

**ПРИМЕНЕНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И ГЕНЕТИЧЕСКИХ
АЛГОРИТМОВ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ РАЗВИТИЯ ВООРУЖЕНИЯ**
**APPLICATION OF MORPHOLOGICAL ANALYSIS AND GENETIC ALGORITHMS
IN PREDICTION OF ARMAMENT DEVELOPMENT**

Чл.-корр. РАРАН Р.А. Дурнев, Е.В. Свиридок, А.С. Гусева, чл.-корр. РАРАН К.Ю. Крюков

РАРАН

R.A. Durnev, E.V. Sviridok, A.S. Guseva, K.Yu. Kryukov

В статье показано, что одной из серьезных проблем научно-технического прогнозирования развития вооружения является субъективная оценка экспертов. Для преодоления этого предлагается совместное использование метода морфологического анализа, позволяющего проводить дефрагментацию образцов вооружения на требуемое количество составных частей (свойств) и их агрегирование (объединение) для формирования облика перспективных образцов и генетических алгоритмов, позволяющих определять оптимальные (рациональные) решения (перспективные образцы вооружения) путем случайного подбора, комбинирования и вариации исходных установленных частей, свойств с использованием механизмов, аналогичных естественному отбору в природе.

Ключевые слова: прогнозирование, вооружение, морфологический анализ, генетические алгоритмы, развитие.

The article shows that one of the serious problems of scientific and technical forecasting of the development of weapons is the subjectivity of expert assessments. To overcome this, it is proposed to jointly use a morphological analysis method that allows defragmentation of weapons samples to the required number of components (properties) and their aggregation (unification) to form the appearance of promising samples and genetic algorithms that allow determining optimal (rational) solutions (promising weapons samples) by random selection, combination and variation of the original established parts, properties using mechanisms similar to natural selection in nature.

Keywords: forecasting, weaponry, morphological analysis, genetic algorithms, development.

В отличие от футурологических предсказаний, основывающихся на субъективном здравом смысле и интуиции отдельных личностей, научно-технический прогноз должен опираться на объективные положения, методы, модели, подходы [1–4]. Одним из них, на наш взгляд, является метод морфологического анализа (ММА), методические основы которого подробно изложены в [5]. В соответствии с ним осуществляется:

– выделение всех независимых переменных (свойств, частей) системы;

– определение возможных значений этих переменных, причем как реально достижимых в современных условиях, так и прогнозируемых в отдаленном будущем;

– генерирование альтернатив путем перебора возможных сочетаний этих значений.

Использование данного метода можно показать на примере прогнозирования облика абстрактной бронированной машины (БМ), предназначенной для доставки экипажа и личного состава, обеспечения их защиты, огневого

поражения военных и гражданских объектов противника. Основными направлениями, которые необходимо реализовывать при достижении облика такой машины, могут быть следующие:

- повышение огневой мощи;
- повышение защищенности;
- увеличение подвижности;
- улучшение командной управляемости;
- улучшение ситуационной осведомленности экипажа;
- повышение автоматизации функционирования и другие.

Развитие данных направлений может обеспечиваться следующими составными (конструктивными и др.) частями и свойствами перспективных БМ, определяющими их облик и являющимися элементами морфологического анализа (показаны условно).

1. Тип двигателя:

бензиновый, дизельный, газотурбинный, электрический, гибридный, электрохимические генераторы (ЭХГ) на базе водорода.

2. Тип движителя: гусеничный, колесный, шагающий, водоходный, на воздушной подушке, аэродинамический («летающая платформа»).

3. Тип трансмиссии: механическая, гидромеханическая, электрическая, электромеханическая, гидропневматическая.

4. Тип подвески: традиционная, адаптивная гидропневматическая, адаптивная электрическая.

