

О.Б. Ачасов, кандидат технических наук,
доцент

М.А. Котов, кандидат технических наук,
доцент

А.А. Лукьяница, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник

С.В. Белебеха, кандидат экономических наук

Научно-методический подход к обоснованию рационального варианта развития системы вооружения сил общего назначения с использованием нового численного алгоритма

В статье предложен научно-методический подход по решению двух взаимозависимых задач обоснования рационального варианта развития системы вооружения сил общего назначения (СОН) ВС РФ: обоснование рационального (качественного и количественного) состава образцов вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) СОН ВС РФ, противостоящих потенциальному противнику, способных нанести максимальный ущерб при заданных ограничениях по финансированию программных мероприятий; обоснование рационального распределения ассигнований, выделяемых довольствующим органам на серийные закупки, проведение среднего, капитального и капитального с модернизацией ремонтов образцов ВВСТ, при заданном ограничении по финансированию, которые удовлетворяли бы ограничениям по штатной потребности группировки СОН и возможностям предприятий оборонно-промышленного комплекса (ОПК). Решать две взаимозависимые задачи предлагается с использованием численного алгоритма, основанного на сочетании метода линейного программирования и генетического алгоритма.

Введение

В соответствии с принятыми положениями общей методологии программно-целевого планирования развития системы вооружения Вооруженных Сил Российской Федерации, исследования по обоснованию и формированию системы вооружения сил общего назначения являются составной частью исследований по обоснованию мероприятий Государственной программы вооружения.

Складывающиеся условия непрерывного изменения сил и средств, противоборства в военной сфере, всестороннего совершенствования законов вооруженной борьбы и военно-теоретической мысли, объективно определяют необходимость переоценки как подходов, методов и моделей исследования эффективности военных действий, так и научно-методического обоснования рациональных путей развития системы вооружения СОН ВС РФ, обеспечивающих требуемый уровень решения задач, возложенных на Вооруженные Силы Российской Федерации.

Проведенный анализ показывает, что развитие ВВСТ СОН в составе отдельно взятого вида или рода ВС РФ приводит к дисбалансу сил и средств группировки в целом, и тем самым затрудняет управление и снижает эффективность решения задач межвидовой группировки СОН под единым командованием в современной структуре объединенного стратегического командования (ОСК).

Кроме этого, существующая структура СОН адаптирована под решение стоящих перед СОН задач, и главной особенностью является возложение оперативных (боевых) задач не на отдель-

ные группировки видов и родов ВС РФ, а на межвидовую группировку войск (сил) на стратегическом направлении. Следовательно, целью обоснования развития системы вооружения СОН является определение рационального состава сбалансированной по основным компонентам системы вооружения СОН, которая может быть создана в результате планомерного перевооружения и проведения других мероприятий по техническому оснащению для прогнозируемых оперативно-стратегических потребностей и экономических возможностей государства.

В современных условиях усиливается влияние одних систем (комплексов) на другие, возрастает количество задач, решаемых межвидовыми группировками войск (сил), что в свою очередь определяет объективное противоречие между потребностью практики органов военного управления, участвующих в обосновании развития системы вооружения СОН в условиях неопределенностей и ресурсных ограничений, и возможностью существующего методического аппарата по ее удовлетворению.

В данной статье авторами предлагается научно-методический подход обоснования рационального варианта развития системы вооружения СОН с использованием нового численного алгоритма. С учетом иерархии структуры ВС РФ и структуры системы вооружения оптимизируется стоимость обеспечения выполнения конкретных задач ВС РФ путем выбора рационального варианта развития соответствующих систем вооружения. В основу методологии обоснования развития системы вооружения СОН положен системный подход с использованием многопараметрического критерия «эффективность-стоимость-реализуемость».

При этом выбор конкретных задач и оценка стоимости комплектов вооружения, обеспечивающих их решение с заданной эффективностью, сопоставление между альтернативными вариантами решения задачи, осуществляется по минимуму затрат на их реализацию. И наоборот, среди вариантов развития ВВСТ, обладающих равной стоимостью, выбирается тот, который обеспечивает наибольшую эффективность с учетом выбранного критерия.

