

возможное соударение в 2068 г. На сайте НАСА 8 мая 2013 г. было указано девять возможных соударений Апофиса с Землёй в текущем столетии, на самом деле их гораздо больше. Работа продолжается.

В настоящее время человечество созрело для обеспечения астероидно-кометной безопасности Земли. На очереди целенаправленные усилия для реализации множества мероприятий. Даже если соударения с крупным астероидом в ближайшее время не будет, эти усилия будут способствовать прогрессу человечества.

### **Литература**

1. Каталог потенциально опасных астероидов и комет / Т.А. Виноградова [и др.] // Тр. ИПА РАН. 2003. Вып. 9. С. 7–218.
2. О существовании роя частиц в окрестности орбиты Фобоса / А.В. Кривов [и др.] // Астроном. вестн. 1991. Т. 25. № 3. С. 317–326.
3. Свойства траекторий соударения астероидов с землей / Л.Л. Соколов [и др.] // Астроном. вестн. 2013. Т. 47. № 4.
4. Астероидно-кометная опасность / под ред. А.Г. Сокольского. СПб: Из-во ИПА РАН, 1996. 244 с.
5. Эфемериды малых планет на 2013 г. / под ред. В.А. Шора. СПб: Из-во ИПА РАН, 2012.
6. Шустов Б.М. Астероидно-кометная опасность: о роли физических наук в решении проблемы // Успехи физических наук. 2011. Т. 181. № 10. С. 8–12.
7. Угроза с неба: рок или случайность? / под ред. А.А. Боярчука М.: Космоинформ, 1999. 218 с.
8. Соколов Л.Л., Башаков А.А., Питьев Н.П. Особенности движения астероида 99942 Apophis // Астроном. вестн. 2008. Т. 42. № 1. С. 20–29.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СПЕЦИАЛЬНОМ ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ЕДИНОЙ ДЕЖУРНО-ДИСПЕТЧЕРСКОЙ СЛУЖБЫ НА БАЗЕ МОДЕЛЕЙ СИТУАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ**

**А.П. Корольков, кандидат технических наук, профессор;**

**В.В. Попов;**

**А.А. Козлов.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассмотрена возможность построения адаптивных систем поддержки принятия решений в случае отсутствия априорной информации о характере чрезвычайных ситуаций и известного сценария его ликвидации. Для решения данной задачи в рамках методов ситуационного управления предлагается рассмотреть механизм генетических алгоритмов, позволяющих эвристическим путём находить приемлемое решение.

*Ключевые слова:* ситуационное управление, сценарный подход, генетический алгоритм, ликвидация чрезвычайных ситуаций, система поддержки принятия решений

# USING GENETIC ALGORITHMS FOR BUILDING ADAPTIVE SUPPORT DECISION-MAKING IN ON THE BASIS OF MODELS SITUATIONAL MANAGEMENT

A.P. Korolkov; V.V. Popov; A.A. Kozlov.  
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

This article discusses the possibility of building of adaptive decision support systems in case of absence of a priori information about the nature of emergency situations and its well-known scenario of liquidation. To solve this problem within the framework of situational management methods of are invited to consider the mechanism of genetic algorithms which enable heuristic way find an acceptable solution.

*Keywords:* situational management, a scenario approach, the genetic algorithm, the elimination of emergency situations, the decision support system

Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций (ЧС) являются актуальными задачами органов исполнительной власти и ведомственных служб на местах и требуют, как правило, согласованных совместных действий.

На дежурную смену единой дежурно-диспетчерской службы (ЕДДС) возлагается оперативное управление силами и средствами постоянной готовности, постановка и доведение до них задач локализации и ликвидации последствий пожаров, аварий, стихийных бедствий и других ЧС, принятие необходимых экстренных решений и мер.

Одним из путей повышения эффективности диспетчерского управления является создание компьютеризированных систем, позволяющих осуществлять не только обработку поступающей к диспетчеру информации, но и интеллектуализировать процесс выдачи рекомендаций по принятию управленческих решений в реальных условиях сложившейся обстановки, то есть создание интеллектуализированных информационных систем поддержки принятия решений (ИСППР).

