

Г.Н. Здор, А.В. Потеха

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПОЖАРНЫХ РОБОТОВ

Показано, что использование генетических алгоритмов позволяет оценить степень совершенства и выявить тенденции развития физических систем пожарного робота. Для решения данной задачи рассмотрено практическое применение генетических алгоритмов при последовательной реализации стадий исследования в соответствии с основными этапами генетических алгоритмов: инициализация, оценка приспособленности хромосом в популяции, проверка условия остановки алгоритма, селекция хромосом, применение генетических операторов. Итерационный рост значений функции приспособленности свидетельствует 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 и их систем. Отмечено, что использование генетических алгоритмов на каждом уровне иерархии технических систем может обеспечить последовательное конструктивное усовершенствование систем на уровне модулей, подсистем различного уровня, вплоть до отдельных элементов устройств. Обоснована попытка введения нового термина – «генотехника».

Ключевые слова: генетические алгоритмы, пожарные роботы, системы пожарного робота, совершенствование.

Введение. Генетические алгоритмы фактически сразу после своего создания привлекли внимание практически ориентированных исследователей и представителей прикладной науки [1–3].

В настоящее время генетические алгоритмы используются для оптимизации архитектуры системы автоматизированного управления (САУП), решения задач компоновки, размещения, трассировки и верификации элементов сверхбольших интегральных схем (СБИС) [4]. Применительно к техническим системам генетических алгоритмов используются для выбора оптимальной траектории движения мобильных робототехнических средств [5]. Известны исследования, посвященные применению генетических алгоритмов для синтеза новых конструкций электрических малых антенн для сферы телекоммуникаций. При этом в качестве критерия оптимизации используется геометрическая форма антенн и их элементов [6].

Насколько нам известно, какие-либо исследования, посвященные использованию генетических алгоритмов для совершенствования технических устройств и систем, не проводились. Вместе с тем теоретически такая возможность имеется. Об этом, в частности, отмечается в работе [7]. С нашей точки зрения, отсутствие работ по практическому использованию генетических алгоритмов для решения задач по конструкционному совершенствованию технических систем и их элементов связано с большой сложностью и масштабом 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.

Здор Геннадий Николаевич, д-р техн. наук, проф., зав. каф. робототехнических систем БНТУ (Минск).
Адрес для корреспонденции: пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь; e-mail: rts@bntu.by

Потеха Алексей Валентинович, ассистент каф. технической механики и материаловедения ГГАУ (Гродно).

Адрес для корреспонденции: ул. Терешковой, 28, 230008, г. Гродно, Беларусь; e-mail: potekha_av@mail.ru

Методика исследований. Методика исследований основывается на классической структуре генетических алгоритмов, представленной в работах [2; 3]. На всех этапах исследования для решения статистических задач по генерации случайных чисел применяли программу Random Number Generator v.1.1. При расчете 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. Рассмотрим практическое использование генетических алгоритмов для решения поставленной задачи при последовательной реализации этапов исследования в соответствии с этапами генетических алгоритмов.

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.

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 4 физическими системами.

Пример хромосомы и соответствующего ей фенотипа представлен в таблице 1.

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 $[k_{\min}, k_{\max}]$.

Таблица 1 – Генотипы и фенотипы исследуемых физических систем пожарного робота

Система	Механическая	Электромагнитная	Оптическая	Электронная
Генотип	0000111	0011111	0111111	1111111
Фенотип	7	31	63	127

Исходные хромосомы для четырех систем пожарного робота приведены в таблице 2.

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 инновационных изделий (этапах инновационного процесса) [8, с. 66;

9, с. 29, 242]. В соответствии с представленными в этих работах данными эволюция продукта может быть описана зависимостью, близкой к квадратичной. Используем в исследовании функцию приспособленности вида

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

В таблице 2 представлены хромосомы, соответствующие им значения фенотипов и рассчитанные значения функции приспособленности.

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

Среднее значение функции приспособленности для популяции хромосом, представленных в таблице, составляет 50,19.