Таким образом, чтобы решить задачу обоснования рационального варианта развития системы вооружения СОН ВС РФ, необходимо обосновать рациональное соотношение выделяемых довольствующим органам ассигнований на серийные закупки, проведение среднего, капитального и капитального с модернизацией ремонтов образцов ВВСТ, которые при заданном ограничении по финансированию удовлетворяли бы штатной потребности и возможностям предприятий ОПК. В свою очередь, для обоснования рационального значения выделяемых довольствующим органам ассигнований нужно знать количество различных образцов ВВСТ, входящих в рассматриваемую систему вооружения СОН ВС РФ, необходимое для нанесения максимального ущерба потенциальному противнику при существующих финансовых ограничениях, а для решения задачи обоснования необходимого количества сил и средств рассматриваемой системы вооружения СОН ВС РФ, противостоящей потенциальному противнику, необходимо обосновать рациональное распределение выделяемых ассигнований между довольствующими органами на серийные закупки, проведение среднего, капитального и капитального с модернизацией ремонтов образцов ВВСТ, которые при заданном ограничении по финансированию удовлетворяли бы ограничениям по штатной потребности современных образцов ВВСТ и возможностям предприятий ОПК.

Вышеизложенное объективно позволяет сделать **вывод**, что задача обоснования рационального варианта развития системы вооружения СОН ВС РФ включает в себя две взаимозависимые задачи, а именно:

- обоснование рационального (качественного и количественного) состава образцов ВВСТ СОН ВС РФ, противостоящих потенциальному противнику, способных нанести максимальный ущерб при заданных ограничениях по финансированию программных мероприятий;
- обоснование рационального распределения ассигнований, выделяемых довольствующим ор-

ганам на серийные закупки, проведение среднего, капитального и капитального с модернизацией ремонтов образцов ВВСТ при заданном ограничении по финансированию, которые удовлетворяли бы ограничениям по штатной потребности группировки СОН и возможностям предприятий ОПК.

Ниже описывается численный алгоритм, разработанный авторами настоящей статьи для решения задачи оптимизации развития системы вооружения СОН ВС РФ.

Вербальная и формализованная постановка задачи обоснования рационального варианта развития системы вооружения СОН ВС РФ

Анализ существующего научно-методического аппарата (НМА) развития СОН [1] показывает, что до настоящего времени обоснование развития подсистем вооружения строилось по видовому (родовому) принципу, что способствует низкой согласованности программных мероприятий, направленных на развитие ВВСТ, функционально связанных при решении задач на поле боя, но находящихся в различных видах (родах) ВС РФ.

Следовательно, существующий НМА требует доработки критериальной базы обоснования развития СОН как межвидовой группировки войск на стратегических направлениях. Другими словами, в качестве основного критерия оптимизации предлагается использовать следующий: при прочих равных условиях предпочтение должно отдаваться тем образцам ВВСТ, которые способны нанести максимальный ущерб потенциальному противнику при заданных ассигнованиях на проведение программных мероприятий (на серийные закупки ВВСТ, на проведение среднего, капитального и капитального с модернизацией ремонтов).

Исходя из вышеизложенного, *вербальная* постановка задачи обоснования рационального варианта развития системы вооружения СОН ВС РФ сводится к следующему. При проведении операций в вооруженном конфликте создана межвидовая группировка войск, входящая в состав объединенных стратегических командований (ОСК) и состоящая из организационно-штатных формирований (ОШФ), входящих в состав видов (Сухопутные войска, Военно-воздушные силы и Военно-Морской Флот) и родов (Войска воздушно-космической обороны) ВС РФ. Данная межвидовая группировка войск теоретически ведет вооруженную борьбу с некоторой межвидовой группировкой войск потенциального противника. Требуется обосновать рациональный вариант развития системы вооружения СОН ВС РФ, позволяющий наиболее эффективно выполнять поставленные перед ней боевые задачи при выполнении заданных ограничений, определяемых выделенными ассигнованиями, оргштатной структурой и возможностями промышленности.

Справедливо будет предположить, что:

1. Количество i -х образцов ВВСТ в конце программного периода может быть определено по следующей формуле:

$$X_i^{\text{нал}}(t^k) = X_i^{\text{нал без ПМ}}(t^k) + \frac{S^{\text{выд}} \cdot a_{li}^{\text{рем}}}{C_i^{\text{рем}}} + \frac{S^{\text{выд}} \cdot a_{li}^{\text{кап рем}}}{C_i^{\text{кап рем}}} + \frac{S^{\text{выд}} \cdot a_{li}^{\text{кап рем с модер}}}{C_i^{\text{кап рем с модер}}} + \frac{S^{\text{выд}} \cdot a_{li}^{\text{сп}}}{C_i^{\text{сп}}}, \quad (1)$$

где $X_i^{\text{нал без ПМ}}(t^k)$ – количество i -х образцов ВВСТ в конце программного периода без осуществления программных мероприятий;

$\frac{S^{\text{выд}} \cdot a_{li}^{\text{рем}}}{C_i^{\text{рем}}}$ – количество i -х образцов ВВСТ, на которых может быть проведен средний ремонт в течение программного периода, с учетом выделенных ассигнований на проведение среднего ремонта l -му довольствующему органу;

