

А.В. Потеха, Г.Н. Здор

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ПОЖАРНЫХ РОБОТОВ

Рассмотрены методические особенности использования генетических алгоритмов для прогнозирования развития пожарных роботов. Показано, что генетические алгоритмы, как одна из технологий искусственного интеллекта, представляют собой перспективную методологию для решения задач конструктивно-технологического совершенствования самых разнообразных технических объектов, в том числе и пожарных роботов. Приведена блок-схема структуры генетического алгоритма, позволяющая представить последовательность действий работы метода генетических алгоритмов. 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. Высказана гипотеза о том, что использование генетических алгоритмов и критерия «удельный информационный показатель» создает хорошие предпосылки для разработки основ теории создания практически любых инновационных технических и технологических систем.

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

**Введение.** Генетические алгоритмы возникли в результате наблюдения и попыток копирования естественных процессов, происходящих в мире живых организмов, в частности эволюции и связанной с ней селекции (естественного отбора) популяций живых существ. Идею генетических алгоритмов высказал Дж. Холланд в конце 60 – начале 70-х гг. XX в. [1]. Дж. Холланд заинтересовался свойствами процессов естественной эволюции и был уверен в возможности составить и реализовать в виде компьютерной программы алгоритм, который будет решать сложные задачи так, как это делает природа – путем эволюции. Идеи, высказанные Дж. Холландом, послужили мощным стимулом для развития эволюционной теории, а также теории и практики генетических алгоритмов [2–4].

В настоящее время генетические алгоритмы используются для решения задач, связанных с выбором оптимального пути, поиска [5], распределения соединений по слоям при глобальной трассировке многослойных сверхбольших интегральных схем (СБИС) [6] и оптимизации траектории движения мобильного робота [7]. Одной из известных нам публикаций, в которой предпринята попытка использовать генетические алгоритмы для синтеза конструкций электрически малых антенн, является работа В. Слюсаря [8]. К сожалению, в публикации рассматривается вопрос создания новых конструкций антенн преимущественно с геометрической точки зрения и не затрагивается структура и функции основных систем и элементов устройства.

Необходимо отметить, что существуют методологические и философские основания использования генетических алгоритмов для совершенствования различного рода технических систем. Например, известный философ А.И. Клизовский в своем труде «Основы миропонимания Новой Эпохи» (1934–1938) отмечал: «Всё сущее во Вселенной подчинено одним и тем же вечным, неизменным законам эволюции». В.В. Меншуткин [9, с. 18], пожалуй, был одним из первых исследователей, отметивших, что «при отличии механизмов эволюционного процесса у технических и биологических систем,

---

*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

*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

во внешнем проявлении эволюционного процесса имеются сходные черты и аналогии».

Насколько нам известно, сегодня отсутствуют исследования, в которых генетические алгоритмы использовались для конкретного определения перспективных направлений создания инновационных робототехнических систем, более конкретно – пожарных роботов. Наиболее вероятной причиной этого является методологическая сложность задачи, подлежащей решению. Вместе с тем актуальность постановки такого рода задач не вызывает сомнения, так как роботизированные системы пожаротушения получают всё более широкое распространение для противопожарной защиты объектов самого разнообразного назначения, в том числе и в Республике Беларусь [10; 11].

**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, генетические алгоритмы способны «развивать» решения реальных задач, если те соответствующим образом закодированы. Генетические алгоритмы по существу являются процедурами поиска, основанными на механизмах естественного отбора и наследования. Они 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.

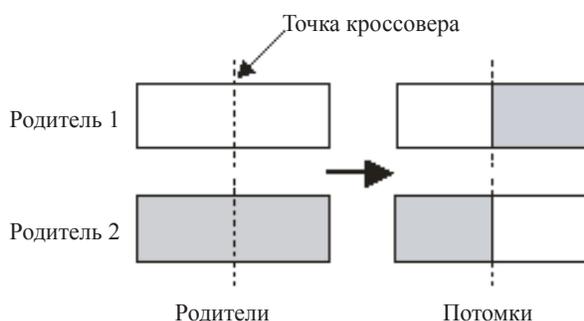
В природе особи в популяции конкурируют друг с другом за различные ресурсы, такие, например, как пища или вода. Те особи, которые наиболее приспособлены к окружающим условиям, будут иметь относительно больше шансов воспроизвести потомков. Слабо приспособленные особи либо совсем не произведут потомства, либо их потомство будет очень немногочисленным. Это означает, что гены от высоко адаптированных или приспособленных особей будут распространяться в увеличивающемся количестве потомков на каждом последующем поколении. Комбинация хороших характеристик от различных родителей иногда может приводить к появлению «суперприспособленного» потомка, чья приспособленность больше, чем любого из его родителей.