Этап 3. Проверка условия останковки алгоритма. Определение условия останковки генетического алгоритма зависит от его конкретного применения. В оптимизационных задачах останковка алгоритма может произойти после достижения ожидаемого оптимального значения, возможно – с заданной точностью. Остановка алгоритма также может произойти в случае, когда его выполнение не приводит к улучшению уже достигнутого значения. Алгоритм также может быть остановлен по истечении определенного времени выполнения либо после выполнения заданного количества итераций. Если условие останковки выполнено, то производится переход к завершающему этапу выбора «наилучшей» хромосомы. В противном случае на следующем шаге выполняется селекция.

Задаем условие для решения задачи – завершить останковку 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, в соответствии с которым 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. Поэтому чем больше значение функции приспособленности, тем больше

сектор на колесе (круге) рулетки. Все колесо рулетки соответствует сумме значений функции приспособленности всех хромосом рассматриваемой особи.

Каждой хромосоме, обозначаемой ps_i для $i = 1, 2, \dots, N$ (где N обозначает численность особи) 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 .

Селекция хромосомы может быть представлена как результат поворота колеса рулетки, поскольку «выигравшая» (т.е. выбранная) хромосома относится к выпавшему сектору этого колеса. Очевидно, что чем больше сектор, тем больше вероятность «победы» соответствующей хромосомы. Поэтому вероятность выбора данной хромосомы оказывается пропорциональной значению ее функции приспособленности. Если всю окружность колеса рулетки представить в виде цифрового интервала $[0, 100]$, то выбор хромосомы можно отождествить с выбором числа из интервала $[a, b]$; причем $0 \leq a \leq b \leq 100$, где a и b обозначают соответственно начало и окончание фрагмента окружности, соответствующего этому сектору круга. В этом случае выбор с помощью колеса рулетки сводится к выбору числа из интервала $[0, 100]$, которое соответствует конкретной точке на окружности круга.

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 (таблица 3) определяли среднее количество «побед» хромосом (таблица 4). Как следует из представленных в таблице 4 данных, наибольшее количество побед хромосом практически всегда соответствует максимальным значениям функции приспособленности. Это свидетельствует о корректной работе генетического алгоритма при решении поставленной задачи.

Таблица 3 – Значения случайных чисел для генераций хромосом

Номер генерации	Значения случайных чисел									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 *	28	23	44	8	21	40	61	100	9	80
2	47	42	28	34	79	84	80	97	48	24
3	14	16	69	68	29	33	37	70	90	34
4	10	80	78	38	51	80	68	78	20	80
5	29	62	21	37	10	63	25	84	55	18
6	87	84	61	54	89	41	41	99	69	91
7	20	56	20	84	16	37	59	42	59	48
8	72	14	83	23	32	21	65	34	30	97
9	68	21	62	87	64	10	10	35	51	66
10	82	20	61	61	2	44	14	88	35	52

* – результаты использованы для формирования 1-й популяции потомков (1п).

Среднее значение функции приспособленности для всех хромосом составляет 50,19.

По результатам расчетов (1 генерация) при формировании следующей особи (1-я популяции потомков) используются: по две хромосомы № 1, 2 и 3; по одной хромосоме № 5, 6, 8 и 10.

Хромосомы с порядковыми номерами 4, 7 и 9 в формировании следующей популяции участия не принимают. Следует отметить, что полученные результаты (таблицы 3 и 4) демонстрируют не только, как уже отмечалось, корректную работу генетических алгоритмов, 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).

Таблица 4 – 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
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

Этап 5. Применение генетических операторов. Применение генетических операторов к отобранным в результате селекции хромосомам приводит к формированию новой популяции потомков от созданной на предыдущем шаге 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 4). 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 одноточечный кроссовер. Определение точки скрещивания осуществляется путем 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 точками скрещивания соответственно: 15, 1, 4, 25 и 9.

В таблице 5 представлены хромосомы новой популяции, сформированной по результатам кроссовера.

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 результате 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 6 представлены хромосомы (структурные модули пожарного робота) после реализации операторов скрещивания и мутации.

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).

Таблица 5 – Хромосомы новой популяции после кроссовера

Пары хромосом	Системы, хромосомы			
	1	2	3	4
1–2	0000101 0000010	0011000 0001101	0001010 0011011	1011101 0010001
1–3	0000101 0000000	0011000 0011010	0011110 0111011	0110101 0010001
2–8	0000100 0000010	0001001 0001101	0101000 0001010	0100101 1011101
3–6	0000000 0000000	0011010 0000111	0111110 0000111	0110101 1100101
5–10	0000010 0000000	0010110 0011010	0010011 0110110	1100011 1001010

Таблица 6 – Хромосомы новой популяции после кроссовера и мутации

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

Аналогичным образом продолжаем исследование: осуществляем 9 итераций (родительская популяция и 8 потомков) с последующей остановкой алгоритма расчета; так, как это было определено на этапе 3 настоящего исследования.