$\frac{S_{\text{выд}} \cdot a_{li}^{\text{кап рем}}}{C_i^{\text{кап рем}}}$ – количество i -х образцов ВВСТ, на которых может быть проведен капитальный

ремонт в течение программного периода, с учетом выделенных ассигнований на проведение капитального ремонта l -му довольствующему органу;

$\frac{S_{\text{выд}} \cdot a_{li}^{\text{кап рем с модер}}}{C_i^{\text{кап рем с модер}}}$ – количество i -х образцов ВВСТ, на которых может быть проведен капиталь-

ный ремонт с модернизацией в течение программного периода, с учетом выделенных ассигнований на проведение капитального ремонта с модернизацией l -му довольствующему органу;

$\frac{S_{\text{выд}} \cdot a_{li}^{\text{сп}}}{C_i^{\text{сп}}}$ – количество i -х образцов ВВСТ, которые могут быть серийно поставлены в течение

программного периода, с учетом выделенных ассигнований на СП l -му довольствующему органу;

$S_{\text{выд}}$ – ассигнования, выделяемые на программные мероприятия по развитию ВВСТ;

$a_{li}^{\text{рем}}$ – доля от выделенных ассигнований, предназначенная l -му довольствующему органу на средний ремонт i -го образца ВВСТ;

$a_{li}^{\text{кап рем}}$ – доля от выделенных ассигнований, предназначенная l -му довольствующему органу на капитальный ремонт i -го образца ВВСТ;

$a_{li}^{\text{кап рем с модер}}$ – доля от выделенных ассигнований, предназначенная l -му довольствующему органу на капитальный ремонт с модернизацией i -го образца ВВСТ;

$a_{li}^{\text{сп}}$ – доля от выделенных ассигнований, предназначенная l -му довольствующему органу на серийные поставки i -го образца ВВСТ;

$C_i^{\text{рем}}$ – стоимость проведения среднего ремонта i -го образца ВВСТ;

$C_i^{\text{кап рем}}$ – стоимость проведения капитального ремонта i -го образца ВВСТ;

$C_i^{\text{кап рем с модер}}$ – стоимость проведения капитального ремонта с модернизацией i -го образца ВВСТ;

$C_i^{\text{сп}}$ – стоимость закупки i -го образца ВВСТ.

Введем следующее обозначение:

$$a_l = \sum_{i \in I_l} (a_{li}^{\text{рем}} + a_{li}^{\text{кап рем}} + a_{li}^{\text{кап рем с модер}} + a_{li}^{\text{сп}}), \quad l = \overline{1, L}, \quad (2)$$

которое имеет смысл доли от выделенных ассигнований, предназначенной l -му довольствующему органу, L – общее число довольствующих органов.

Очевидно, что сумма всех a_l равна единице, т. е.:

$$\sum_{l=1}^L a_l = 1, \quad (3)$$

2. Количество j -х средств потенциального противника, уничтоженных в ходе ведения боевых действий, может быть определено по формуле:

$$Z_j = \sum_{i=1}^I X_i^{\text{нал}}(t^k) w_{ij} P_{ij}, \quad j = \overline{1, J}, \quad (4)$$

где P_{ij} – полная вероятность поражения j -го образца ВВТ потенциального противника i -м образцом ВВСТ;

$X_i^{\text{нал}}(t^k)$ – количество i -х образцов ВВСТ на конец программного периода;

w_{ij} – доля i -х образцов ВВСТ, применяемых против j -х образцов ВВТ потенциального противника;

J – количество образцов ВВТ потенциального противника;

I – количество образцов ВВСТ СОН ВС РФ.

3. Очевидно, должно выполняться следующее неравенство:

$$Z_j \leq Y_j^{\text{нал}}(t^k), \quad j = \overline{1, J}, \quad (5)$$

где $Y_j^{\text{нал}}(t^k)$ – количество j -х образцов ВВТ потенциального противника.

Данное неравенство означает, что нельзя поразить больше j -х образцов ВВТ, чем есть в наличии у потенциального противника.

4. Пусть стоимость (ценность) j -го средства противника равна B_j , тогда рассматриваемая группировка СОН ВС РФ сможет нанести ущерб потенциальному противнику, равный:

$$F(w(a)) = \sum_{j=1}^J B_j \sum_{i=1}^I X_i^{\text{нал}}(t^k) w_{ij} P_{ij}. \quad (6)$$

В связи с вышеизложенным, формализованную постановку задачи обоснования рационального варианта развития системы вооружения СОН ВС РФ при заданных ограничениях можно представить в следующем виде:

$$\Phi(w(a)) = \max_w \sum_{j=1}^J \left(B_j Z_j - \sum_{i=1}^I X_i^{\text{нал}}(t^k) w_{ij} \zeta_i^{\text{СП}} \right), \quad (7)$$

где $\Phi(w(a))$ – целевая функция;

Z_j – количество j -х средств потенциального противника, которое может быть уничтожено нашей группировкой с учетом полных вероятностей поражения j -х образцов ВВТ потенциального противника i -ми образцами ВВСТ;

$X_i^{\text{нал}}(t^k)$ – количество i -х образцов ВВСТ в конце программного периода;

w_{ij} – доля i -х образцов ВВСТ, применяемых против j -х образцов ВВТ потенциального противника;

$\zeta_i^{\text{СП}}$ – стоимость серийной поставки одного i -го образца ВВСТ.

