнению, не вызывает сомнений. При этом проведение исследований по определению перспективных направлений совершенствования пожарных роботов целесообразно разделить на несколько этапов. В настоящей работе решается одна из возможных начальных задач – определение тенденций развития физических систем пожарного робота. В данном случае под физической системой подразумевается совокупность всех структурных элементов пожарного робота, принцип действия которых основан на конкретном физическом эффекте: механическом, оптическом и т. д.

Основы теории

Генетические алгоритмы представляют собой адаптивные методы поиска и основаны на генетических процессах биологических организмов: биологические популяции развиваются в течение нескольких поколений, подчиняясь законам естественного отбора и по принципу «выживает наиболее приспособленный», открытому Чарльзом Дарвином. Подражая этому процессу, ГА способны «развивать» решения реальных задач, если

те соответствующим образом закодированы. ГА отличаются от традиционных методов оптимизации несколькими базовыми элементами. В частности, генетические алгоритмы:

1. обрабатывают не значения параметров самой задачи, а их закодированную форму;
2. осуществляют поиск решения исходя не из единственной точки, а из их некоторой популяции;
3. используют только целевую функцию, а не ее производные либо иную дополнительную информацию;
4. применяют вероятностные, а не детерминированные правила выбора;
5. могут работать с многопараметрическими задачами;
6. позволяют осуществлять оптимизацию для сложных функциональных поверхностей с большим количеством экстремумов и др.

Генетические алгоритмы работают с совокупностью особей – популяцией, каждая из которых представляет возможное решение данной проблемы. Каждая особь оценивается мерой её «приспособленности» согласно тому, насколько «хорошо» соответствующее ей решение задачи (в природе это эквивалентно оценке того, насколько эффективен организм при конкуренции за ресурсы). Наиболее приспособленные особи получают возможность «воспроизводить» потомство с помощью «перекрёстного скрещивания» с другими особями популяции. Это приводит к появлению новых особей, которые сочетают в себе некоторые характеристики, на-

следуемые ими от родителей. Наименее приспособленные особи с меньшей вероятностью смогут воспроизвести потомков, так что те свойства, которыми они обладали, будут постепенно исчезать из популяции в процессе эволюции.

Так и воспроизводится вся новая популяция допустимых решений, выбирая лучших представителей предыдущего поколения, скрещивая их и получая множество новых особей. Это новое поколение содержит более высокое соотношение характеристик, которыми обладают хорошие члены предыдущего поколения. Таким образом, из поколения в поколение хорошие характеристики распространяются по всей популяции. Скрещивание наиболее приспособленных особей приводит к тому, что исследуются наиболее перспективные участки пространства поиска. В конечном итоге, популяция будет сходиться к оптимальному решению задачи [3-4].

Основной способ взаимодействия – кроссовер или скрещивание. При кроссовере ДНК предков делятся на части, а затем обмениваются своими частями.

При наследовании возможны мутации, в результате которых случайным образом могут изменяться некоторые гены в половых клетках одного из родителей. Изменённые гены передаются потомку и придают ему новые свойства. Если эти новые свойства полезны, они, скорее всего, сохранятся в данном виде. При этом может произойти скачкообразное повышение приспособленности вида.

В самом общем виде этапы ГА должны предусматривать следующую последовательность действий: задание целевой функции (приспособленности) для особей популяции; создание начальной популяции; вычисление значения целевой функции для всех особей; проверку условия завершения работы алгоритма; скрещивание (размножение) и мутацию хромосом; селекцию (формирование нового поколения). Завершается цикл выбором «наилучшей» хромосомы.

Алгоритм останавливается после обнаружения приемлемого решения или завершения набора заданного числа итераций.

В ГА сохраняется биологическая терминология в упрощённом виде, а также используются соответствующие этим терминам определения из технического лексикона и информатики: цепь, двоичная последовательность, структура. Последние необходимы для кодированного представления исходных хромосом и тех изменений, которые происходят в них в процессе кроссовера и мутации.

Также в ГА применяется ряд терминов, заимствованных из генетики, прежде всего гены и хромосомы, а также популяция, особь, аллель, генотип, фенотип, функция приспособленности, кроссовер, мутация.