Генетические алгоритмы используют прямую аналогию с таким механизмом. Они работают с совокупностью особей – популяцией, каждая из которых представляет возможное решение данной проблемы. Каждая особь оценивается мерой ее «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 «перекрестного скрещивания» с другими особями популяции. Это приводит к появлению новых особей, которые сочетают в себе некоторые характеристики, наследуемые 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

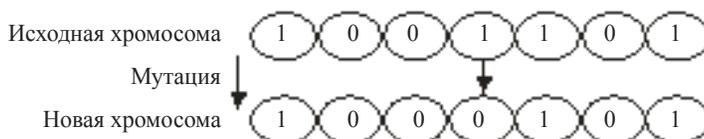
популяции. Скрещивание наиболее приспособленных особей приводит к тому, что исследуются наиболее перспективные участки пространства поиска. В конечном итоге популяция будет сходиться к оптимальному решению задачи [4].

В каждой клетке любого биологического вида содержится вся информация данной особи. Эта информация записана в виде набора молекул ДНК, каждая из которых представляет собой цепочку, состоящую из молекул нуклеотидов четырех типов, обозначаемых А, Т, С и G. Собственно информацию несет порядок следования нуклеотидов в ДНК. Таким образом, генетический код особи – это длинная строка, в которой используются всего 4 символа. В животной клетке каждая молекула ДНК окружена оболочкой; такое образование называется хромосомой. Каждое врожденное качество особи (наследственные болезни, тип волос, строение тела и др.) кодируется определенной частью хромосомы, которая называется геном этого свойства. При размножении особей происходит слияние двух родительских половых клеток, и их ДНК взаимодействуют, образуя ДНК потомка. Основной способ взаимодействия – кроссовер, или скрещивание. При кроссовере ДНК предков делятся на части, а затем обмениваются своими частями (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Пример одноточечного кроссовера**

При наследовании возможны мутации, в результате которых случайным образом могут изменяться некоторые гены в половых клетках одного из родителей. Измененные 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 (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Схематическое изображение мутации**

В самом общем виде этапы генетического алгоритма 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 (рисунок 3).

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

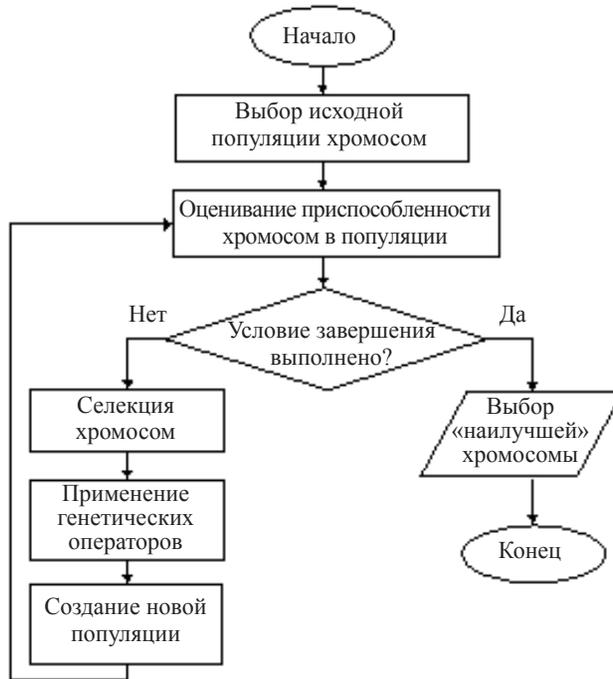


Рисунок 3 – Блок-схема структуры генетического алгоритма

В генетическом алгоритме сохраняется биологическая терминология в упрощенном 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 генетических алгоритмах применяется ряд терминов, заимствованных из генетики, прежде всего – «гены» и «хромосомы», а также «популяция», «особь», «аллель», «генотип», «фенотип», «функция приспособленности», «кроссовер», «мутация». Отметим некоторые из них, необходимые для выполнения данного исследования.