Задача заключается в максимизации целевой функции (7) при основных ограничениях по финансированию на проведение программных мероприятий (на серийные закупки ВВСТ, на проведение среднего, капитального и капитального с модернизацией ремонтов), штатной потребности группировки СОН и возможностям предприятий ОПК.

Для решения задачи оптимизации развития системы вооружения СОН ВС РФ авторами статьи предлагается использовать численный алгоритм, описываемый ниже.

Численный алгоритм обоснования рационального развития системы вооружения СОН ВС РФ

В качестве критерия, на основании которого будет проводиться оптимальное распределение средств, выделенных на развитие системы вооружения СОН, выбрана разность между ущербом, нанесенном противнику, и стоимостью затраченных ВВСТ СОН (7) при наличии ограничений (3) и (5).

Обозначим имеющийся набор долей, на которые нужно распределить выделенную сумму, следующим образом:

$$\vec{\beta} = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_K) = (a_{11}^{\text{рем}}, a_{11}^{\text{кап.рем}}, a_{11}^{\text{кап.рем.с.модер}}, a_{11}^{\text{СП}}, \dots, a_{LI}^{\text{СП}}), \quad (8)$$

где $K = 4 \cdot L \cdot I$, а максимизируемый функционал (7) обозначим как $\Phi(\vec{\beta}) = F(\vec{w}(\vec{a}))$. Напомним, что L – количество заказывающих управлений, а I – общее количество образцов ВВСТ. Последовательность вычисления функционала представлена на рисунке 1.

Выделенная сумма S делится пропорционально коэффициентам (a_1, a_2, \dots, a_K) на суммы S_1, S_2, \dots, S_K , так что $S_i = a_i S$, по которым вычисляется состав ВВТ на момент окончания заданного

периода X_1, X_2, \dots, X_I . Далее проводится оптимальное целераспределение (вычисление коэффициентов w_{11}, \dots, w_{IJ}), в результате которого прогнозируется количество пораженных средств противника Z_1, Z_2, \dots, Z_J и вычисляется нанесенный ущерб (функционал $\Phi(\vec{\beta}) = F(w(a))$). Оптимальное распределение целей находится путем решения задачи линейного программирования.

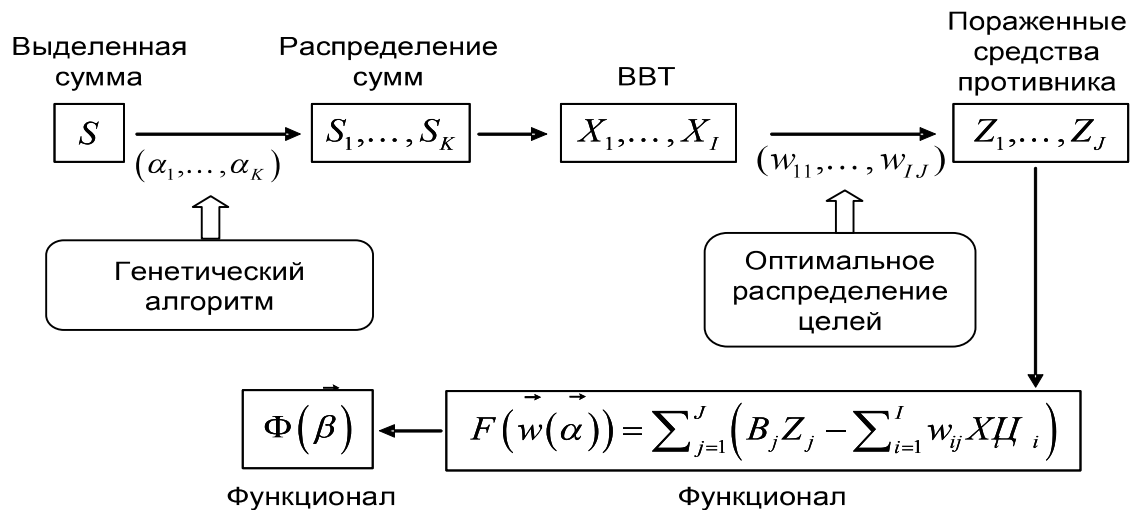


Рисунок 1 – Последовательность вычисления функционала, который нужно максимизировать

Стандартные алгоритмы нахождения экстремума (пусть, для определенности, максимума) нелинейной функции обычно устроены следующим образом. Выбирается начальное значение вектора аргументов, после чего аргументы итерационно изменяются пропорционально величинам градиентов (производных по каждому аргументу), которые показывают направление и скорость роста функции в текущей точке.