Методика исследований

Методика исследований основывалась на классической структуре ГА, представленной в работах [3-5]. На всех этапах исследования для решения статистических задач по гене-

рации случайных чисел применяли программу Random Number Generator v.1.1. При расчёте значений фенотипов систем и функции приспособленности использовали средние значения по 10 хромосомам (структурным модулям пожарного робота). Каждый структурный модуль, в свою очередь, представлялся состоящим из конкретных систем пожарного робота (набора элементов двоичного кода).

Основная часть

Использование генетических алгоритмов для прогнозирования направлений развития (совершенствования) технических систем предполагает использование соответствующих терминов и определений. При этом важным является необходимость наиболее близкого структурно-функционального сходства между основными понятиями генетических алгоритмов и их техническими аналогами. Первая попытка определения терминологических соответствий между генетическими алгоритмами и их техническими аналогами была представлена нами в [8-9].

С учетом ранее проведенных исследований в области роботизированных систем пожаротушения определим возможные технические аналоги основных понятий генетических алгоритмов (таблица 1). Предлагается под популяцией понимать группу пожарных роботов, выполняющих одну боевую задачу, например, ликвидацию возгораний на каком-либо сложном конкретном объекте.

Таблица 1 – Основные термины генетических алгоритмов и их технические аналоги

Термины генетических алгоритмов	Технический аналог
Популяция	Группа пожарных роботов, выполняющих одну задачу
Особь	Пожарный робот
Хромосома	Структурный модуль пожарного робота
Последовательная группа генов (часть хромосомы)	Система пожарного робота
Ген	Элемент подсистемы пожарного робота
Генотип (или структура)	Структура системы пожарного робота
Фенотип	Декодированная структура пожарного робота – решение, точка пространства
Аллель	Значение элемента подсистемы пожарного робота
Локус (или позиция)	Позиция элемента в подсистеме пожарного робота
Поклоение	Иновационная конструкция пожарного робота
Функция приспособленности	Аналогично

Особь (пожарный робот) может быть изображена матрицей, каждая строка которой представляет собой некоторую хромосому (рисунок 1). В качестве такой хромосомы, например, может выступать структурный модуль пожаротушения пожарного робота [8-10].

При этом отдельные части хромосомы могут выполнять функции своих некоторых технических аналогов – систем, параметров или элементов робототехнических устройств.

Последовательная группа генов (часть хромосомы) может представлять отдельно взятую систему пожарного робота. Уникальные возможности ГА позволяют путём соответствующего кодирования хромосом осуществлять эволюционные преобразования не только систем, но и подсистем различного уровня иерархии, вплоть до отдельно взятых элементов пожарного робота. В последнем случае каждый элемент системы пожарного робота представляется геном

хромосомы с определённой позицией (локусом).

Остальные технические аналоги терминов генетических алгоритмов (генотип, фенотип, аллель, локус и поколение) не требуют дополнительных пояснений и представлены в таблице 1.

Рассмотрим практическое использование ГА для решения поставленной задачи – определения перспективных направлений совершенствования пожарных роботов.

Этап 1. Инициализация

Этап предназначен для формирования исходной популяции и заключается в случайном выборе заданного количества хромосом (структурных модулей пожарного робота). При этом каждый структурный модуль представляется двоичными последовательностями фиксированной длины, каждая из которых представляет физическую систему пожарного робота.

q	r	s	t	Параметры, элементы
110	000	010	001	◀
000	110	001	101	▼
111	000	100	111	◀
001	011	111	000	

Хромосомы

Рисунок 1 – Представление пожарного робота в параметрах двоичного кода

В качестве исследуемых объектов определяем следующие четыре системы пожарного робота: 1 – механическая; 2 – электромагнитная; 3 – оптическая; 4 – электронная.

На основании исторических данных о развитии физической науки и их связи с создаваемыми конструкциями машин и механизмов зададим системам значения (фенотипы), характеризующие степень их сложности (развитости или совершенства): механическая – от 0 до 7; электромагнитная – до 31; оптическая – до 63; электронная – до 127. Это позволяет определить длину хромосомы в 28 позиций, распределенных между четырьмя физическими системами.