5. Тип защиты:

5.1. Броневая защита корпуса или бронекapsулы на основе: традиционных броневых сталей, многослойной брони, керамической брони, титано-керамической брони (ТКБ), многослойной композитной (полимеркомпозитной) брони (МКБ), коллоидной брони, оптически прозрачной брони (ОПБ), жидкой брони, механохимической брони.

5.2. Комплекс активной (динамической) защиты от огневого поражения: традиционный, электродинамическая защита, бесконтактная защита, «вортроны» (генераторы компактных вихревых образований для создания динамических многофазных экранов).

5.3. Защита от обнаружения, попадания: традиционная (аэрозольно-дымовая) защита, аэрозольно-дипольная защита, защита на основе радиопоглощающих покрытий (РПП), широко-

полосная антирадарная защита (ШПАЗ), защита на основе адаптивных маскировочных покрытий (АМП), защита на основе отстреливаемых сеток, пленок, покрытий (ЗС), защита на основе выбрасывания ложных целей (ЗЛЦ).

6. Возможность преодоления водных преград: есть, отсутствует.

7. Возможность самоокапывания: есть, отсутствует.

8. Тип автономности управления: экипажный, дистанционный, автоматизированный, автономный.

9. Области автоматизации: движение, защита, управление огнем.

10. Средства разведки и целеуказания: традиционные, в комплексе с группой мини-БПЛА, в комплексе с группой наземных мини-робототехнических средств (РТС).

11. Количество звеньев машины: одно звено, два звена, три и более звена.

12. Модульность конструкции: традиционная (замена альтернативных частей возможна в заводских условиях), модульно-адаптивный принцип (МАП) оперативного (в полевых условиях) построения конструкции в зависимости от задач и условий обстановки.

13. Области модульного построения: движение (в том числе двигатель, движитель, трансмиссия и т.п.), обеспечение защиты (дополнительные модули защиты, устройства защиты и т.п.), ведение огня (различные типы вооружения).

14. Система вооружения: традиционное ракетно-артиллерийское вооружение (РАВ), в том числе противотанковые управляемые ракеты (ПТУР), зенитные ракеты, 152-мм основное орудие повышенной энергетики, 57-мм автоматическая пушка, пулемет 7,62 мм, крупнокалиберный пулемет 12,7 мм и др., электродинамическое скорострельное оружие повышенной дальности, электротермохимическая пушка, легкогазовая пушка, силовой тактический лазерный комплекс, лазерные системы ослепления и подавления, дроны типа «летающие гранаты», СВЧ-генератор, боеприпасы повышенной пробития и т.п.

На основании приведенной декомпозиции возможно формирование морфологической таблицы для установления облика перспективных БМ (таблица).

Анализ данных, приведенных в таблице, позволяет установить облик перспективных

Таблица

Морфологическая таблица для установления облика перспективных БМ

Составные части, свойства БМ	Параметры составных частей, свойств БМ									
	бензиновый (А, Б)	дизельный (В, Г)	газотурбинный (Б)	электрический (А, В)	гибридный (В, Г)	ЭХГ (А)	–	–	–	–
Тип двигателя	гусеничный (А, Б)	колесный (В, Г)	шагающий	водоходный (А)	на воздушной подушке	аэродинамический	–	–	–	–
Тип трансмиссии	механическая	гидромеханическая (Б)	электрическая (Г)	электрохимическая (А)	гидропневматическая (В)	–	–	–	–	–
Тип подвески	традиционная (Б)	адаптивная гидропневматическая (В)	адаптивная электрическая (А, Г)	–	–	–	–	–	–	–
Броневая защита корпуса или бронекапсулы	традиционные броневетили (Б)	многослойная броня	керамическая броня (Б)	ТКБ (В)	МКБ (А)	коллоидная броня	–	ОПБ	жидкая броня (А)	механохимическая броня
Комплекс активной (динамической) защиты	традиционный (Б, В)	электродинамическая защита (А, Г)	бесконтактная защита (А, Б)	«воргтроны»	–	–	–	–	–	–
Защита от обнаружения, попадания	традиционная защита (Б)	аэрозольно-дипольная защита (А, В)	РПП (В)	ШПАЗ	АМП (А)	ЗС	–	ЗЛЦ	–	–
Возможность преодоления водных преград	есть (А, Г)	отсутствует (Б)	–	–	–	–	–	–	–	–
Возможность самокапывания	есть (А)	отсутствует (Б, Г)	–	–	–	–	–	–	–	–

