

Г.Н. Здор, А.В. Потеха

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ СИСТЕМ ПОЖАРНОГО СТАЦИОНАРНОГО РОБОТА

Приведены сведения о моделировании эволюции систем пожарного стационарного робота (ПСР). Основой методологии исследований являлись генетические алгоритмы и оригинальные авторские разработки. Ранжирование подсистем ПСР производили на основании исторических данных о развитии физической науки. В качестве функции приспособленности использовали S-образную функцию, хорошо описывающую все стадии жизненного цикла технической системы. Проведенные исследования позволяют утверждать, что в настоящее время прогресс в деле создания инновационных пожарных стационарных роботов определяется конструктивно-технологическими решениями в области систем управления и технического зрения. Реализация на практике новых систем управления будет основываться не только на использовании вычислительной техники, но и технологий искусственного интеллекта и искусственного разума. Совершенствование систем технического зрения в своей долгосрочной перспективе может привести к реализации на практике принципа предупреждения, а не ликвидации чрезвычайной ситуации – пожаров.

Ключевые слова: пожарный стационарный робот, генетические алгоритмы, эволюционное моделирование, направления совершенствования.

Введение. Пожарные стационарные роботы (далее – ПСР) все более широко используются для защиты высоко- и широкопролетных объектов и зачастую являются безальтернативным способом обеспечения их пожарной безопасности [1]. Проведенные исследования позволили разработать методические основы создания новых конструкций ПСР и эффективных методов их практического использования (размещения) на защищаемых объектах [1–3]. Дальнейший прогресс в деле создания инновационных конструкций ПСР во многом сдерживается отсутствием сведений о возможных перспективных направлениях их развития. Методологической основой для оценки направлений эволюции ПСР являются генетические алгоритмы (далее – ГА) [4; 5]. Эффективность практического использования ГА для прогнозирования направлений эволюции ПСР удалось существенно повысить путем разработки оригинальных исследовательских методик [7–10].

Целью настоящего исследования является эволюционное моделирование систем ПСР для оценки перспектив их развития.

Методология и методы исследования. Основные положения методики использования ГА представлены в публикациях [7–10]. Дополнительно можно отметить следующее. 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 (система), в свою очередь, представлялся состоящим из конкретных подсистем пожарного робота (набора элементов двоичного кода).

Организация исследования. Организация и последовательность этапов исследования осуществлялись в соответствии с этапами ГА, представленными в работах [6; 7; 9].

Результаты исследования и их обсуждение. Результаты исследований и их анализ будем производить в соответствии с этапами ГА.

Этап 1. Инициализация. Этап предназначен для формирования исходных хромосом и заключается в случайном выборе заданного количества хромосом (структурных модулей пожарного робота). При этом каждый структурный модуль представляется

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

двоичными последовательностями фиксированной длины, каждая из которых представляет физическую подсистему пожарного робота.

В качестве исследуемых объектов определяем следующие подсистемы пожарного робота: 1 – лафетный ствол; 2 – дисковый затвор с приводом; 3 – насадок лафетного ствола (с приводом); 4 – приводы вертикального и горизонтального наведения лафетного ствола; 5 – устройство управления; 6 – технического зрения (теле- и видеосистемы).

На основании исторических данных о развитии физической науки и их связи с создаваемыми конструкциями машин и механизмов зададим с использованием двоичного кода подсистемам значения (фенотипы), характеризующие степень их сложности (развитости или совершенства): лафетный ствол – от 0 до 3 (система 1); дисковый затвор с приводом – до 7 (2); насадок лафетного ствола с приводом – до 15 (3); приводы вертикального и горизонтального наведения лафетного ствола – до 31 (4); устройство управления – до 63 (5); система технического зрения – до 127 (6). Это позволяет определить длину хромосомы в 42 позиции, распределенные между 6 структурными модулями пожарного робота. При формировании структуры исследуемой системы для каждой подсистемы назначаем рабочие области. Например, для наименее развитой подсистемы (первой) рабочими являются два гена, располагаемых в крайних правых локусах, для второй подсистемы – три гена и т.д.

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.