Примем ограничения: физические системы при одинаковой общей длине хромосом развиваются (эволюционируют) в пределах генов, определяющих значения соответствующих фенотипов.

Для решения поставленной задачи необходимо найти целевую функцию

$$\max_{k_1, k_2, k_3, k_4} R = \int_0^T f(y_1, y_2, y_3, y_4, u) dt,$$

где $k_1 - k_4 \in [k_{\min}, k_{\max}]$ – параметры задачи, принадлежащие некоторому множеству, лежащему в определенном пространстве поиска от некоторого минимального значения до максимального. При этом k_{\min} – в двоичной кодовой последовательности состоит из одних нулей, а k_{\max} – в виде одних единиц;

u – входной сигнал в систему.

Длины кодовых последовательностей зависят от значений параметров и частоты дискретизации интервала $[k_{\min}, k_{\max}]$.

Этап 2. Оценка приспособленности хромосом в популяции

Предназначение этапа – рассчитать функцию приспособленности для каждой из хромосом в исходной (родительской) популяции. Чем больше значение функции приспособленности, тем выше «качество» хромосомы.

Для выбора вида функции приспособленности используем представления о жизненном цикле инно-

вационных изделий (этапах инновационного процесса) [11, с. 66]. В соответствии с представленными в этой работе данными эволюция продукта, может быть описана зависимостью, близкой к квадратичной. Используем в исследовании функцию приспособленности вида

$$y = -0,3x_1^2 + 3,5x_2 - 0,002x_3^2 + 0,07x_4.$$

Таблица 2 – Результаты расчета функции приспособленности для родительской популяции хромосом

1 система	Фенотип 1 системы	2 система	Фенотип 2 системы	3 система	Фенотип 3 системы	4 система	Фенотип 4 системы	Функция приспособленности
0000101	5	0011000	24	0011011	27	0010001	17	76,232
0000010	2	0001101	13	0001010	10	1011101	93	50,610
0000000	0	0011010	26	0111110	62	0110101	53	87,022
0000011	3	0000000	0	0100101	37	1101110	110	2,262
0000010	2	0011010	26	0110110	54	1001010	74	82,848
0000000	0	0000111	7	0000111	7	1100101	101	31,472
0000111	7	0010101	21	0101110	46	0110011	51	58,138
0000100	4	0001001	9	0101000	40	0100101	37	26,090
0000001	1	0000001	1	0011011	27	0100001	33	4,052
0000000	0	0010110	22	0010011	19	1100011	99	83,208
Средние значения	2,4		14,9		32,9		66,8	50,19

Этап 3. Проверка условия остановки алгоритма

Определение условия остановки генетического алгоритма зависит от его конкретного применения. В оптимизационных задачах остановка алгоритма может произойти после достижения ожидаемого оптимального значения, возможно – с заданной точностью или в случае, когда его выполнение не приводит к улучшению уже достигнутого значения. Алгоритм также может быть остановлен по истечении определённого времени выполнения либо после выполнения за-

данного количества итераций. Если условие остановки выполнено, то производится переход к завершающему этапу выбора «наилучшей» хромосомы. В противном случае на следующем шаге выполняется селекция.

Задаем условие для решения задачи – завершить остановку работы алгоритма после 9 итераций.

Этап 4. Селекция хромосом

Селекция заключается в выборе тех хромосом, которые будут участвовать в создании потомков для следующей популяции. При этом выбор

производится согласно принципу естественного отбора, согласно которому наибольшие шансы на участие в создании новых особей имеют хромосомы с наибольшими значениями функции приспособленности.

В практике получили распространение несколько методов селекции. Одним из наиболее распространенных методов селекции является метод рулетки. При этом каждой хромосоме может быть сопоставлен сектор колеса рулетки, величина которого устанавливается пропорциональной значению функции приспособленности данной хромосомы [3].