Продолжение таблицы

Составные части, свойства БМ	Параметры составных частей, свойств БМ									
	экипажный (А, Б, В)	дистанционный (В, Г)	автоматизированный (А, Б)	автономный (Г)	–	–	–	–	–	–
Тип автономности управления	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Области автоматизации	движение (А, Б, В, Г)	защита (А, В, Г)	управление огнем (А, Г)	–	–	–	–	–	–	–
Средства разведки и целеуказания	традиционные (А, Б, В, Г)	в комплексе с группой мини-БПЛА (А)	в комплексе с группой наземных мини-РТС	–	–	–	–	–	–	–
Количество звеньев машины	одно звено (А, В)	два звена (Б)	три и более звена	–	–	–	–	–	–	–
Модульность конструкции	традиционного (Б, В)	МАП (А)	–	–	–	–	–	–	–	–
Области модульного оперативного построения	движение (А)	обеспечение защиты	ведение огня (А)	–	–	–	–	–	–	–
Система вооружения	традиционное РАВ (А, Б, В)	электродинамическое скорострельное оружие	электротермомохимическая пушка (А, Г)	легкогазовая пушка (Б)	силовой тактический лазерный комплекс (А)	лазерные системы ослепления и подавления (А, Б, В)	«летающие гранаты» (А, Г)	СВЧ-генератор (А, Б, Г)	боеприпасы повышенного пробития (В)	–

Примечание: в скобках отмечены варианты сочетаний для потребного образца бронированной машины поражения (А), потребного образца бронированной машины обеспечения (Б), минимально необходимого образца бронированной машины (В), минимально необходимого образца бронированной машины обеспечения (Г).

образцов БМ. Для этого выполняется объединение их параметров, составных частей, свойств. При этом число вариантов объединения свойств равно $6 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 3 \cdot 9 \cdot 4 \cdot 7 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 9 \approx 8 \cdot 10^9$.

Для уменьшения вариантов возможно задать следующие ограничивающие требования к таким объединениям свойств. Они должны:

- быть принципиально реализуемыми с помощью известных на сегодня законов, эффектов в области физики, химии, биологии, информатики и т.п., не нарушать природные законы;

- не приводить к резкому ухудшению одних свойств за счет улучшения других (например, увеличение огневой мощи и защищенности за счет увеличения массы образца, снижения его подвижности и усложнения управляемости);

- быть, по возможности, реализуемыми промышленностью к рубежу прогноза.

При недостаточности данных требований для снижения размерности задачи формирования объединений свойств возможно использование различных эвристических ограничений, например, рассмотрения только двух вариантов — потребного (лучше, чем у противника) и минимально необходимого (не хуже, чем у противника). При формировании данных эталонных вариантов могут использоваться правила выбора парето-оптимального образца — им является тот, у которого все характеристики не хуже, чем у противника (минимально необходимый вариант), и при этом хотя бы одна лучше (потребный вариант).

Очевидно, что такие эталонные варианты не должны формироваться путем отбора наилучших характеристик у различных однотипных образцов, т.к. при этом может возникнуть принципиальное противоречие, при котором, например, будет сформирован гипотетический образец с максимальной броневой защитой и массой, которая будет намного меньше реально достижимой.

Не вполне приемлемой является процедура выбора в качестве эталона реально существующего лучшего образца, т.к. к горизонту прогноза данный образец может быть уже устаревшим. В этой связи потребный и минимально необходимый варианты могут формироваться из морфологической таблицы в основном экспертным путем, на основе интуиции, опыта и здравого смысла, т.е. в определенной степени субъективно.