Проведенные нами исследования [8] позволили установить существенное влияние вида функции приспособленности на получаемые в результате эволюционного моделирования результаты.

В настоящем исследовании в качестве функции приспособленности использовали S-образную функцию вида

$$K = L / (a + e^{be^{-\beta}}).$$

Коэффициенты L , a , b и β – статистически определяемые величины. Графический анализ уравнения показывает, что значения коэффициентов определяют вид отдельных участков S-образной кривой, описывающей эволюционные изменения показателей развития робототехнических систем.

При проведении исследования принимаем следующие значения коэффициентов: $L=100$, $a=0,1$, $b=10$ и $\beta=0,1$, обеспечивающие классическую форму S-образной кривой.

В таблице 1 представлены исходные (родительские) хромосомы, соответствующие им значения фенотипов и рассчитанные значения функции приспособленности.

Таблица 1 – Результаты расчета функции приспособленности для родительских хромосом

1 система	Ф1	2 система	Ф2	3 система	Ф3	4 система	Ф4	5 система	Ф5	6 система	Ф6	К
0000000	0	0000000	0	0001000	8	0011100	28	0001101	13	0111010	58	147,7
0000001	1	0000101	5	0000111	7	0000000	0	0110011	51	1000100	67	176,8
0000011	3	0000000	0	0001100	12	0010010	18	0110011	51	0010010	18	128,5
0000010	2	0000100	4	0000110	6	0010001	17	0110011	51	0001100	12	107,3
0000010	2	0000001	1	0000100	4	0011011	27	0011011	27	0101100	12	102,2
0000011	3	0000011	3	0000011	3	0010100	20	0000101	5	0000100	4	25,7
0000001	1	0000011	3	0000011	3	0001000	8	0100000	32	1001000	71	153,8
0000000	0	0000100	4	0001101	13	0000101	5	0001011	11	0001001	9	12,1
0000000	0	0000000	0	0000011	3	0000001	1	0111000	56	0001011	11	91,5
0000010	2	0000010	2	0000001	1	0011001	25	0001100	12	0011000	24	85,9
Средние значения	1,4		2,2		6,0		14,9		30,9		28,6	103,1

Примечания: К – значение функции приспособленности; Ф – фенотип системы.

Среднее значение функции приспособленности для хромосом, представленных в таблице 1, составляет 103,1.

Этап 3. Проверка условия остановки алгоритма. Задаем условие для решения задачи – завершить остановку работы алгоритма после того, когда в течение не менее трех итераций значения функции приспособленности будут изменяться на величину менее 3 %.

Этап 4. Селекция хромосом. На этапе селекции хромосом осуществляем выбор хромосом, которые будут участвовать в создании 1-го поколения потомков. Селекцию осуществляем методом рулетки [6; 9].

В результате процесса селекции создается родительская популяция с численностью N , равной численности текущей популяции, т.е. 10 хромосом.

По результатам расчетов (1 генерация) при формировании следующей особи (1-е поколение потомков) используются: по две хромосомы № 2, 3 и 6; по одной хромосоме № 1, 7, 9 и 10 (таблица 2).

Таблица 2 – Результаты расчета количества «побед» хромосом

Характеристика	Хромосомы									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Функция приспособленности	147,7	176,8	128,5	107,3	102,2	25,7	153,8	12,1	91,5	85,9
Площадь сектора на круге, %	14,3	17,2	12,5	10,4	9,9	2,5	14,9	1,2	8,8	8,3
Количество «побед» хромосом	1	2	2	0	0	2	1	0	1	1

Хромосомы с порядковыми номерами 4, 5 и 8 в формировании следующего поколения хромосом участия не принимают. Следует отметить, что полученные результаты (таблицы 1 и 2) 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, 7). В то же время при формировании 1-го поколения потомков будут принимать участие хромосомы с достаточно низкими значениями функции приспособленности (6).

Этап 5. Применение генетических операторов. Применение генетических операторов к отобраным в результате селекции хромосомам приводит к формированию 1-го поколения потомков от созданных на предыдущем шаге алгоритма родительских хромосом.