Этот процесс схематично показан на рисунке 2А. Верхний индекс у аргумента β соответствует номеру итерации, а стрелки указывают направление градиента. Итерации завершаются при достижении экстремума с заданной точностью.

Применительно к рассматриваемой задаче градиентные алгоритмы не подходят, что связано со следующими обстоятельствами:

- вычисление градиентов $\partial \Phi(\vec{\beta}) / \partial \beta_i$ в аналитической форме не представляется возможным, потому что значение Φ зависит от оптимального целераспределения, которое находится численно;
- вычисление градиентов методом численного дифференцирования требует для нахождения производной по каждому из аргументов решения задачи линейного программирования, что связано с неоправданно большими затратами вычислительных ресурсов;
- даже знание градиентов не позволит построить эффективный вычислительный процесс из-за наличия ограничений (3), поскольку изменение значения любого из аргументов a_i из-за последующей перенормировки в соответствии с (3) приводит к резкому изменению всех остальных аргументов, делая результаты предыдущих итераций практически бессмысленными;
- если функционал имеет несколько экстремумов, то процесс оптимизации закончится при нахождении ближайшего из них к начальному приближению, а глобальный экстремум может быть не достигнут (это хорошо видно из рисунка 2А, на котором вычисления заканчиваются при достижении локального максимума в точке β_3).
- Выходом из создавшегося положения может служить использование так называемых генетических алгоритмов. Генетические алгоритмы являются математической моделью процесса эволюции биологических объектов, и в их основе лежит принцип естественного отбора в при-

роде: чем лучше какие-либо особи сумели приспособиться к окружающей среде, тем большее потомство они производят. А поскольку потомки наследуют свойства родителей, то через несколько поколений наиболее важные свойства (гены), необходимые для выживания, закрепляются и передаются последующим потомкам. Этот принцип используется при построении численных методов решения нестандартных задач оптимизации, для которых либо не существует разработанных алгоритмов, либо применение известных методов не позволяет получить решение за разумное время. Впервые генетический алгоритм был предложен в 1957 году в работе [2], а первый фундаментальный труд [4] по этой теме появился в 1989 году.

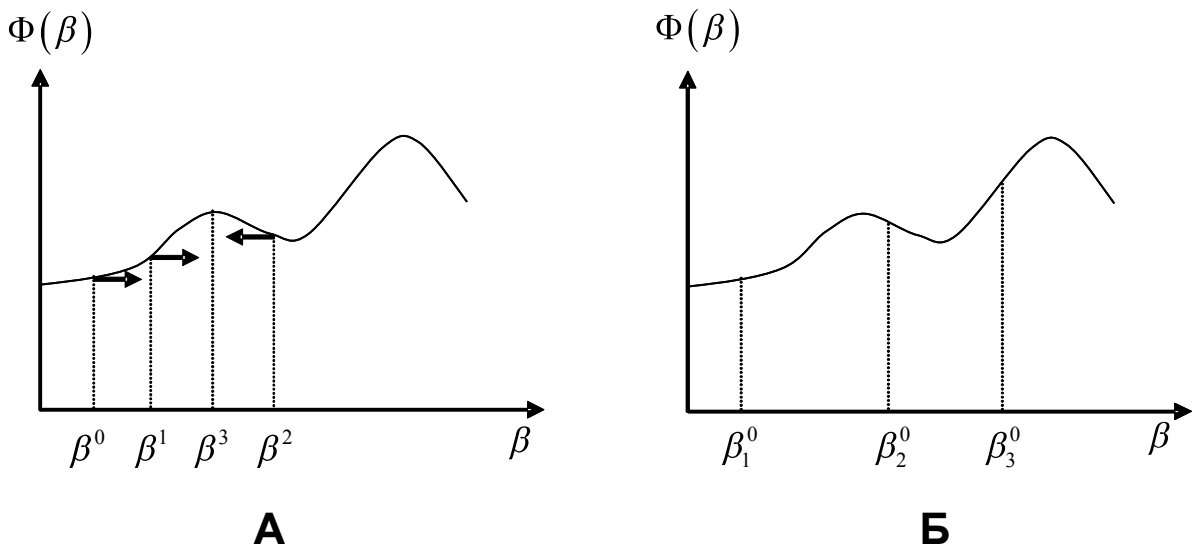


Рисунок 2 – Нахождение максимума функции

А – градиентный метод (стрелки указывают направление градиента в проекции на ось абсцисс)
Б – начальное приближение генетического алгоритма