Необходимость интеллектуализации данного процесса обусловлена тем, что в настоящий момент данная задача решается административным путём, когда на основании опыта и знаний экспертов в этой области создаются правила и предписания (на уровне инструкций, приказов, законов и т.п.) к действиям при возникновении того или иного события. Таким образом, лицо, принимающее решение, имеет возможность, не имея достаточных знаний и опыта в рассматриваемой предметной области, пользоваться опытом «экспертов» при решении конкретных задач «управления».

В случае наступления «нового» события, по которому отсутствуют знания и опыт, данная задача решается методом «проб и ошибок», что приводит к увеличению времени ликвидации ЧС и увеличению затраченных и потерянных ресурсов, что является одной из значительных проблем в этой области.

Основные трудности в создании систем принятия решений при ликвидации последствий ЧС состоят в неформализуемости моделей ЧС и процессов их сопровождающих, необходимостью учёта большого количества информации и наличием в ней латентных показателей, оказывающих влияние на ЧС, а также с высокой степенью неопределённости, обусловленной недостаточным уровнем информации для принятия обоснованных решений. Поэтому использование традиционных подходов для решения задач подобного типа, заключающихся в моделировании всех аспектов, характеризующих работу объекта, и способов управления им в ряде случаев не возможно.

Для решения задач управления при ЧС, когда задача не формализуется, имеет смысл рассмотреть два подхода:

– первый заключается в том, что неформализуемую модель заменяют формализованной, но естественно «приближённой» («загрублённой»), а затем используются известные методы как непрерывного, так и дискретного управления;

– второй заключается в использовании методов ситуационного управления, позволяющей отойти от формального описания управляемых объектов.

Тем не менее недостатки каждого из этих подходов не позволяют с достаточной степенью эффективности использовать их при решении задач информационного обеспечения диспетчеров ЕДДС.

В частности, «загрубляя» модель ЧС, мы рискуем вообще не получить правильное управляющее воздействие, поскольку из-за наличия внутренних связей и латентностью в исходных данных можно пропустить «глобальный» оптимум управляющей функции, что в условиях дефицита времени и ресурсов недопустимо.

Ещё одна трудность связана с выбором между адекватностью модели (уровнем детализации реального объекта) и временем её реализации. Опыт использования оптимизационных методов при создании ИСППР показывает, что эти два требования являются противоречивыми. При попытке получить описание, адекватное решаемой задаче, возникает проблема размерности, в результате чего задача решается недопустимо долго. При попытке создать упрощённую модель теряется адекватность, что также недопустимо.

В свою очередь, решая эту задачу путём имитационного моделирования, позволяющего создавать адекватные модели большой сложности, обеспечивая при этом требуемую точность и допустимое время поиска решения, возникает другая трудность, связанная с адаптацией этих моделей к новым условиям. При необходимости адаптации к реальным условиям функционирования имитационные модели необходимо полностью менять, что является достаточно трудоёмким процессом, кроме того, в механизме построения имитационных моделей отсутствуют элементы, позволяющие оценить корректность проводимых в них доработок.

Трудности второго (ситуационного) подхода при управлении в ЧС связаны с необходимостью полного и детального описания всех элементов множества ситуаций и возможных сценариев, по сути, речь идёт о той же имитационной модели. Однако в рассматриваемом подходе используется методология ситуационного управления, центральное место в которой занимает задача отождествления ситуаций из всего множества ситуаций и поиск соответствия во множестве сценариев наиболее «подходящего» сценария управляющих воздействий. Таким образом, речь уже идёт о наполняемости (полноте) имитационной модели. Важность этой проблемы определяется тем, что от способа её решения будет зависеть качество решений по управлению.

В системе такого типа решение ищется среди множества априорно известных альтернатив, а цель задается неявно, как выбор наиболее приемлемой альтернативы относительно текущей ситуации. Фактически система осуществляет интерполяцию решения, то есть подбирает решение, наиболее подходящее соответствующей ситуации, а это напрямую оказывает влияние на эффективность управления.

Однако рассматриваемая предметная область имеет ряд особенностей (упомянутых выше), вызывающих определённые трудности при применении «сценарного» подхода, а именно: слабая структурированность исходных данных, разнородный характер их представления, наличие в них неопределённости, а также отсутствие полноты и достоверности исходных данных.