Каждой хромосоме, обозначаемой ps_i для $i = 1, 2, \dots, N$ (где N обозначает численность популяции), соответствует сектор круга $s(ps_i)$, выраженный в процентах согласно формуле

$$s(ps_i) = v_s(ps_i) \cdot 100\%,$$

где

$$v_s(ps_i) = \frac{F(ps_i)}{\sum_{i=1}^N F(ps_i)},$$

причем $F(ps_i)$ – значение функции приспособленности хромосомы ps_i , а $v_s(ps_i)$ – вероятность селекции хромосомы ps_i .

Очевидно, что чем больше сектор, тем больше вероятность «победы» соответствующей хромосомы.

В результате процесса селекции создается родительская популяция с численностью N , равной численности текущей популяции.

Несомненный интерес представляет оценка работы статистической составляющей алгоритма при определении количества «побед» хромосом, определяющих состав популяции потомков. Для этого по результатам 10 генераций случайных чисел определяли среднее количество «побед» хромосом (таблица 3).

Как следует из представленных в таблице 3 данных, наибольшее количество побед хромосом практически всегда соответствует максимальным значениям функции приспособленности. Это свидетельствует о корректной работе генетического алгоритма при решении поставленной задачи.

По результатам расчетов (1 генерация) при формировании следующей популяции (1-я популяция потомков) используются следующие хромосомы: хромосомы 1, 2 и 3 – по 2 особи; хромосомы 5, 6, 8 и 10 – по 1 особи.

Таблица 3 – Результаты расчета количества «побед» хромосом

Характеристика	Хромосомы									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Функция приспособленности	76,23	50,61	87,02	2,26	82,85	31,47	58,14	26,09	4,05	83,21
2. Площадь сектора на круге, %	15,19	10,08	17,34	0,45	16,50	6,27	11,58	5,20	0,81	16,58
3. Количество «побед» хромосом 1 генерация	2	2	2	0	1	1	0	1	0	1

Продолжение таблицы 3

Характеристика	Хромосомы									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2 генерация	0	1	2	1	2	0	0	2	0	2
3 генерация	1	1	4	0	0	0	3	0	0	1
4 генерация	1	1	1	0	1	0	1	5	0	0
5 генерация	1	3	2	0	1	2	0	0	0	1
6 генерация	0	0	2	0	1	1	1	0	0	5
7 генерация	0	3	2	0	4	0	0	0	0	1
8 генерация	1	2	3	0	0	1	1	0	1	1
9 генерация	2	1	1	0	1	2	2	0	0	1
10 генерация	2	1	1	0	1	3	0	1	0	1
Сумма побед	10	15	20	1	12	10	8	9	1	14
Среднее количество побед по 10 поколениям	1,0	1,5	2,0	0,1	1,2	1,0	0,8	0,9	0,1	1,4

Хромосомы с порядковыми номерами 4, 7 и 9 в формировании следующей популяции не участвуют. Следует отметить, что полученные результаты (таблицы 3 и 4) демонстрируют не только, как уже отмечалось корректную работу ГА, но и показывают выполнение статистического принципа, заложенного в саму методологию метода. Так, при формировании следующей популяции предпочтение получили практически все хромосомы с наибольшими значениями функции приспособленности (1, 2, 3, 5 и 10). В то же время при формировании 1-го поколения потомков будут принимать участие хромосомы с достаточно низкими значениями функции приспособленности (6 и 8).

Этап 5. Применение генетических операторов

Применение генетических операторов к отобраным в результате селекции хромосомам приводит к формированию новой популяции потомков от созданной на предыдущем ша-

ге алгоритма родительской популяции.

В классическом генетическом алгоритме применяют два основных генетических оператора: оператор скрещивания (crossover) и оператор мутации (mutation).

Оператор скрещивания

На первом этапе скрещивания случайным образом выбираются пары хромосом из родительской популяции, сформированной на основе данных по 1-й генерации (таблица 3). Далее для каждой пары отобранных таким образом родителей разыгрывается позиция гена (локус) в хромосоме, определяющая так называемую точку скрещивания.

Предполагаем, что в парах родителей реализуется односточный кроссовер. Определение точки скрещивания осуществляется путём случайного выбора числа из интервала $[1, L - 1]$, где L – количество генов в хромосоме.