Оператор скрещивания. На первом этапе скрещивания случайным образом выбираются пары родительских хромосом, сформированных 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 одноточечный кроссинговер. Определение точки скрещивания осуществляется путем случайного выбора числа из интервала $[1, L - 1]$, где L – количество генов в хромосоме. Результаты генерации пар хромосом: 1–9; 2–6; 2–7; 3–6; 3–10 с точками скрещивания соответственно: 15, 12, 9, 14 и 29.

В таблице 3 представлены хромосомы 1-го поколения потомков, сформированные по результатам кроссинговера.

Таблица 3 – Хромосомы 1-го поколения потомков после кроссинговера

Пары хромосом	Системы, хромосомы					
	1	2	3	4	5	6
1-9	0000000 0000000	0000000 0000000	0000011 0001000	0000001 0011100	0111000 0001101	0001011 0111010
2-6	0000001 0000011	0000111 0000001	0000011 0000111	0010100 0000000	0000111 0110001	0000100 1000100
2-7	0000001 0000001	0000011 0000101	0000011 0000111	0001000 0000000	0100000 0110011	1001000 1000100
3-6	0000011 0000011	0000000 0000011	0000011 0001100	0010100 0010011	0000111 0110001	0000110 0010000
3-10	0000011 0000010	0000000 0000010	0001100 0000001	0010011 0011001	0001100 0110011	0011000 0010010

Оператор мутации. Осуществляем мутацию на популяции потомков, полученной в результате скрещивания. Принимаем, что в каждой хромосоме мутируют два гена. Это представляется оправданным, так как определенная часть генов в хромосомах (особенно в системах 1–4) находится вне поля действия мутации – в нерабочей области. Мутируемые гены (их позиция) определяются путем генерирования случайных чисел из интервала от 1 до 42 (1, L) для каждой хромосомы. Результаты генерации: 1 хромосома (позиции 18, 22); 2-7, 28; 3-11, 19; 4-13, 42; 5-15, 42; 6-14, 27; 7-17, 21; 8-2, 9; 9-27, 30; 10-11, 25.

В таблице 4 представлены хромосомы (структурные модули пожарного робота) после реализации операторов скрещивания и мутации. Если при выборе точек скрещивания и позиции мутации генов они выходят за установленные для участков хромосом рабочие области, то они не учитываются – не приводят к изменению хромосом.

Таблица 4 – Хромосомы нового поколения после кроссовера и мутации

Мутируемые гены	Системы, хромосомы					
	1	2	3	4	5	6
18, 22 7, 28	0000000 0000001	0000000 0000000	0001011 0001000	0000001 0011101	0111000 0001101	0001011 0111010
11, 19 13, 42	0000001 0000011	0000111 0000011	0000111 0000111	0010100 0000000	0000111 0110001	0000100 1000101
15, 42 14, 27	0000001 0000001	0000011 0000100	0000011 0000111	0001000 0000010	0100000 0110011	1001001 1000100
17, 21 2, 9	0000011 0000011	0000000 0000011	0000010 0001100	0010100 0010011	0000111 0110001	0000110 0010000
27, 30 11, 25	0000011 0000010	0000000 0000010	0001100 0000001	0010001 0010001	0001100 0110011	0011000 0010010

Для 1-го поколения потомков (таблица 5) среднее значение функции приспособленности для популяции из 10 хромосом составляет 109,5.

Таким образом, значение функции приспособленности для 1-го поколения потомков по сравнению со значением, полученным для исходных родительских хромосом, возросло на 6,2 %. Это свидетельствует о повышении инновационности хромосом – структурных модулей ПСР.

Аналогичным образом продолжаем исследование – производим итерации с последующей остановкой алгоритма расчета так, как это было определено на этапе 3 настоящего исследования.

В таблице 6 представлены результаты расчетов функции приспособленности для родительских хромосом (р) и поколений потомков (1п – 6п). Как следует из представленных данных, к шестому поколению потомков заданные условия остановки алгоритма выполнены полностью. От родительских особей до шестого поколения потомков инновационность конструкции стационарного пожарного робота повысилась на 87,3 %.