В отличие от классических методов оптимизации, в генетических алгоритмах одновременно отыскивается не одно, а множество решений, которые по аналогии с биологией принято называть популяцией¹. Размер этого множества, т. е. число одновременно получаемых решений, называют размером популяции; будем обозначать его символом R , а саму популяцию решений – символом Ω , т. е. $\Omega = \{\vec{\beta}_1, \dots, \vec{\beta}_R\}$. Начальные значения этому множеству задаются случайным образом. На рисунке 2Б изображено начальное распределение для популяции, состоящей из трех членов. Нижний индекс соответствует номеру особи популяции, верхний – номеру приближения. Обычно размер популяции в процессе оптимизации не меняется.

Генетические алгоритмы являются итерационными. При проведении итераций свойства популяции должны улучшаться, т. е. значения функционала хотя бы для некоторых ее членов должны возрасти. Для этого существует много различных методик [4]; применительно к нашей задаче был разработан алгоритм, основанный на селекции наиболее перспективных решений. Для селекции зададим некое число G , $G < R$, и на каждой итерации будем из множества Ω выделять подмножество Ω_G , содержащее G наилучших векторов $\vec{\beta}_i \in \Omega_G$, на которых функционал $\Phi(\vec{\beta}_i)$ принимает большие значения, чем на остальных векторах из $\Omega \setminus \Omega_G$, т. е.

$$\Phi(\vec{\beta}_k) \geq \Phi(\vec{\beta}_n), \quad \vec{\beta}_k \in \Omega_G, \vec{\beta}_n \in \Omega. \quad (9)$$

¹ Популяция (мат.) – статическое множество, совокупность предметов (элементов, единиц), на которых строятся статистические выводы (Крысина Л. П. Толковый словарь иностранных слов. – М: Русский язык, 1998).

Оставшееся множество решений обозначим как $\Omega \setminus \Omega_G$, его элементы считаются неперспективными, и их значения заменяются на случайные, в то время как значения аргументов из множества Ω_G модифицируются для увеличения значений функционала, что осуществляется методом имитации отжига [3]. Имитацией отжига в информатике называется математическая модель процесса обработки металлов с помощью нагрева и постепенного охлаждения. При сильном разогреве молекулы металла совершают значительные тепловые колебания, в силу чего металл становится пластичным и легко поддается обработке. По мере охлаждения амплитуда колебаний молекул уменьшается, и они постепенно занимают равновесное положение. Для реализации этого принципа задают величину Δ окрестности для каждого аргумента $\vec{\beta}_i \in \Omega_G$, в пределах которой методом случайного поиска отыскивают новое значение аргумента, при котором функционал принимает большее значение:

$$\vec{\beta}_i^{k+1} \in [\vec{\beta}_i^k - \Delta, \vec{\beta}_i^k + \Delta]: \Phi(\vec{\beta}_i^{k+1}) \geq \Phi(\vec{\beta}_i^k). \quad (10)$$

В этой формуле верхний индекс означает номер итерации. Величина окрестности Δ с каждой итерацией уменьшается, и поиск проводится во все более узкой области, в чем и состоит принцип имитации отжига. Описанный процесс схематично отображен на рисунке 3.