В таблице 7 представлены результаты расчетов функции приспособленности родительской популяции (p) и популяций потомков (1 p –8 p).

Таблица 7 – Динамика изменения значений функции приспособленности по популяциям

Популяция, поколение	р	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 7 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 расчета средних значений фенотипов систем по популяциям. Это позволило проследить динамику изменения фенотипов всех систем и оценить закономерности их эволюции (рисунок 1).

Приведенные на рисунке 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 (элементов) в конструкции 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 более совершенными (с точки зрения конструкции) и экономичными. Вместе с тем очевидно, что в ближайшее время не стоит ожидать абсолютно полного вытеснения механических систем и их замены на какие-либо другие, основанные на других физических эффектах и явлениях.

Особого осмысления требует характер изменения электромагнитной системы пожарного робота (рисунок 1, ряд 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 конструкционных усовершенствованиях систем пожарного робота, а также о возможных принципиальных изменениях технологии роботизированного пожаротушения вообще.

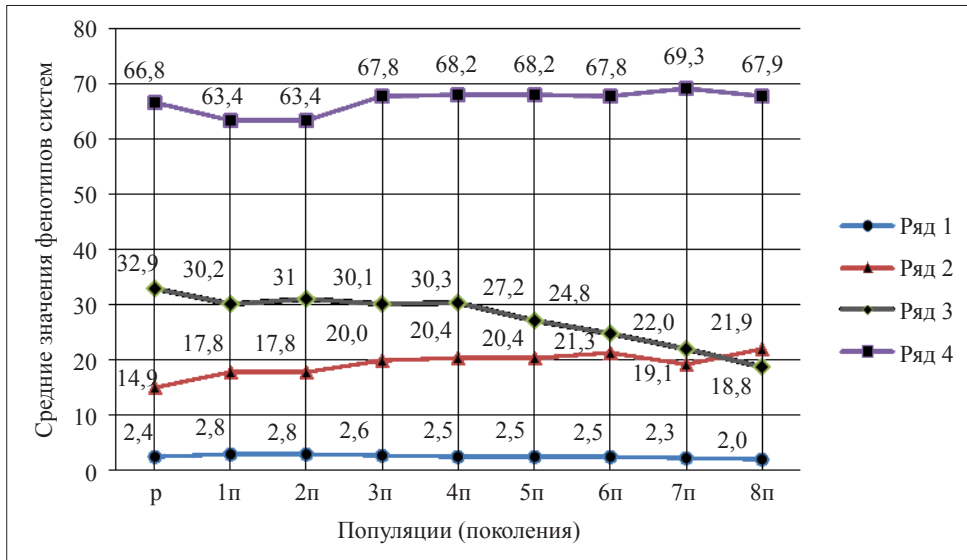


Рисунок 1 – Изменение средних значений фенотипов систем по популяциям (ряды 1–4 – соответственно механическая, электромагнитная, оптическая и электронная системы пожарного робота)

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, в перспективных конструкциях пожарных роботов оптические системы будут постепенно заменяться другими, основанными на других физических эффектах и явлениях, возможно, электромагнитными. Механизм такой замены пока не является в достаточной степени очевидным и требует своего дальнейшего осмысления.

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 элементы, являющиеся частью других систем или отдельными структурными элементами пожарного робота. Такими системами могут являться, например, микропроцессоры или бортовые компьютеры (для мобильных роботов). Компьютеризация является одним из наиболее перспективных направлений развития большого количества самых разнообразных технических систем.

На самом деле сфера приложений генетических алгоритмов представляется гораздо более широкой, чем та, которая представлена в данной работе. Использование генетических алгоритмов на каждом уровне иерархии технических систем может обеспечить последовательное конструкционное усовершенствование систем на уровне модулей, подсистем различного уровня, вплоть до отдельных элементов устройств. Такой подход может быть дополнен методически другими критериями, например, удельным информационным показателем, характеризующим степень инновационности разрабатываемых устройств [10–12].