Для примера в таблице приведена примерная структура первой очереди специального программного и информационного обеспечения подсистемы поддержки принятия решений ЕДДС. Функциональные комплексы поддержки принятия решений по ЧС и пожарам должны обеспечить реализацию следующих сценариев действий диспетчера:

- планирование объектов и состава мероприятий по ликвидации последствий пожаров и ЧС;
- планирование сил и средств, привлекаемых для ликвидации последствий пожаров и ЧС;
- планирование использования дополнительных ресурсов для ликвидации последствий пожаров и ЧС;

- планирование транспортного обеспечения процесса ликвидации последствий пожаров и ЧС;
- прогнозирование и оценка последствий ЧС под действием управленческих решений, заложенных в ситуационный план, в том числе определение оценок медицинских последствий ЧС с учётом проведения запланированных мероприятий по ликвидации ЧС и защите населения;
- определение прогнозируемых объёмов и сроков начала и окончания выполнения аварийно-восстановительных мероприятий.

**Таблица. Примерная структура первой очереди специального программного и информационного обеспечения подсистемы поддержки принятия решений единой дежурно-диспетчерской службы**

Наименование функциональных подсистем (ФП)	Наименование функциональных комплексов (ФК)	Наименование функциональных задач (ФЗ)
ФП-2. Подсистема поддержки принятия решений ЕДДС	ФК-2.1. Комплекс поддержки принятия решений по предупреждению и ликвидации ЧС	ФЗ-2.1.1. Поддержка принятия решений по ликвидации ЧС, вызванной аварией на химически опасном объекте с выбросом
		ФЗ-2.1.2. Поддержка принятия решений по ликвидации ЧС, вызванной радиационной аварией на АЭС
		Другие ФЗ (в соответствии с классификацией ЧС)
	ФК-2.2. Комплекс поддержки принятия решений по тушению пожаров	ФЗ-2.2.1. Информационная поддержка принятия решений при тушении пожаров
ФЗ-2.2.2. Выдача данных по пожаро-взрывоопасности веществ, материалов и способам их тушения		

При этом каждый из планов (сценариев) должен содержать информацию в нескольких разрезах – по объектам проведения работ, по проводимым мероприятиям, по силам, привлекаемым к участию при ликвидации последствий ЧС.

Как видно, перечисленные задачи достаточно обширны и ведут к усложнению рассматриваемых моделей

Тем не менее ситуационный подход является наиболее перспективным, так как позволяет «наращивать» (усложнять) рассматриваемую модель, а также учитывать трудности, связанные с характером входной информации.

В связи с этим представляет научный и практический интерес разработка адаптивных систем поддержки принятия решений, позволяющая формировать не наиболее «подходящее», а адекватное «идеальное» управляющее воздействие (сценарий), соответствующее рассматриваемой исходной ситуации и заданной целевой установке.

Решение уже этой задачи возможно на основе использования генетических алгоритмов (ГА) [1, 2], представляющих собой, по сути, адаптивные методы поиска оптимальных решений. Они получили широкое распространение при решении задач функциональной оптимизации. Следует отметить, что в качестве «целевой функции» может выступать набор правил (условий, вопросов), степень выполнения (ответов) которых определяет соответствие решений рассматриваемой ситуации.

С учётом того факта, что множество элементарных операций в сценарии конечно, то применение ГА делает возможным нахождение оптимального «идеального» сценария, соответствующее исходной рассматриваемой ситуации, в случае, когда первоначально

предлагаемый сценарий «далёк» от «идеального», и рассматриваемая задача не формализуется.

Суть ГА заключается в нахождении лучшего, но не гарантированно оптимального решения. Для реализации ГА необходимо выбрать подходящую структуру данных для предоставления решения. В постановке задачи поиска оптимального решения экземпляра этой структуры (сценарий) должен содержать информацию о некоторой точке в пространстве решений (множества сценариев).

Для применения ГА сценарий целесообразно представлять в виде битовой строки, характеризующей набор так называемых генов, представляющих собой последовательное объединение подкомпонентов (совокупность сил и средств, выполняющих элементарные операции (функции)). Данная строка может быть как постоянной, так и переменной длины (её вид и структура является предметом для дальнейших исследований, в частности, известны примеры, где данные строки были представлены векторами вещественных чисел) [3].