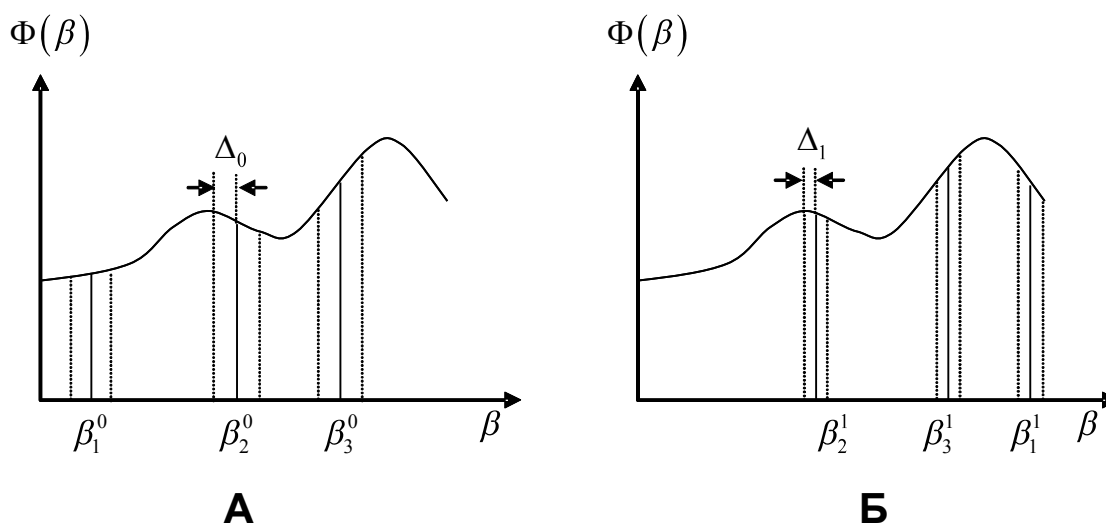


Рисунок 3 – Одна итерация генетического алгоритма

А – начальное распределение решений, Б – решения после первой итерации

На рисунке 3А показано начальное распределение для популяции, состоящей из $R=3$ решений, пунктиром показаны Δ -окрестности вокруг начальных приближений. Размер множества для селекции G выбран равным двум, и после сортировки значений функционалов по убыванию в множество Ω_G попали $\vec{\beta}_2^0$ и $\vec{\beta}_3^0$. После модификации они переместились в сторону своих максимумов ($\vec{\beta}_2^1$ и $\vec{\beta}_3^1$ на рисунке 3Б), а значение $\vec{\beta}_1^1$ было получено с помощью датчика случайных чисел. Перед выполнением второй итерации величина окрестности Δ была уменьшена ($\Delta_1 < \Delta_0$).

Разработанный алгоритм можно описать следующим образом.

1. Инициализация. Задаются размер популяции R , число G перспективных (наилучших) решений, начальная величина диапазона Δ_0 , в пределах которого проводится модификация значений аргументов, число итераций I_{max} , а также из основных ограничений по финансированию на проведение программных мероприятий, штатной потребности группировки СОН и возможностям предприятий ОПК вычисляются величины предельных значений компонентов вектора $\vec{\beta}$, которые обозначим $\vec{\beta}^{min}$ и $\vec{\beta}^{max}$. Счетчику числа итераций присваивается значение $k=0$.

2. Начальная популяция решений. Случайным образом проводится инициализация множества $\Omega = \{\vec{\beta}_1, \dots, \vec{\beta}_R\}$.

3. Проводится нормировка каждого вектора $\vec{\beta}_i, i=1, \dots, R$ для удовлетворения ограничений (14).

4. Для всех членов множества $\Omega = \{\vec{\beta}_1, \dots, \vec{\beta}_R\}$ по формуле (7) вычисляются значения функционалов $\{\Phi_1, \dots, \Phi_R\}$.

5. Проводится сортировка полученных значений функционалов по убыванию, по результатам которой формируется множество Ω_G , состоящее из тех векторов $\vec{\beta}_i$, на которых были достигнуты G наибольших значений функционала $\Phi(\vec{\beta}_i)$.

6. Значения компонент векторов из множества Ω_G изменяются в пределах $\pm \Delta_k$ от прежней величины β_i^k . Для этого с помощью датчика случайных чисел разыгрывается значение в диапазоне $\beta_i^k \in [\beta_i^k - \Delta, \beta_i^k + \Delta_k]$.

7. Оставшиеся $R-G$ членов множества $\Omega \setminus \Omega_G$ инициализируются случайным образом.

8. Проводится сокращение величины диапазона подстройки векторов, Δ_k полагаем равным Δ_{k-1}/k , где k – номер итерации.

9. Увеличивается счетчик числа итераций: k полагаем равным $k+1$.

10. Если $k < I_{max}$, то переход к следующей итерации (к пункту 3).

В качестве итогового результата выбирается тот набор аргументов $\vec{\beta}_i$, на котором функционал $\Phi(\vec{\beta}_i)$ достиг наибольшего значения.

Как инициализация, так и модификация векторов аргументов $\vec{\beta}_i$ затруднена наличием ограничений и условием, что сумма всех его компонент равна единице, т. е. $\sum_{k=1}^K a_k = 1$. Для удовлетворения всем этим условиям на каждой итерации предлагается следующий алгоритм перенормировки.

1. При инициализации начальные значения переменным a_k задаются с помощью датчика случайных чисел в диапазоне $a_k \in [0, 1]$, а при модификации изменяются, как описано в п. 6 предыдущего алгоритма.

2. Все компоненты нормируются следующим образом:

$$a_k \text{ полагаем равным } \frac{a_k}{\sum_{k=1}^K a_k}, \quad (11)$$

что гарантирует выполнение условий $\sum_{k=1}^K a_k = 1$.

3. Если все a_k принадлежат диапазону от a_k^{min} до a_k^{max} , то корректировка закончена.

