

ОСОБЕННОСТИ ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ЦЕЛЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИСТРЕБИТЕЛЕЙ В АСУ

Халимов Наиль Ринатович,
г. Воронеж, Россия, nike@nm.ru

Анищенко Алексей Игорьевич,
г. Воронеж, Россия, krasnyhpartizanf@gmail.com

Аннотация. При отражении массированных ракетно-авиационных ударов (МРАУ) для рационального решения задачи целераспределения истребителей и других средств противовоздушной обороны в автоматизированной системе управления требуется учитывать важность объектов обороны. Для этого удобнее всего рассчитать показатели, которые отражают количественную характеристику полезности объектов при ведении боевых действий. Такие показатели будем называть коэффициентами важности объектов обороны и обозначать Cg . Для решения задачи нахождения коэффициентов Cg целесообразно привлечь экспертов и воспользоваться одним из методов теории принятия решения. В нашем случае для определения коэффициентов Cg предлагается использовать метод анализа иерархий (МАИ), так как он обладает удобной структурой необходимой для работы (разбиение задачи по уровням) и имеет средства контроля суждений экспертов, такие как индекс согласованности (ИС) и отношение согласованности (ОС).

Сущность нахождения Cg , используя МАИ заключается в упорядочивании сравниваемых объектов по степени предпочтительности по определенным признакам влияющих на достижение стратегической цели – минимизации ущерба объектам обороны. В качестве таких признаков было предложено использовать степень участия объекта обороны непосредственно в боевых действиях (БД), в обеспечении БД и управлении БД. На основе анализа последних локальных войн и конфликтов определили, что целями действия при МРАУ являются девять групп объектов: радиолокационные посты, зенитно-ракетные комплексы, аэродромы, склады, наземные пункты управления, системы РЭБ, районы сосредоточения вооружения и военной техники, крупные предприятия, важные транспортные узлы.

Согласно вышеизложенному была разработана программная модель расчёта коэффициентов Cg , однако на практике при оценке экспертами таблиц попарных сравнений ИС и ОС были выше допустимых из-за несогласованности данных. Поэтому был разработан и добавлен в программу алгоритм выявления несогласованных оценок, что облегчило работу экспертов и повысило качество работы всей программы.

Таким образом, в статье рассмотрены теоретические положения и программная реализация МАИ для определения важности объектов обороны при отражения МРАУ, и алгоритм выявления несогласованных оценок экспертов, позволяющий оперативно скорректировать оценки и улучшить качество работы всей программы.

Ключевые слова: массированный ракетно-авиационный удар; метод анализа иерархий; важность объектов обороны; целераспределение.

Сведения об авторах: Халимов Н.Р., к.т.н., доцент, докторант Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»; Анищенко А.И., оператор научной роты Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина».

Для эффективного решения боевых задач по противодействию средствам воздушного нападения противника применяется зональный принцип размещения сил и средств ПВО. При этом истребительная авиация ПВО осуществляет перехват СВН, как правило, на дальних рубежах и не входит в зоны ответственности наземных ЗРК. Эффективность группового воздушного боя истребителей во многом определяется качеством организации их действий. Под групповыми действиями понимаются скоорди-

нированные действия пары и более истребителей (групп истребителей) против одной или нескольких целей (групп целей). Групповые действия характеризуются [1]:

- общими замыслом и боевыми порядками для группы истребителей (групп истребителей);
- организацией траекторного, информационного, огневого и помехового взаимодействий между истребителями группы (группами истребителей);
- управлением действиями истребителей группы (групп истребителей) с наземных (воздушных) пунктов управления и с борта ведущего (командира групп).

Наиболее сложными задачами при организации групповых действий являются:

- отождествление целей;
- выбор целей для атаки;
- целераспределение;
- выбор способа атаки.

При этом требуется, чтобы эти задачи решались оптимальным образом, что позволит наиболее полно реализовать потенциальные возможности группы истребителей и других средств ПВО.