Результаты генерации пар хромосом: 1-2; 1-3; 2-8; 3-6; 5-10 с точ-

ками скрещивания соответственно: 15, 1, 4, 25 и 9.

Оператор мутации

В генетическом алгоритме мутация хромосом может выполняться на популяции родителей перед скрещиванием либо на популяции потомков, образованных в результате скрещивания.

Осуществляем мутацию на популяции потомков, полученной в ре-

зультате скрещивания. Допустим, что в каждой хромосоме мутирует один ген. Мутируемый ген (его позиция) определяется путем генерирования случайных чисел из интервала 1-28 (1. L) для каждой хромосомы.

В таблице 4 представлены хромосомы (структурные модули пожарного робота) после реализации операторов скрещивания и мутации.

Таблица 4 – Хромосомы новой популяции после кроссовера и мутации

Позиция мутируемого гена	Системы, хромосомы			
	1	2	3	4
20	0000101	0011000	0001000	1011101
18	0000010	0001101	0010011	0010001
11	0000101	0010000	0011110	0110101
5	0000100	0011010	0111011	0010001
6	0000110	0001001	0101000	0100101
26	0000010	0001101	0001010	1011001
9	0000000	0011010	0111110	0110101
2	0000010	0000111	0000111	1100101
12	0000010	0010010	0010011	1100011
28	0000000	0011010	0110110	1001011

Для новой популяции среднее значение функции приспособленности для популяции из 10 хромосом составляет 60,60.

Таким образом, значение функции приспособленности для первой популяции потомков по сравнению со значением, полученным для исходной родительской популяции, возросло на 20,74 % (было 50,19).

Аналогичным образом продолжаем исследование – осуществ-

ляем 9 итераций (родительская популяция и 8 потомков) с последующей остановкой алгоритма расчета; так, как это было определено на этапе 3 настоящего исследования.

В таблице 5 представлены результаты расчетов функции приспособленности родительской популяции (р) и популяций потомков (1п-8п).

Таблица 5 – Динамика изменения значений функции приспособленности по популяциям

Популяция, поколение	p	1п	2п	3п	4п	5п	6п	7п	8п
Функция приспособленности	50,19	60,60	60,45	68,74	70,28	71,02	74,54	67,53	78,93

Данные таблицы 5 показывают положительную динамику (рост) значений функций приспособленности по мере реализации итераций. Это свидетельствует о качественном улучшении целевой функции и, соответственно, конструкции создаваемого пожарного робота.

При планировании исследования предполагалось 10-кратное повторение генерации хромосом (структурных модулей) для последующего расчёта средних значений фенотипов систем по популяциям. Это позволило проследить динамику изменения фенотипов всех систем и оценить закономерности их эволюции (рисунок 2).

Приведенные на рисунке 2 данные показывают, что значения фенотипов механической системы пожарного робота (ряд 1) имеют тенденцию к снижению своих абсолютных значений (от 2,4...2,8 до 2,0). Это может свидетельствовать об уменьшении количества такого рода систем в устройстве пожарного робота по мере совершенствования его конструкции. Такая тенденция имеет свое технико-экономическое объяснение: механические системы, как наиболее затратные с энергетической точки зрения (значительная диссипация энергии), заменяются на более совершенные.

Особого осмысления требует характер изменения электромагнитной системы пожарного робота (ряд 2 на

рисунке 2), характеризующийся ростом значений от 14,9 (родительская популяция) до 21,9 (8-е поколение потомков). Столь заметная эволюция (в численном отношении на 54,6 %) на менее, чем 10 поколениях может свидетельствовать о высоких перспективах такого рода систем в создании инновационных конструкций пожарных роботов и их элементов. При этом, как нам представляется, речь может идти не только о каких-то конструктивных усовершенствованиях систем пожарного робота, а также о возможных принципиальных изменениях технологии роботизированного пожаротушения вообще.