4. Проводится изменение значений коэффициентов, выходящих за пределы двусторонних ограничений:

если $a_k < a_k^{min}$, то a_k полагаем равным a_k^{min} ;

если $a_k > a_k^{max}$, то a_k полагаем равным a_k^{max} .

5. Значения компонент, которые были изменены на предыдущем шаге, фиксируются, а остальные еще раз нормируются по формуле (11) таким образом, чтобы после нормировки и $\sum_{k=1}^K a_k = 1$, после чего проводится возврат к пункту 3.

Алгоритм вычисления минимального значения ассигнований для нанесения противнику заданного ущерба

Может возникнуть естественный вопрос: каково минимальное значение суммы S , которая потребуется для нанесения противнику заданного ущерба Z_0 , т. е. при котором величина $Z = Z_0 - \sum_{j=1}^J Z_j$, имеющая смысл числа оставшихся средств противника, станет равной нулю. Здесь значения Z_j определяются по формуле (4). Поскольку выше описан алгоритм, посредством которого можно вычислить общее число уничтоженных средств как функцию от вложенной суммы S , то для нахождения минимальной суммы можно использовать метод хорд, который заключается в следующем. Рассмотрим рисунок 4, который поясняет следующий алгоритм.

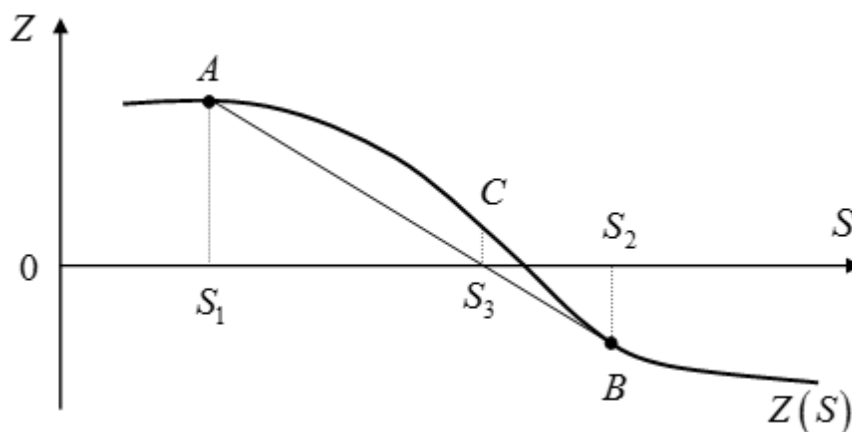


Рисунок 4 – Суммарное число оставшихся средств противника как функция вложенной суммы S

Алгоритм

1. Инициализация.
2. Назначим значения для требуемой точности δ .
3. Выберем два различных значения сумм S_1 и S_2 , и вычислим для них величины $A = Z(S_1)$ и $B = Z(S_2)$.
4. Соединим точки A и B прямой $Z = aS + b$. Найдем точку S_3 пересечения данной прямой с осью OZ :

$$S_3 = \frac{AS_2 - BS_1}{A - B}, \quad (12)$$

и вычислим в ней значение функции $C = Z(S_3)$.

5. Если $C > 0$, то назначим $B = S$, $S_2 = S_3$, иначе назначим $A = C$, $S_1 = S_3$.
6. Проверка условия останова: если $Z \geq 0$ и $Z < \delta$, то завершаем поиск, иначе вернуться к пункту 2.

Выводы по статье

Представленный в статье научно-методический подход обоснования рационального развития системы вооружения с использованием численного (генетического) алгоритма позволит:

обосновать рациональный (качественный и количественный) состав образцов ВВСТ СОН ВС РФ, противостоящих потенциальному противнику, способных нанести максимальный ущерб при заданных ограничениях по финансированию программных мероприятий;

обосновать рациональное соотношение ассигнований, выделяемых довольствующим органам на серийные закупки, проведение среднего, капитального и капитального с модернизацией ремонтов образцов ВВСТ при заданном ограничении по финансированию, которые удовлетворяли бы ограничениям по штатной потребности группировки СОН и возможностям предприятий ОПК; значительно сократить время нахождения требуемого результата; минимизировать риски нахождения неправильного результата, так как применение численного (генетического) алгоритма позволяет находить глобальный экстремум функции.

Список использованных источников

1. Буренок В.М., Погребняк Р.Н., Скотников А.П. Методология обоснования перспектив развития средств вооруженной борьбы общего назначения. – М.: Машиностроение. – 2010. – 368 с.
2. Barricelli N. Symbiogenetic evolution processes realized by artificial methods // *Methodos*. – 1957. – P. 143-182.
3. Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей. – М.: Издательский дом Вильямс, 2003. – 288 с.
4. Goldberg, D.E. Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning // Addison-Wesley. – 1989. – 412 p.