При отражении МАРУ в качестве показателя эффективности решения задачи целераспределения истребителей, находящихся в резерве или на дальних рубежах, следует считать предотвращенный ущерб объектам обороны [2]

$$F_{ny} = \sum_{r=1}^R C_r \left(\sum_{j=1}^N C_{jr} P_{jr}^{3П} P_{jr}^{ПОР} - \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M C_{jr} P_{jr}^{3П} P_{jr}^{ПОР} P_{ij}^{HAB} P_{ij}^{БЗ} x_{ij} \right), \quad (1)$$

C_r - важность r -го отдельного объекта обороны; $r \in \overline{1, R}$ - номера отдельных объектов;

C_{jr} - степень опасности j -той цели для r -го объекта;

$P_{jr}^{3П}$ - вероятность входа j -ой цели в зону пуска ракет по r -му объекту обороны;

$P_{jr}^{ПОР}$ - вероятность поражения j -ой целью r -го объекта обороны;

P_{ij}^{HAB} - вероятность успешного вывода i -го истребителя на заданный рубеж атаки j -й цели;

$P_{ij}^{БЗ}$ - вероятность выполнения боевой задачи i -м истребителем по j -й цели;

N - количество целей;

M - количество истребителей;

x_{ij} - параметр управления, характеризующий закрепление j -й цели за i -м истребителем $\{0,1\}$.

Математическая модель данного показателя качества управления (ПКУ)

$$F_{ny}^* = opt \left(\{N\} \cup \{M\}, x_{ij} \right) = \max_{W_{БД}^* \in \{W_{БД}\}} F_{ny} (W_{БД}^*), \quad (2)$$

где F_{ny}^* - ПКУ в виде предотвращенного ущерба объекту обороны; $\{N\}$ и $\{M\}$ - множество целей и истребителей соответственно; F_{ny} - функция предотвращения ущерба; $W_{БД}^*$ - наилучший вариант развития БД; $W_{БД}$ - множество вариантов развития БД.

Как следует из (1) для решения комплексной задачи целераспределения, необходимым условием является знание коэффициентов важности объектов обороны C_r . Эти коэффициенты содержат количественную характеристику "полезности" объектов при ведении боевых действий (БД). Для решения задачи нахождения коэффициентов C_r целесообразно привлечь экспертов и воспользоваться одним из методов теории принятия решения. Основными инструментами теории принятия решений являются следующие методы [3]: метод смещенного идеала, метод перестановок, метод анализа иерархий, аналитико-сетевой процесс и методы, основанные на нечеткой логике. Для определения коэффициентов C_r

предлагается использовать метод анализа иерархий, так как он обладает удобной структурой необходимой для работы (разбиение задачи по уровням) и позволяющий проконтролировать суждения экспертов по рассчитываемым параметрам: индексу согласованности (ИС) и отношению согласованности (ОС) [4,5].

Согласно МАИ, процедура нахождения коэффициентов важности объектов обороны C_r состоит из следующих этапов:

- на основании глобальной цели, критериев и рассматриваемых объектов обороны составляется иерархическая модель;
- привлекаемые эксперты заполняют матрицы попарных предпочтений по выбранной шкале сравнения;
- производится расчёт веса объектов как результат измерения их в шкале отношений в диапазоне [0,1].
- по результатам расчета находится индекс согласованности (ИС) и отношением согласованности (ОС).

Разработка иерархии начинается с определения стратегической цели – верхний уровень иерархии. В нашем случае главная цель – нахождение коэффициентов важности объектов обороны для расчета предотвращенного ущерба (1). Следующим шагом требуется определить решающие правила (критерии) по которым оценивается важность объектов. В качестве таких критериев предлагается использовать степень участия объекта обороны в непосредственно боевых действиях, обеспечении БД и управлении БД. Анализ объектов поражения при МРАУ в последних локальных войнах показал, что основными целями являются:

1. Радиолокационные посты.
2. ЗРК (ЗА) ПВО.
3. Аэродромы.
4. Склады ГСМ и НЗ.
5. Наземные ПУ и наведения.
6. Средства РЭБ.
7. Районы сосредоточения ВВТ.
8. Предприятия (склады) из состава ОПК.
9. Крупные транспортные узлы.