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 оправданно, 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.

По сути своей биологические объекты являются гораздо более сложными с точки зрения их структуры и выполняемых функций. По этой причине эволюционное развитие и функциональная оптимизация технических систем могут иметь свои особенности и отличия. При этом можно ожидать, что использование генетических алгоритмов для структурно-функциональной оптимизации технических, а в принципе, и технологических систем может привести к ряду новых и достаточно неожиданных результатов.

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 генетических алгоритмов, необходимость создания специализированного программного продукта для предложенных методических этапов решения задачи.

Заключение. Таким образом, 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. Итерационный рост значений функции приспособленности свидетельствует о повышении инновационности конструкции пожарного робота и его систем.
3. Средние значения фенотипов систем генерируемых популяций позволяют оценить динамику их развития и сделать выводы о перспективах использования при создании более совершенных конструкций пожарных роботов.
4. Обоснована попытка введения нового термина – «генотехника».

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Coley, D.A.* An Introduction to Genetic Algorithms for Scientists and Engineers / D.A. Coley. – Singapore : World Scientific Publishing, 1999. – 227 p.
2. *Haupt, R.L.* Practical Genetic Algorithms / R.L. Haupt, S.E. Haupt. – New Jersey : Wiley Interscience, 2004. – 253 p.
3. *Рутковская, Д.* Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечёткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский [пер. с польск. И.Д. Рудинского]. – М. : Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.
4. *Курейчик, В.М.* Генетические алгоритмы и их применение / В.М. Курейчик. – Таганрог : Изд-во ТРТУ, 2002. – 244 с.
5. *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. – 2008. – Vol. 2, № 3. – P. 131–136.
6. *Слюсар, В.* Синтез антенн на основе генетических алгоритмов / В. Слюсар // Первая миля. – 2008. – № 6. – С. 16–23.
7. *Меншуткин, В.В.* Эссе об эволюции сложных систем / В.В. Меншуткин. – Петрозаводск : Нестор-История, 2012. – 136 с.
8. *Ермасов, С.В.* Инновационный менеджмент / С.В. Ермасов, Н.Б. Ермасова. – М. : Высшее образование, 2007. – 505 с.
9. Основы инновационного менеджмента. Теория и практика / Л.С. Барютин [и др.] ; под ред. А.К. Казанцева, Л.Э. Миндели. – М. : Экономика, 2004. – 518 с.
10. *Здор, Г.Н.* Прогнозирование развития систем пожарной безопасности / Г.Н. Здор, А.В. Потеха, Ю.С. Иванов // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2013. – № 1. – С. 5–14.
11. *Здор, Г.Н.* Эффективный подход к созданию новых конструкций роботизированных систем пожаротушения / Г.Н. Здор, А.В. Потеха // Актуальні проблеми технічних та природничих наук у забезпеченні діяльності служби цивільного захисту : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., Черкаси, 4–5 квітня 2013 р. : в 2 ч. / АПБ ім. Героїв Чорнобиля. – Черкаси, 2013. – Ч. 1. – С. 35–37.
12. Наука. Роботизированные системы пожаротушения [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.rffs.org/ru/nauka>. – Дата доступа : 25.03.2014.

Поступила в редакцию 03.05.14.

It is shown that the usage of genetic algorithms allows to evaluate the degree of perfection and to identify main development trends of physical systems of fire robot. To solve this problem we consider the practical application of genetic algorithms for the sequential stages of research in accordance with the basic genetic algorithms stages: initialization; chromosomes fitness evaluation in the population; the verification of the algorithm terminating criteria; chromosomes selection; application of genetic operators. Iterative growth of the fitness function values indicates an innovation increase of configuration of fire robot. The average values of phenotypes generated systems populations allow to assess the dynamics of its development and to draw conclusions about the prospects of its usage in creating more sophisticated configurations of fire robots and their systems. It is noted that the usage of genetic algorithms at each hierarchy level of technical systems can provide a sequence of systems structural improvement at the level of modules, subsystems at various levels, down to the device unit cells. An attempt to introduce a new term “genotechnics” is substantiated.

Keywords: genetic algorithms, fire robots, systems of fire robots, development.