Таблица 5 – Результаты расчета функции приспособленности для 1-го поколения потомков

1 система	Ф1	2 система	Ф2	3 система	Ф3	4 система	Ф4	5 система	Ф5	6 система	Ф6	К
0000000	0	0000000	0	0001011	11	0000001	1	0111000	56	0001011	11	95,1
0000001	1	0000000	0	0001000	8	0011101	29	0001101	13	0111010	58	150,6
0000001	1	0000111	7	0000111	7	0010100	20	0000111	7	0000100	4	27,4
0000011	3	0000011	3	0000111	7	0000000	0	0110001	49	1000101	64	175,3
0000001	1	0000011	3	0000011	3	0001000	8	0100000	32	1001001	72	154,0
0000001	1	0000100	4	0000111	7	0000010	2	0110011	51	1000100	67	176,8
0000011	3	0000000	0	0000010	2	0010100	20	0000111	7	0000110	6	26,4
0000011	3	0000011	3	0001100	12	0010011	19	0110001	49	0010000	16	125,0
0000011	3	0000000	0	0001100	12	0010001	17	0001100	12	0011000	24	43,7
0000010	2	0000010	2	0000001	1	0010001	17	0110011	51	0010010	18	120,7
Средние значения	1,8		2,2		7,0		13,3		32,7		34,0	109,5

Таблица 6 – Динамика изменения значений функции приспособленности по поколениям

Популяция, поколение	р	1п	2п	3п	4п	5п	6п
Функция приспособленности	103,1	109,5	175,6	186,2	188,7	188,9	193,1
Прирост в % к предыдущему поколению (+)	–	6,2	60,4	6,0	1,3	0,1	2,2

При планировании исследования предполагалось десятикратное повторение генерации хромосом (структурных модулей) для последующего расчета средних значений фенотипов систем. Это позволило проследить динамику изменения фенотипов всех систем и оценить закономерности их эволюции (рисунок 1).

Результаты расчетов показывают, что наименее сложные в техническом отношении системы (1–4) на протяжении проведенных итераций незначительно изменяют свои значения. Отмечаемые изменения (колебания) могут быть объяснены статистической природой используемого метода и цикличностью развития науки и производства. Последнее достаточно обстоятельно представлено в трудах Н.Д. Кондратьева [11].

Разработанная методология исследований [7; 9] позволяет численно оценить степень эволюции не только всего ПСР, но и его подсистем на основе абсолютных значений их фенотипов. При этом степень эволюции может быть рассчитана как для всего проведенного исследования (от родительских хромосом до шестого поколения потомков), так и для отдельных поколений потомков, например между третьим и четвертым.

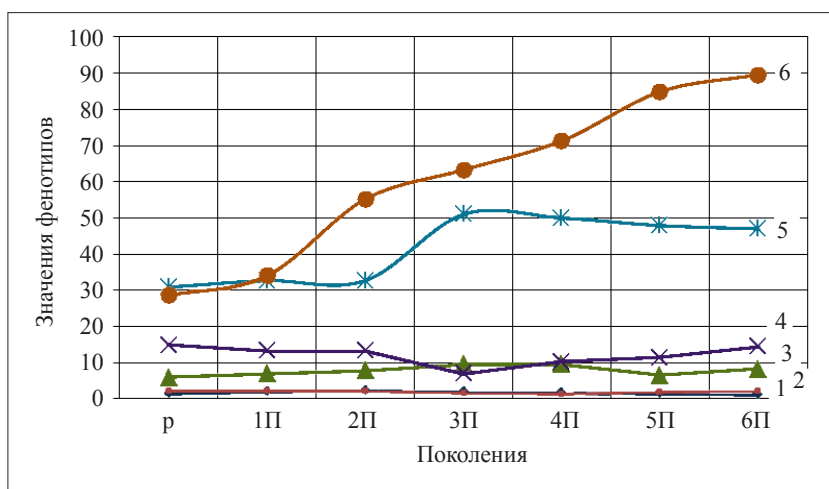


Рисунок 1 – Динамика изменения значений фенотипов систем по поколениям

Заключение. По проведенному исследованию можно сделать следующие основные выводы:

1. Использование в качестве функции приспособленности S -образной функции, хорошо описывающей все стадии жизненного цикла технической системы, представляется перспективным для эволюционного моделирования роботизированных систем пожаротушения.