В таблице представлен пример морфологического объединения параметров составных частей, свойств для условного потребного образца бронированной машины поражения (А).

В основу данного объединения экспертами может быть положена предпосылка о реализации электрических принципов движения, защиты, управления огнем. Основным источником энергии являются электромеханический генератор (ЭХГ) на основе водорода и электрический двигатель. Машина гусеничного типа с возможностью передвижения в плыв, в том числе и при волнении водной преграды до 3–4 баллов. Электрический адаптивный тип подвески приспособляется к условиям движения образца в целях максимизации его проходимости при заданном уровне расхода электроэнергии.

В целях защиты от пробития, минимизации запреградных повреждений для корпуса применяется многослойная композитная (полимеркомпозитная) броня, для меньшего объема бронекapsулы — жидкая броня на основе ферромагнитной жидкости, превращающаяся из жидкой в твердую под воздействием магнитного поля, формируемого за счет бортовых источников электроэнергии. Комплект дополнительных рабочих органов позволяет осуществлять окапывание машины в автоматическом режиме.

Защита от обнаружения и попадания обеспечивается генераторами аэрозольно-дипольных составов и с использованием маскировочного (деформирующего) окрашивания техники на основе гибридных наноструктур с регулируемым поглощением, рассеиванием и излучением в оптическом диапазоне.

Управление машиной осуществляется экипажем, а также в автоматизированном режиме с реализацией функций движения и защиты.

Для разведки, целеуказания и, при необходимости, огневой поддержки применяется комплексы мини-БПЛА квадрокоптерного типа с электрическими источниками энергии, запускаемые с корпуса машины в автоматизированном режиме.

Модульно-адаптивный принцип построения позволяет в кратчайшие сроки менять конструкцию базовой машины для повышения эффективности движения по суше, в плыв, а также выстраивать систему вооружения с учетом специфики боевых задач и условий обстановки.

Система вооружения может включать в себя традиционное РАВ, электродинамическое оружие с гиперзвуковыми управляемыми снарядами, силовой тактический лазерный комплекс на основе высокоярких твердотельных лазеров с полупроводниковой накачкой, полупроводниковых лазеров для подавления оптико-электронных систем противника.

Кроме того, в состав системы вооружения могут входить бортовые СВЧ-генераторы, предназначенные для дезорганизации боевого управления противника, защиты объектов и образцов техники от средств воздушного нападения, борьбы с робототехническими комплексами военного назначения, включая БПЛА, противоминной борьбы, а также нелетального воздействия на живую силу.

Ударные мини-БПЛА на базе дронов осуществляют воздушное охранение образца и являются носителями зарядов высокоэнергетических взрывчатых веществ (в том числе для точечного кумулятивного воздействия на наиболее уязвимые элементы боевой техники противника), а также мини-генераторов создания широкополосного электромагнитного импульса для вывода из строя электронных устройств противника.

В таблице также представлено морфологическое объединение параметров составных частей, свойств для условного минимально необходимого образца бронированной машины поражения (В). Для неё основным источником энергии являются гибридный (электродизельный) двигатель. Машина колесного типа с гидропневматической трансмиссией и подвеской. Защита осуществляется с использованием титано-керамической брони, традиционными комплексами активной защиты, а также средствами аэрозольно-дипольной защиты. Управление машиной осуществляется экипажем, а также оператором в дистанционном режиме реализации функций движения и защиты. Конструкция машины не предусматривает ее оперативное модульное построение. В состав системы вооружения входит комплекс бронебойных (повышенного пробития) управляемых ракет, зенитных ракет, 57-мм автоматическая пушка, крупнокалиберный пулемет 12,7 мм, лазерная система ослепления и подавления.