Как следует из представленных на рисунке данных, роль оптических систем пожарного робота (ряд 3) по мере эволюции его конструкции будет снижаться. Исследованиями установлено снижение среднего значения фенотипа с 32,9 до 18,8. Очевидно, что в перспективных конструкциях пожарных роботов оптические системы будут постепенно заменяться другими, основанными на других физических эффектах и явлениях, возможно, электромагнитными. В известной степени логичной является тенденция изменения средних значений фенотипов для электронной системы пожарного робота (ряд 4). Под электронными системами следует понимать, в первую очередь, структурные эле-

менты, являющиеся частью других систем или отдельными структурными элементами пожарного робота. Такими системами могут являться,

например, микропроцессоры или бортовые компьютеры (для мобильных роботов).

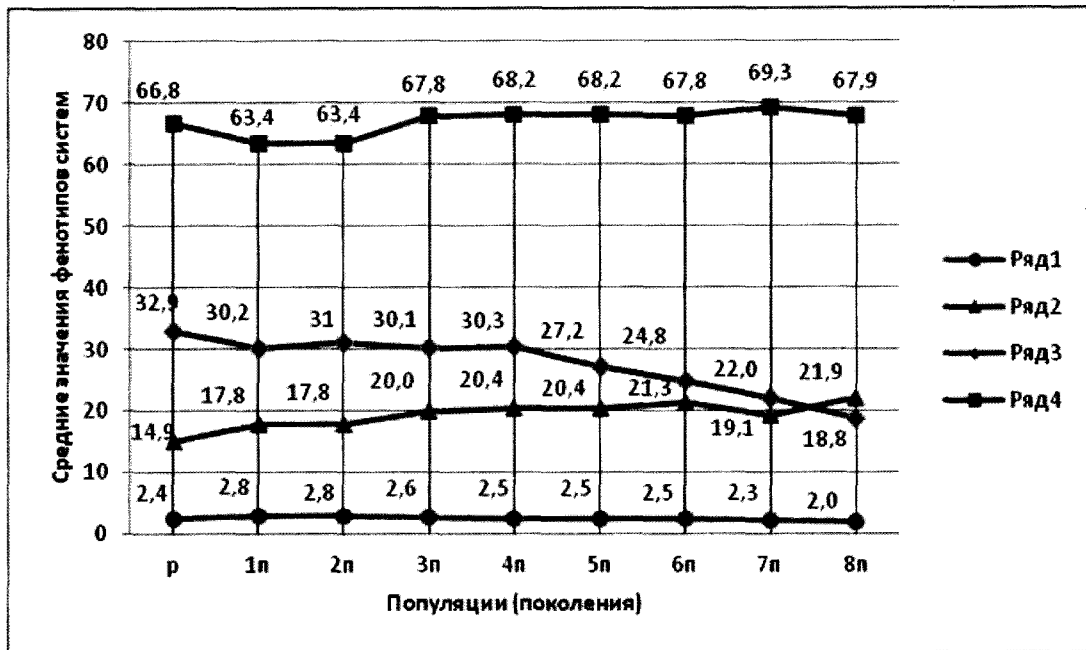


Рисунок 2 – Изменение средних значений фенотипов систем по популяциям (ряды 1-4 – соответственно механическая, электромагнитная, оптическая и электронная системы пожарного робота)

Использование ГА на каждом уровне иерархии технических систем может обеспечить последовательное конструктивное усовершенствование систем на уровне модулей, подсистем различного уровня, вплоть до отдельных элементов устройств.

С учетом изложенного выше считаем возможным предложить новый термин, характеризующий область знания, связанную с использованием генетических алгоритмов (более точно, эволюционного моделирования) для описания закономерностей развития и оптимизации конструкций самых разнообразных технических систем – «генотехника». С точки зрения методологии науки это оправдан-

но, так как «генотехника» по существу представляет собой так называемую стыковую область биологии с техникой, обещающую для обеих стыкующихся наук много новых идей и гипотез для их последующего развития.

Генотехника – наука о закономерностях наследственности и изменчивости технических систем, создаваемых человеком для целей производства и непроизводственных потребностей общества.

Необходимо отметить, что использование генетического алгоритма в нашем случае не предполагает какого-либо конкретного указания на то, каким образом изменить конст-

рукцию пожарного робота, а лишь направляет наше внимание к некоторому оптимальному сочетанию выбранных для изучения систем (подсистем, элементов) и тенденциям их развития.