2. Инновационное развитие пожарных стационарных роботов во многом определяется наиболее совершенными в техническом отношении системами.

Можно с большой долей уверенности говорить, что прогресс в деле создания инновационных пожарных стационарных роботов определяется конструктивно-технологическими решениями в области систем управления и технического зрения. Реализация на практике новых систем управления будет основываться не только на использовании вычислительной техники, но и технологий искусственного интеллекта и искусственного разума.

Совершенствование систем технического зрения в своей долгосрочной перспективе может привести к реализации на практике принципа предупреждения, а не ликвидации чрезвычайной ситуации – пожаров. Нам представляется, что стратегическое развитие пожарных роботов будет происходить на базе глубокой интеграции систем управления и обнаружения объектов возгорания.

На самом деле сфера приложений ГА (эволюционного моделирования) представляется гораздо более широкой, чем та, которая изложена в данной работе. 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. Такой подход может быть дополнен методически другими критериями, например удельным информационным показателем, характеризующим степень инновационности разрабатываемых устройств [12].

По сути своей биологические объекты являются гораздо более сложными, чем технические 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 позитивных результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Потеха, А.В. Повышение эффективности роботизированных пожарных комплексов путем использования вихревых технологий / А.В. Потеха // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2008. – № 1 (23). – С. 87–95.
3. Потеха, А.В. 3D-моделирование процесса расстановки пожарных роботов в цехах по ремонту и обслуживанию автомобилей / А.В. Потеха [и др.] // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2011. – № 2 (6). – С. 21–27.
4. Coley, D.A. An Introduction to Genetic Algorithms for Scientists and Engineers / D.A. Coley. – Singapore : 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. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский ; пер. с польск. И.Д. Рудинского. – М. : Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.
7. Потеха, А.В. Методические особенности использования генетических алгоритмов для прогнозирования развития пожарных роботов / А.В. Потеха, Г.Н. Здор // Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. Серыя 6. Тэхніка. – 2014. – № 2 (175). – С. 50–56.
8. Здор, Г.Н. Использование генетических алгоритмов для определения перспективных направлений совершенствования пожарных роботов / Г.Н. Здор А.В. Потеха // Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. Серыя 6. Тэхніка. – 2014. – № 2 (175). – С. 41–49.
9. Потеха, А.В. Методология генотехники // Роботизированные системы пожаротушения : сб. материалов докладов I Междунар. науч.-практ. конф. / редкол.: В.Л. Потеха [и др.]. – Гродно : ГГАУ, 2014. – С. 55–66.
10. Потеха, А.В. О выборе вида функции приспособленности при эволюционном моделировании технических систем / А.В. Потеха // Роботизированные системы пожаротушения : сб. материалов докладов I Междунар. науч.-практ. конф. / редкол.: В.Л. Потеха [и др.]. – Гродно : ГГАУ, 2014. – С. 112–117.
11. Кондратьев, Н.Д. Проблемы экономической динамики / Н.Д. Кондратьев. – М. : Экономика, 1989. – 526 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. – Вып. 1 (33). – С. 5–14.

Поступила в редакцию 25.05.15.

Information on the evolution simulation of systems of stationary fire robot (SFR) is presented. Genetic algorithms and original authoring were the basis of research methodology. Ranking of SFR subsystems is based on historical data of physical science development. S-shaped function that well describes all the life cycle stages of a technical system is used as a fitness function. The investigations allow telling that modern progress in the field of innovative stationary fire robots origination is determined by constructional and technological solutions at the level of machine vision and control systems. Practical implementation of new control systems will be based not only on the use of computer technology, but also on the technology of artificial intelligence. Vision systems developments in their long-term perspective can lead to the realization of the prevention principle rather than emergency response (regarding fires).

Keywords: stationary fire robot, genetic algorithms, evolutionary modeling, improvement areas.



Уважаемые авторы!

*Более подробно требования к оформлению материалов, а также условия для
принятия материалов см. на сайте журнала*

<http://vesnik.grsu.by>