Таким образом, иерархическая структура имеет вид, представленный на рис. 1.

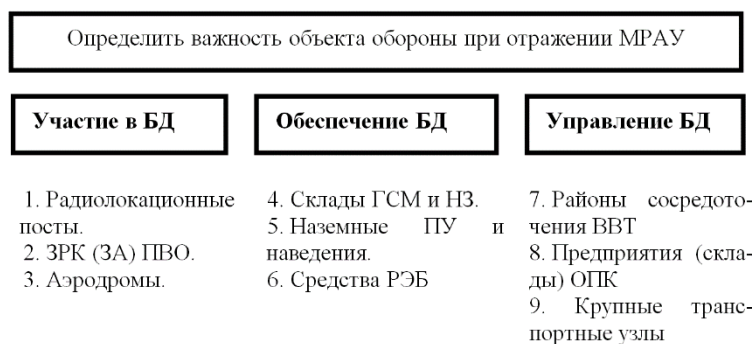


Рис. 1. Иерархия объектов обороны

Так как количество объектов упорядочивания равно девяти, то целесообразным является использование метода стандартов анализа иерархий (АИ) для построения парных матриц сравнений. Это существенно упрощает дальнейшее использование системы, так как при введении нового объекта нет необходимости перестраивать всю матрицу парных сравнений, а нужно только сравнить альтернативу с известным стандартом.

На основании разработанной иерархии была создана программная модель на языке Java, главное окно программы показано на рис. 2.

В основе метода анализа иерархий лежит работа с матрицами парных сравнений. Для реализации этого метода, необходимо привлечь экспертов для составления матриц парных сравнений. Эксперт, оценивая объекты (альтернативы), может проводить оценку с погрешностью, причем, чем больше ко-

личество ранжированных объектов, тем больше вероятность появления ошибок. В результате при заполнении матриц парных сравнений экспертами возникает проблема не согласованности данных.

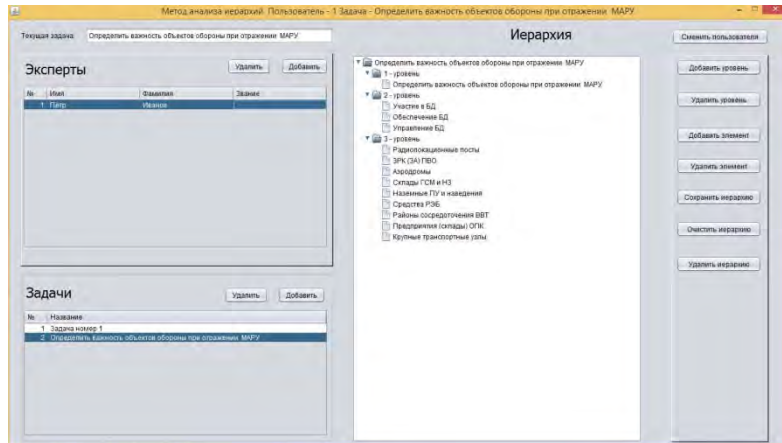


Рис. 2. Главное окно программы

В связи с вышеизложенным целесообразно после заполнения экспертом матриц попарных сравнений вычислять ИС и ОС и сравнивать их с допустимым порогом – (10-15) %. Если ИС и ОС меньше порога, то считаем матрицу согласованной, в противном случае нет.

Для того чтобы выявить наиболее рассогласованные оценки предлагается следующий способ. Эксперт выбирает опорную строку, которая на его взгляд наиболее корректно заполнена, по которой составляется идеальная матрица оценок. Затем последовательно вычисляются нормированные разницы элементов исходной A и идеальной матриц B

$$\Delta_{ij} = \frac{|b_{ij} - a_{ij}|}{b_{ij}}. \quad (3)$$

Несогласованными будут считаться те элементы, для которых разность будет

$$\Delta_{ij} \geq (0,15 \dots 0,2). \quad (4)$$

Пример

Дана матрица парных сравнений A размером $I \times J$. В качестве эталонной строки возьмем, например, 2-ую строку матрицы ($index=2$) рис. 3.