Первоначально отобранные сценарии образуют множество предков, которые будут участвовать в формировании оптимального сценария. Множество сценариев предков может быть сформировано либо с помощью эвристического подхода (экспертного), либо детерминированного (в соответствии с руководящими документами). Затем происходит процесс «мутации» (перемешивание генов в соответствии с определёнными правилами и условиями), и формируется множество потомков, которое проходит исследования на «выживаемость» (соответствие «целевой функции»). В качестве основного критерия на выживаемость является степень соответствия полученного сценария исходной ситуации (скажем, полнота множества необходимых операций (функций) для ликвидации ЧС, а также соблюдение условий непревышения лимита по времени, стоимости и т.д.).

На следующей итерации из полученного множества сценариев, наиболее соответствующих рассматриваемой ситуации, формируется следующее множество предков, которое также подвергается «мутации», получению нового множества потомков и проверке их на «выживаемость».

Процесс продолжается до тех пор, пока мы не начнём получать более худшие результаты, нежели в прежней итерации. В качестве результата выбираются несколько «лучших» сценариев. В случае закливания этого процесса можно установить ограничение на время его реализации.

Получение «идеальных» решений с помощью ГА позволит избежать детального описания рассматриваемой предметной области, ограничившись только описанием полного множества сил и средств, а также выполняемых ими элементарных операций, входящих в сценарий. Достаточно простой механизм «мутации» и проверки на выживаемость даёт возможность оперативно находить подходящий сценарий, проверка на практике эффективности которого позволит априорно связать его с рассматриваемой ситуацией.

Основная проблема, связанная с применением ГА, – это их эвристический характер. В настоящее время не существует точного ответа и теоретически обоснованных оценок. Имеются предположения, что ГА может стать эффективной процедурой поиска оптимального решения, если:

– пространство поиска достаточно велико, и предполагается, что «целевая» функция не является гладкой и унимодальной в области поиска;

– задача не требует нахождения глобального оптимума, необходимо достаточно быстро найти приемлемое «хорошее» решение (в данном случае сценарий), что собственно и требуется в процессе информационной поддержки принятия решений.

Таким образом, предлагаемый подход позволяет строить адаптивные информационные системы поддержки принятия решений в специальном программном обеспечении ЕДДС. Использование ситуационного управления на основе семиотических моделей, базирующихся на логике предикатов первого порядка и методах доказательства теорем, позволяет динамически учитывать нечёткий и неполный характер входной

информации при идентификации возникающих ситуаций и находить соответствующее им управляющее воздействие.

В качестве иллюстрации рассмотрим пример.

Управляющее воздействие представляется в виде 12-битовой строки, сгруппированной в четыре группы по три разряда, где три первых разряда описывают величину ресурса, необходимого для ликвидации ЧС (в у.е.), а остальные три группы описывают степень выполнения каких-либо трёх операций (111 – полное выполнение операции, 011 и 001 – частичное выполнение, 000, соответственно, – невыполнение операции). Выполнение следующей операции невозможно без завершения предыдущей и возможно только при наличии соответствующей единицы в первой группе разрядов. Необходимо выполнение максимального количества операций в каждой группе с учётом ограничений на количество выполняемых операций шесть.

Допустим, что исходная популяция насчитывает восемь вариантов.

Понятно, что наилучшей будет хромосома 111 011 011 011, однако посмотрим, как протекает процесс решения этой весьма тривиальной задачи с помощью генетического алгоритма.

Инициализация или выбор исходной популяции хромосом. Необходимо случайным образом сгенерировать восемь двоичных последовательностей длиной 12 битов. Это можно достигнуть, например, подбрасыванием монеты (96 раз, при выпадении «орла» приписываем значение 1, а в случае «решки» – 0). Таким образом, можно сформировать исходную популяцию:

$ch_1=[111\ 001\ 100\ 101]$	$ch_5=[010\ 001\ 100\ 100]$
$ch_2=[001\ 100\ 111\ 010]$	$ch_6=[010\ 011\ 000\ 101]$
$ch_3=[011\ 101\ 110\ 011]$	$ch_7=[101\ 011\ 011\ 011]$
$ch_4=[001\ 000\ 101\ 000]$	$ch_8=[000\ 010\ 111\ 100]$