*Популяция* – это конечное множество особей.

*Особь* (индивидуум) – генетический код – набор хромосом, представляющий собой вариант решения задачи.

Особи, входящие в популяцию, в генетических алгоритмах представляются хромосомами с закодированными в них множествами параметров задачи, т.е. решений, которые иначе называются точками в пространстве поиска. В некоторых работах особи называются организмами.

*Хромосома* – вектор (последовательность) из нулей или единиц, каждая позиция (бит) которого называется геном. Иногда хромосомы называют цепочками или кодовыми последовательностями – упорядоченными последовательностями генов.

*Ген* – это атомарный элемент генотипа, в частности хромосомы, иногда называемый также свойством, знаком или детектором.

*Генотип (или структура)* – это набор хромосом данной особи. Особями популяции могут быть генотипы либо единичные хромосомы (в довольно распространенном случае, когда генотип состоит из одной хромосомы).

*Фенотип* – это набор значений, соответствующих данному генотипу, т.е. декодированная структура или множество параметров задачи (решение, точка пространства).

*Аллель* – это значение конкретного гена, также определяемое как значение свойства или вариант свойства.

*Локус (или позиция)* указывает место размещения данного гена в хромосоме (цепочке). Множество позиций генов – это локи.

*Кроссовер* – операция, при которой две хромосомы обмениваются своими частями.

*Мутация* – случайное изменение одной или нескольких позиций генов в хромосоме.

*Поклоение* – это очередная популяция в генетическом алгоритме. К вновь создаваемой популяции особей применяется термин «новое поколение», или «поколение потомков».

**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 техническим аналогами. Первая попытка определения терминологических соответствий между генетическими алгоритмами и их техническими аналогами была представлена нами в работе [12].

С учетом ранее проведенных исследований в области роботизированных систем пожаротушения определим возможные технические аналоги основных понятий генетических алгоритмов (таблица 1).

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	Инновационная конструкция пожарного робота
Функция приспособленности	Аналогично

Предлагается под популяцией понимать группу пожарных роботов, выполняющих одну боевую задачу, например ликвидацию возгораний на каком-либо сложном конкретном объекте. При этом сложность может обуславливаться различными обстоятельствами: наличием большой территории, конструкцией самого объекта или технологическими особенностями использования пожарного робота, спецификой самой чрезвычайной ситуации и др. Например, возможно применение пожарного робота для непосредственной ликвидации возгораний или орошения конструкций объекта для сохранения их прочности в условиях высоких температур.

Особь (пожарный робот) может быть изображена матрицей, каждая строка которой представляет собой некоторую хромосому (рисунок 4). В качестве такой хромосомы может выступать, например, структурный модуль мониторинга пожарного робота, в свою очередь, состоящий из систем внешнего и внутреннего контроля [13].

При этом отдельные части хромосомы могут выступать в виде своих некоторых технических аналогов – систем, параметров или элементов робототехнических устройств. Это, в свою очередь, позволяет посредством запуска механизмов кроссовера и мутации реализовывать эволюционную стратегию совершенствования систем и их элементов. Отслеживание динамики изменения состояний совершенствуемых технических систем позволяет определить тенденции их эволюции – перспективные

направления развития. Необходимо отметить, что использование понятия «система» в данном случае может трактоваться достаточно широко. Всё зависит от уровня структурной иерархии, на котором рассматривается та или иная система [13].

q	r	s	t	← Параметры, элементы
110	000	010	001	← Хромосомы
000	110	001	101	
111	000	100	111	
001	011	111	000	

Рисунок 4 – Представление пожарного робота в параметрах двоичного кода

Последовательная группа генов (часть хромосомы) может представлять отдельно взятую систему пожарного робота. Уникальные возможности генетического алгоритма позволяют путем 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 определенной позицией (локусом).

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

Генетические алгоритмы можно использовать для решения самых разнообразных и сложных задач, например: соотношения функциональных систем пожарного робота; структурно и функционально обусловленного размещения (компоновки) систем, подсистем и элементов устройства, направлений совершенствования элементов структуры пожарного робота и др.