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1J} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2J} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{I1} & a_{I2} & \dots & a_{IJ} \end{bmatrix} \text{index} = 2$$

Рис. 3. Матрица парных сравнений

Затем по выбранной строке составляем идеальную матрицу B парных сравнений, по правилу

$$B_{ij} = \frac{A_{index,j}}{A_{index,i}} B_{ij} = \frac{A_{index,j}}{A_{index,i}}. \quad (5)$$

После заполнения матрицы B (5) находятся нормированные разницы Δ_{ij} (3) и по правилу (4) выявляются несогласованные оценки. Эксперту предлагается их скорректировать, для уменьшения коэффициентов ИС и ОС и достижения лучшего результата.

Окно программы после проверки одной из матриц попарных сравнений приведено на рис. 4.

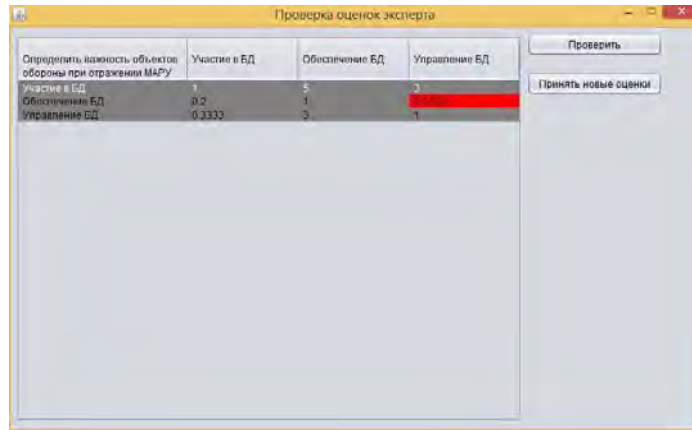


Рис. 4. Окно программы проверки оценок экспертом

Блок-схема алгоритма нахождения несогласованных оценок приведена на рис. 5.

Таким образом, в статье была решена задача нахождения коэффициентов важности объектов обороны, прикрываемых истребителями от МРАУ, используя метод МАИ, и разработан программный алгоритм выявления несогласованных оценок экспертов, для улучшения качества работы всей программы.

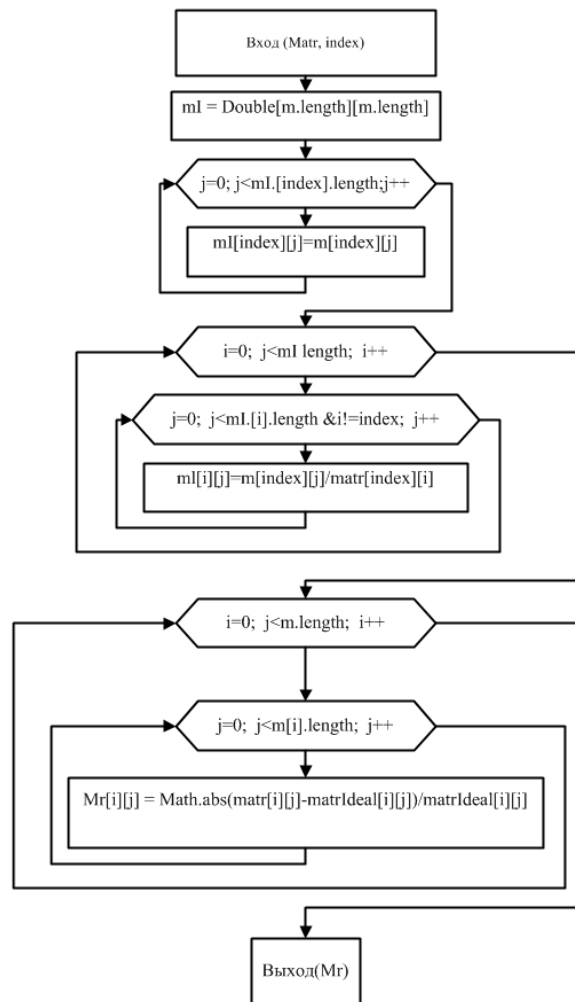


Рис. 5. Блок-схема алгоритма нахождения несогласованных оценок

В результате была разработана экспертная система определения коэффициентов важности объектов обороны при отражении МРАУ, которая учитывает взаимодействие между уровнями иерархий, легко расширяется за счет метода стандартов и позволяет экспертам избежать несогласованных оценок при составлении матриц попарных сравнений.