Морфологическое объединение параметров составных частей, свойств для условного

потребного образца бронированной машины обеспечения показано в таблице (Б). Для такой машины характерно наличие газотурбинного двигателя повышенной мощности, гусеничного движителя, гидромеханической трансмиссии и традиционной подвески. Машина двухзвенная, в первом звене размещается двигательная установка, экипаж и грузовой отсек, во втором звене — личный состав. Защита звеньев обеспечивается: фронтальных, боковых и задних частей — традиционными броневыми сталями, верхней части полусферы — дополнительно керамической броней. В состав входят традиционный комплекс активной защиты, бесконтактная защита от систем наведения противника, а также традиционные средства аэрозольно-дымной защиты. Управление машиной осуществляется экипажем, а также в автоматизированном режиме реализации функций движения и управления огнем. Конструкция машины не предусматривает ее оперативное модульное построение. В состав системы вооружения входит комплекс противотанковых управляемых ракет (на первом звене), зенитных ракет (на втором звене), ракет с СВЧ-боеприпасами (на втором звене), 57-мм автоматическая пушка (на втором звене), крупнокалиберный пулемет 12,7 мм (на втором звене), лазерная система ослепления и подавления (на первом звене).

Особенностью условного минимально необходимого образца бронированной машины обеспечения (Г, в таблице) является электрический принцип движения, безэкипажное дистанционное или автономное управление, защита перевозимых грузов с использованием механохимической брони, системы электродинамической защиты, широкополосной антирадарной защиты, наличие в составе вооружения автоматической электротермохимической пушки, комплекса ударных мини-БПЛА (летающих гранат) и СВЧ-генератора.

Обобщая изложенное, можно отметить, что в условном примере бронированные машины поражения будут предназначены в основном для уничтожения военных объектов на различной дальности без поддержки мотострелковых подразделений в непосредственном боевом соприкосновении с противником. В плане управления будут реализовываться в автоматическом режиме только функции движения и защиты. Частично

будут автоматизированы функции поиска целей, их распознавания и идентификации, распределение по приоритетности поражения. Команды на уничтожение цели, начало и прекращение огня будут подаваться оператором.

Боевые машины обеспечения, транспортирующие десант и грузы, будут многозвенными с мощными комплексами защиты и огневого уничтожения или подавления сил и средств нападающего противника. Доставка грузов без личного состава будет осуществляться роботизированными комплексами по маршруту в автономном режиме, либо в непосредственной близости от передвигающихся подразделений.

Очевидно, что объединение различных свойств, частей технических объектов в данном случае хотя и является полезным, т.к. позволяет одновременно учитывать все возможные свойства, составные части, но всё-таки произвольно (субъективно) ограничивает число рассматриваемых вариантов, позволяет определить не вполне лучший или достижимый вариант. Для придания большей объективности и формализации данного процесса предлагается использование генетических алгоритмов, представляющих собой эвристические алгоритмы поиска оптимальных (рациональных) решений путем случайного подбора, комбинирования и вариации исходных параметров с использованием механизмов, аналогичных естественному отбору в природе. При этом под решением в случае морфологического анализа будет пониматься сочетание значений независимых переменных (свойств, частей) системы (т.е. облик перспективного образца вооружения), под «исходными параметрами» — сами эти независимые переменные (свойства, части перспективного образца вооружения), а под «случайным подбором, комбинированием и вариацией исходных параметров» — генерирование альтернатив путем перебора возможных сочетаний значений независимых переменных.

В [6] под генетическим понимается эвристический алгоритм поиска оптимальных решений путем случайного подбора, комбинирования и вариации исходных параметров с использованием механизмов, аналогичных естественному отбору в природе (т.е. с формализованным представлением таких методов естественной эволюции, как наследование, скрещивание, мутации и отбор) [7, 8 и др.].

Приводить основы теории генетических алгоритмов (ТГА) не имеет смысла. Будут отражены только отдельные категории ТГА и установлена их аналогия с решаемой задачей и понятиями метода морфологического анализа.