Необходимо отметить, что использование генетического алгоритма в нашем случае не предполагает какого-либо конкретного указания на то, каким образом изменить конструкцию пожарного робота, а лишь направляет наше внимание к некоторому оптимальному сочетанию выбранных для изучения систем (подсистем, элементов) и тенденциям их развития. Условно можно считать, что это некоторый макроэтап создания инновационной конструкции. Вполне логично, что далее должна следовать стадия (этап) конструкционного улучшения устройства пожарного робота с помощью других методов и технологий. Этот второй этап можно считать работой на микроуровне конструкционной оптимизации подсистем и элементов пожарного робота. Проведенные нами исследования [14] 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 [15]. Последовательное использование этапов создает хорошие предпосылки для разработки основ теории создания не только инновационных конструкций пожарных роботов, но и практически любых технико-технологических систем.

**Заключение.** Таким образом, по результатам проведенных исследований могут быть сделаны следующие выводы:

1. Генетические алгоритмы, как одна из технологий искусственного интеллекта, представляют собой перспективную методологию для решения задач конструктивно-технологического совершенствования самых разнообразных технических объектов, в том числе и пожарных роботов.

2. Даны определения 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. Высказана гипотеза о том, что использование генетических алгоритмов и критерия «удельный информационный показатель» создает хорошие предпосылки для разработки основ теории создания практически любых инновационных технических и технологических систем.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Holland, J.H.* Adaptation in Natural and Artificial Systems / J.H. Holland. – Ann. Arbor : University of Michigan Press, 1975. – 183 p.
2. *Северцов, А.С.* Теория эволюции / А.С. Северцов. – М. : ВЛАДОС, 2005. – 380 с.
3. *Курейчик, В.М.* Генетические алгоритмы и их применение / В.М. Курейчик. – Таганрог : Изд-во ТРТУ, 2002. – 242 с.
4. *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.
5. *Гладков, Л.А.* Генетические алгоритмы / Л.А. Гладков, В.В. Курейчик, В.М. Курейчик ; под ред. В.М. Курейчика. – 2-е изд. – М. : Физматлит, 2006. – 320 с.
6. *Лебедев, Б.К.* Генетический алгоритм распределения соединений по слоям при многослойной глобальной трассировке СБИС / Б.К. Лебедев, Е.И. Воронин // Информатика, вычислительная техника и инженерное образование. – 2012. – № 7. – С. 14–22.
7. *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.
8. *Слюсар, В.* Синтез антенн на основе генетических алгоритмов // Первая миля. – 2008. – № 6. – С. 16–23.
9. *Меншуткин, В.В.* Эссе об эволюции сложных систем / В.В. Меншуткин. – Петрозаводск : Нестор-История, 2012. – 136 с.
10. Наука. Роботизированные системы пожаротушения [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.rffs.org/ru/nauka>. – Дата доступа : 25.03.2014.
11. *Потеха, В.Л.* Роботизированные системы пожаротушения в Республике Беларусь / В.Л. Потеха, Г.Н. Здор, А.В. Потеха // Пожежна безпека: теорія і практика : зб. наук. праць / АПБ ім. Героїв Чорнобиля. – Черкаси, 2013. – С. 106–115.
12. *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.
13. *Потеха, А.В.* Пожарные роботы. Основные термины и определения / А.В. Потеха, В.Л. Потеха // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2007. – Т. 2, № 2. – С. 60–68.
14. *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.
15. *Свиридёнко, А.И.* Роль научно-технических инноваций в эпоху глобализации / А.И. Свиридёнко, С.А. Маскевич // Наука и инновации в регионах Беларуси : материалы Республ. науч.-практ. конф., Могилёв, 16–17 мая 2002 г. / ИТМ НАН Беларуси ; сост. В.С. Драгун, В.К. Пивоваров, О.О. Станюленис. – Могилёв, 2002. – С. 5–17.

Поступила в редакцию 03.05.14.

The methodical aspects of the usage of genetic algorithms for predicting the development of fire robots are considered. It is shown that genetic algorithms, as a branch of artificial intelligence technologies, represent an advanced methodology for solving problems of structural and technological development of a wide variety of technical objects, including fire robots. A block diagram of the genetic algorithm structure, which allows representing a sequence of actions used by the method of genetic algorithms, is shown. The main technical terms of fire robotics – analogues of basic terms of genetic algorithms – are defined. Method of fire robot matrix representation in parameters of binary code is developed on the basis of the proposed terminology. The usage of genetic algorithms and criteria “specific information measure” that creates good background for the basic theory development of virtually any innovative technical and technological systems implementation is hypothesized.

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