Проведенные нами исследования [12-13] показали, что в качестве критерия на втором этапе оптимизации конструкции пожарного робота эффективно может быть использован «удельный информационный показатель», впервые предложенный и введенный в теорию и практику оценки инноваций академиком А.И. Свириденком [14].

Представляет интерес проверка предложенной методологии для решения других технических задач. При этом совершенно очевидно, что нужно обратить внимание на более корректный выбор вида функции приспособленности, проверки некоторых других условий остановки ГА, необходимость создания специализированного программного продукта для предложенных методических этапов решения задачи.

Заключение

По результатам проведенных исследований могут быть сделаны следующие выводы:

1. Показано, что использование генетических алгоритмов позволяет оценить степень совершенства и выявить тенденции развития физических систем пожарного робота.

2. Дано определение и осуществлена трактовка основных технических терминов пожарной робототехники – аналогов генетических алгоритмов.

3. На основе предложенной терминологии разработана методика матричного представления пожарного робота в параметрах двоичного кода.

4. Итерационный рост значений функции приспособленности свидетельствует о повышении инновационности конструкции пожарного робота и его систем.

5. Средние значения фенотипов систем генерируемых популяций позволяют оценить динамику их развития и сделать выводы о перспективах использования при создании более совершенных конструкций пожарных роботов.

6. Обосновывается попытка введения и приводится формулировка нового термина «генотехника».

ЛИТЕРАТУРА

1. *Holland, J.H.* Adaption in Natural and Artificial Systems, Ann. Arbor: University of Michigan Press, 1975. – 183 p.

2. *Курейчик, В.М.* Генетические алгоритмы и их применение / В.М. Курейчик. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2002. – 242 с.

3. *Рутковская, Д.* Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с. (с. 124. Глава 4. Генетические алгоритмы).

4. *Coley, D.A.* An Introduction to Genetic Algorithms for Scientists and Engineers. – World Scientific Publishing, 1999. – 227 p.

5. *Haupt, R.L.* Practical Genetic Algorithms / R. L. Haupt, S. E. Haupt. – Wiley Interscience, 2004. – 253 p.

6. *Kazem, B.I.* Motion Planning for a Robot Arm by Using Genetic Algorithm / B. I. Kazem, A. I. Mahdi, A. T. Oudah / Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering. Volume 2, Number 3, Sep. 2008/ - P. 131–136.

7. *Слюсар, В.* Синтез антенн на основе генетических алгоритмов / В. Слюсар. – Первая миля. – 2008, № 6. – С. 16–23.

8. *Потеха, В.Л.* Роботизированные системы пожаротушения в Республике Беларусь / В. Л. Потеха, А. В. Потеха, Г. Н. Здор // Пожежна безпека: теорія і практика: Збірник наукових праць. – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2013. – № 13. – С. 106–115.

9. Роботизированные системы пожаротушения. www.rffs.org (категория «Наука»).

10. *Потеха, А.В.* Пожарные работы. Основные термины и определения / А.В. Потеха, В.Л. Потеха // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2007, Т. 2, № 2. – С. 60–68.

11. *Ермасов, С.В.* Инновационный менеджмент / С.В. Ермасов,

Н.Б. Ермасова. – М.: Высшее образование, 2007. – 505 с.

12. *Здор, Г.Н.* Прогнозирование развития систем пожарной безопасности / Г.Н. Здор, А.В. Потеха, Ю.С. Иванов // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2013. – № 1 (33). – С. 5–14.

13. *Здор, Г.Н.* Методические особенности использования генетических алгоритмов для создания инновационных робототехнических систем / Г.Н. Здор, А.В. Потеха // Автоматизация и роботизация процессов и производств: материалы республиканского научно-практического семинара / редкол.: Ф.И. Пантелеенко (гл. ред.) [и др.], Минск: Бизнесофсет, 2014. – С. 24–26.

14. *Свириденко, А.И.* Роль научно-технических инноваций в эпоху глобализации / А.И. Свириденко, С.А. Маскевич // Наука и инновации в регионах Беларуси: Материалы республик. науч.-практ. конф. – Могилев: ИТМ НАН Беларуси, 2002. – С. 5–17.