Так, одной из категорий данной теории является «популяция», под которой понимается конечное множество особей, представляемых хромосомами с закодированными в них множествами параметров задачи (решений) [6]. Под особью будет пониматься облик некоторого перспективного образца вооружения, представляющего собой, в терминологии ММА, сочетание значений независимых переменных (свойств, частей) системы.

Хромосомы — это упорядоченные последовательности генов, ген — «атомарный элемент «генотипа», генотип — набор хромосом данной особи, фенотип — набор значений, соответствующих данному генотипу, множество параметров решения [6]. Каждая хромосома может кодировать только один параметр задачи генетического алгоритма. Но так как в одном генотипе может быть несколько хромосом, то один генотип может закодировать несколько параметров. Соотношение между ними показано на рис. 1 [6].

В рассматриваемой постановке задачи хромосома определяет конкретное значение независимой переменной (по ММА), количество генов соответствует возможным значениям данной переменной (например, переменной «тип двигателя» соответствуют возможные значения «бензиновый», «дизельный», «газотурбинный» и другие, бинарными кодами «0» и «1» могут представляться события, свидетельствующие об отсутствии или наличии данного значения). Генотип (набор хромосом) полностью характеризует конкретную особь (облик перспективного образца вооружения), фенотип показывает возможные сочетания значений независимых переменных с точки зрения принципиальной реализуемости, возможности достижения их промышленностью

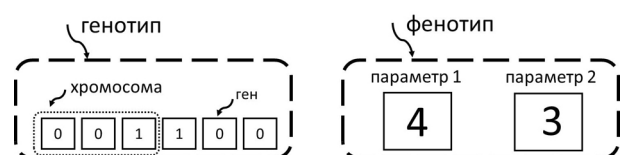


Рис. 1. Соотношение хромосомы, гена, генотипа, фенотипа в ТГА

и т.п. Например, в показанном на рис. 1 фенотипе параметр 1 — это тип двигателя — электрический, параметр 2 — тип движителя — шагающий (см. перечисление составных (конструктивных и др.) частей и свойств перспективных БМ). Другой аналогией параметров фенотипа могут быть, например, те ТТХ, которые являются следствием выбора различных составных частей образцов. Например, для электрического двигателя с шагающим движителем такими параметрами (ТТХ) могут быть скорость передвижения по неустойчивым грунтам и т.п.

Еще одним важнейшим понятием ТГА является функция приспособленности, представляющая собой меру приспособленности данной особи в популяции. Ее использование и позволяет выполнить «естественный отбор», т.е. выбрать наиболее «сильные», лучше всех приспособившиеся особи. В рамках решаемой задачи ими будут являться образцы перспективного вооружения с максимальной эффективностью (когда возможен учет способов и условий их боевого применения) или качества, технического уровня, боевого потенциала (когда возможен учет только уровня тактико-технических и других характеристик). Очевидно, что выбор данной функции является сложнейшей военно-технической задачей и должен рассматриваться отдельно.

Общая схема генетического алгоритма представлена на рис. 2 [6].

В соответствии со схемой на рис. 2 некоторым образом, обычно случайным, создается

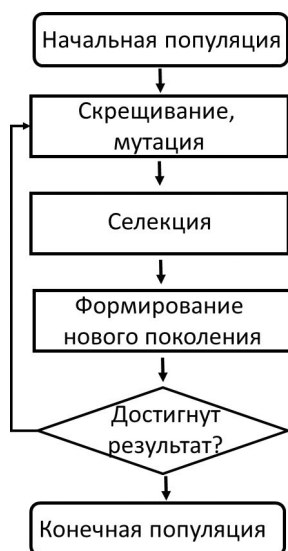


Рис. 2. Общая схема генетического алгоритма

множество генотипов (перспективных образцов вооружения, характеризующихся различными сочетаниями независимых переменных) начальной популяции (тех перспективных образцов, от которых начинается совершенствование). Они оцениваются с использованием функции приспособленности (эффективности, качества, технического уровня, боевого потенциала), определяющей, насколько хорошо фенотип (принципиально и технически реализуемый перспективный образец вооружения), описываемый генотипом, отвечает требованиям по назначению.