Оценка приспособлённости хромосом в популяции. В рассматриваемом упрощённом примере решается задача нахождения такой хромосомы, которая содержит наибольшее количество единиц в каждой группе операций, но не более шести. Поэтому функция приспособлённости определяет количество единиц в хромосоме. Обозначим функцию приспособлённости символом  $F$ . Тогда её значение для каждой хромосомы из исходной популяции будут такие:

$F(ch_1)=4$	$F(ch_5)=1$
$F(ch_2)=1$	$F(ch_6)=0$
$F(ch_3)=4$	$F(ch_7)=4$
$F(ch_4)=0$	$F(ch_8)=0$

Понятно, что наилучшими будут хромосомы  $ch_1$ ,  $ch_3$ ,  $ch_7$ , поскольку в них выполняются максимальное число операций, равное четырём, однако, с условием выполнения всех групп операций наиболее подходящим решением будет  $ch_1$ .

В этой популяции они считаются наилучшими кандидатами на решение задачи. Если в соответствии с блок-схемой генетического алгоритма условие остановки алгоритма не выполняется, то на следующем шаге производится селекция хромосом из текущей популяции.

Селекция хромосом. Селекция производится методом рулетки. На основании формул (2) и (3) для каждой из восьми хромосом текущей популяции (в нашем случае – исходной популяции, для которой  $N=8$ ) получаем сектора колеса рулетки, выраженные в процентах (рис.).

$v(ch_1)=15,22$        $v(ch_5)=8,7$   
 $v(ch_2)=13,04$      $v(ch_6)=10,87$   
 $v(ch_3)=17,39$      $v(ch_7)=17,39$   
 $v(ch_4)=6,52$        $v(ch_8)=10,87$

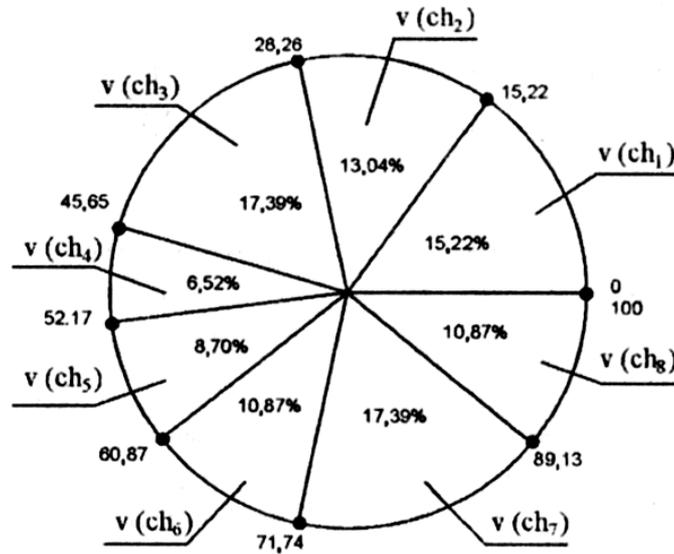


Рис. Колесо рулетки для селекции

Розыгрыш с помощью колеса рулетки сводится к случайному выбору числа из интервала  $[0,100]$ , указывающего на соответствующий сектор на колесе, то есть на конкретную хромосому. Допустим, что разыграны следующие восемь чисел:

79    32    74    85    45    60    52    18.

Это означает выбор хромосом:

ch7    ch3    ch1    ch7    ch3    ch7    ch4    ch2.

Как видно, хромосома ch7 была выбрана трижды, хромосома ch3 – дважды, а ch1 – один раз. Заметим, что именно эти хромосомы имеют наибольшее значение функции приспособленности. Однако выбрана и хромосома ch4 с наименьшим значением функции приспособленности. Все выбранные таким образом хромосомы включаются в так называемый родительский пул.

Применение генетических операторов. Допустим, что ни одна из отобранных в процессе селекции хромосом не подвергается мутации, и все они составляют популяцию хромосом, предназначенных для скрещивания. Это означает, что вероятность скрещивания  $p_c=1$ , а вероятность мутации  $p_m=0$ . Допустим, что из этих хромосом случайным образом сформированы пары родителей:

ch2 и ch7    ch1 и ch7    ch3 и ch4    ch3 и ch7.