Из полученного множества решений (поколения перспективных образцов вооружения) с учетом значения «приспособленности» выбираются решения таким образом, что лучшие особи имеют большую вероятность быть выбранными. К этим решениям применяются генетические операторы скрещивания, мутации и др., результатом этого является получение новых решений. Для них в очередной раз оценивается приспособленность и проводится отбор лучших решений в следующее поколение.

Указанный набор действий повторяется итеративно, для нескольких поколений, до тех пор, пока не будет выполнен критерий остановки алгоритма — найден оптимальный или субоптимальные образцы, исчерпается число поколений или лимит времени, отпущенных на эволюцию, появится новый генотип в соответствии с заданными требованиями и т.д.

Особый интерес вызывают образцы вооружения (особи в новой популяции), у которых в результате эволюции улучшение одних характеристик (например, огневой мощи) стало приводить к ухудшению других (защищенности и т.п.), а также учет функции стоимости, сроков реализации и т.д. образцов в зависимости от их характеристик. Вопрос формализации (кодирования) данных положений также представляется достаточно сложным и требует отдельного рассмотрения.

Заключение

В целом можно отметить, что в отличие от футурологических предсказаний, научно-технический прогноз должен опираться на положения объективных, существующих независимо от тех, кто их применяет, методов. Одним из

них является метод морфологического анализа, позволяющий проводить дефрагментацию образцов вооружения на требуемое количество составных частей (свойств) и их агрегирование (объединение) для формирования облика перспективных образцов. При этом данные части могут иметь различную степень промышленной реализуемости и научно-технической достижимости с учетом современных и предполагаемых тенденций развития науки, технологий и техники.

При глубокой дефрагментации количество различных свойств, частей образцов вооружения и, соответственно, их объединений (сочетаний) может быть крайне значительным, практически необозримым и, к сожалению, в определенной мере всё-таки субъективным. В этом случае возможно использование такого эффективного переборного метода, как генетические алгоритмы, позволяющие определять оптимальные (рациональные) решения (перспективные образцы вооружения) путем случайного подбора, комбинирования и вариации исходных установленных частей, свойств с использованием механизмов, аналогичных естественному отбору в природе. Это позволяет не только значительно сократить затраты времени, средств на поиск наилучших решений, снизить субъективизм процесса, но и найти нетривиальные решения, т.е. получить образцы, высокая приспособленность (эффективность, качество) которых неочевидны.

Литература

1. Буренок В.М., Дурнев Р.А., Крюков К.Ю. Методический подход к загоризонтному прогнозированию развития систем вооружения // Вооружение и экономика. 2018. Вып. 2 (44). С. 3–10.
2. Потапов А.С. Искусственный интеллект и универсальное мышление. — СПб.: Политехника. 2012. 711 с.
3. Каталевский Д.Ю. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении: учебное пособие. — М.: Издательский дом «Дело» РАНХиГС. 2015. 496 с.
4. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ. — М.: Высшая школа. 1989. 361 с.
5. Одрин В.М., Картавов С.С. Морфологический анализ систем. Построение морфологических таблиц. — Киев. Наукова думка. 1977. 148 с.
6. Емельянов А.А., Булыгина О.В., Власова Е.А. и др. Комплексное имитационное моделирование с применением генетических алгоритмов // Прикладная информатика. 2017. Том 12. Вып. 6 (72). С. 89–100.
7. Николенко С.И., Тулупьев А.Л. Самообучающиеся системы. — М.: Изд. «МЦНМО». 2009. 288 с.
8. Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Генетические алгоритмы. — М.: ФИЗМАТЛИТ. 2010. 368 с.