Первая пара родителей:

$[001100111010]$   
 $[101011011011]$

Первая пара потомков:

$[001111011011]$   
 $[101000111010]$

скрещивание →

$l_k=4$

Вторая пара родителей:

[111001100101] }  
[101011011011] }

Вторая пара потомков:

[111011011011]  
[101001100101]

скрещивание →

$l_k=3$

Третья пара родителей:

[011101110011] }  
[001000101000] }

Третья пара потомков:

[011101110010]  
[001000101001]

скрещивание →

$l_k=11$

Четвертая пара родителей:

[011101110011] }  
[101011011011] }

Четвертая пара потомков:

[011101011011]  
[101011110011]

скрещивание →

$l_k=5$

Для первой пары случайным образом выбрана точка скрещивания  $l_k=4$ , для второй  $l_k=3$ , для третьей  $l_k=11$ , для четвертой  $l_k=5$ . При этом процесс скрещивания протекает следующим образом:

В результате выполнения оператора скрещивания получаются четыре пары потомков.

Если бы при случайном подборе пар хромосом для скрещивания были объединены, например,  $ch_3$  с  $ch_3$  и  $ch_4$  с  $ch_7$  вместо  $ch_3$  с  $ch_4$  и  $ch_3$  с  $ch_7$ , а другие пары остались без изменения, то скрещивание  $ch_3$  с  $ch_3$  дало бы две такие же хромосомы, независимо от разыгранной точки скрещивания. Это означало бы получение двух потомков, идентичных своим родителям. Заметим, что такая ситуация наиболее вероятна для хромосом с наибольшим значением функции приспособленности, то есть именно такие хромосомы получают наибольшие шансы на переход в новую популяцию.

Формирование новой популяции. После выполнения операции скрещивания получаем следующую популяцию потомков:

$Ch_1 = [001\ 111\ 011\ 011]$

$Ch_2 = [101\ 000\ 111\ 010]$

**$Ch_3 = [111\ 011\ 011\ 011]$**

$Ch_4 = [101\ 001\ 100\ 101]$

$Ch_5 = [011\ 101\ 110\ 010]$

$Ch_6 = [001\ 000\ 101\ 001]$

$Ch_7 = [011\ 101\ 011\ 011]$

$Ch_8 = [101\ 011\ 110\ 011]$

Для отличия от хромосом предыдущей популяции обозначения вновь сформированных хромосом начинаются с заглавной буквы С.

Согласно блок-схеме генетического алгоритма производят возврат ко второму этапу, то есть к оценке приспособленности хромосом из вновь сформированной популяции, которая становится текущей. Значения функций приспособленности хромосом этой популяции составляют:

$F(Ch_1)=2$

$F(Ch_2)=1$

**$F(Ch_3)=6$**

$F(Ch_4)=3$

$F(Ch_5)=3$

$F(Ch_6)=0$

$F(Ch_7)=4$

$F(Ch_8)=4$

Заметно, что популяция потомков характеризуется гораздо более высоким значением функции приспособленности, чем популяция родителей. Обратим внимание, что в результате скрещивания получена хромосома Ch3 с наибольшим значением функции приспособленности, которым не обладала ни одна хромосома из родительской популяции. Однако могло произойти и обратное, поскольку после скрещивания на первой итерации хромосома, которая в родительской популяции характеризовалась наибольшим значением функции приспособленности, могла просто «потеряться». Помимо этого «средняя» приспособленность новой популяции всё равно оказалась бы выше предыдущей, а хромосомы с большими значениями функции приспособленности имели бы шанс появиться в следующих поколениях.

### **Литература**

1. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечёткие системы / пер. с польск. И.Д. Рудинского. М.: Горячая линия-Телеком, 2006. 383 с.
2. Яхьева Г.Э. Нечёткие множества и нейронные сети. М.: БИНОМ, 2006.
3. Исаев С.А. Популярно о генетических алгоритмах // Алгоритмы. Методы. Исходники. URL: <http://algotlist.manual.ru/ai/ga/ga1.php>.