Литература

1. Федосова Е.А. Авиация ПВО России и научно-технический прогресс: боевые комплексы и системы вчера, сегодня, завтра. М.: Дрофа, 2004. 816 с.
2. Халимов Н.Р. Задача многофакторного целераспределения истребителей при отражении массированного налета противника. Вторая всероссийская научно-техническая конференция Навигация, наведение и управление летательными аппаратами. Тезисы докладов. М.: ООО «Научтехлитиздат», 2015, 308 с.
3. Джарратано Д., Райли Г. Экспертные системы: принципы разработки и программирование. М.: Вильямс, 2006. 1152 с.
4. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.
5. Саати Т.Л. Целочисленные методы оптимизации и связанные с ними экстремальные проблемы. М.: Мир, 1973. 302 с.
6. Саати Т.Л. Об измерении неосязаемого. Подход к относительным измерениям на основе главного собственного вектора матрицы парных сравнений // Журнал "Cloud Of Science". 2015. Т. 2. № 1. с. 5-39.

ESPECIALLY SOFTWARE ALGORITHMIC SUPPORT FOR SOLVING TARGET ALLOCATION FIGHTERS IN AUTOMATIC CONTROL SYSTEM

Khalimov Nail' Rinatovich,
Voronezh, Russia, nike@nm.ru

Anishenko Alexey Igorevich,
Voronezh, Russia, krasnyhpartizanf@gmail.com

Abstract. Upon reflection of the massive missile and air strikes (MMAS) for solving the problem of a rational target allocation fighters and other means of defense in the automated control system is required to take into account the importance of the defense objects. To do this, it's best to calculate indicators that reflect the quantitative characteristic of utility facilities during combat operations. These figures will be called coefficients of the importance of defense and the objects denoted by C_r . To solve the problem of finding the coefficients C_r advisable to attract experts and use one of the methods of the theory of decision-making. In our case, to determine the coefficients, patients C_r offered to use the analytic hierarchy process (AHP), as it has a convenient structure required to operate (a partition of the problem through the levels) and has controls judgments of experts, such as the index consistency (IC) and the ratio consistency (RC).

The essence of finding C_r using AHP is to streamline the objects being compared by the degree of preference for certain characteristics affecting the achievement of the strategic goal - to minimize damage to the objects of defense. As these symptoms were asked to use the degree of participation of the Defense object directly in combat operations (CO), to ensure the management of the CO and the control of the CO. Based on an analysis of recent local wars and conflicts have determined that the objectives of the action when MMAS are nine groups include radar posts, air defense systems, airports, big warehouses, ground control systems, electronic warfare, concentration areas of armament and military equipment, large enterprises important transport hubs.

According to the above program model was developed for calculating the coefficients of C_r , however, in practice, in assessing the expert tables pairwise comparisons IC and RS were higher than permissible due to data inconsistencies. Therefore, it was developed and added to the program detection algorithm inconsistent evaluations that facilitate the work of experts, and improve the quality of the program.

Thus, the article deals with the theoretical position and program implementation of the analytic hierarchy process to determine the importance of the objects in the reflection MMAS defense and detection algorithm inconsistent estimates of experts, which allows to adjust quickly assess and improve the quality of the program.

Keywords: massive missile and air strikes; the analytic hierarchy process; the importance of the defense objects; target allocation

References

1. Fedosov E.A. Aviazia PVO Rossii i nauchno-technicheskiy progress: boevye komplekxy i sistemy vchera, segodnya, zavtra [Air Defense of Russia, scientific and technological progress: military complexes and systems of yesterday, today and tomorrow]. Moscow: Drofa, 2004. 816 p. (In Russian).
2. Khalimov N.R. (2015), "Task of multivariate target allocation fighters in repelling massive raid enemy". Proc. of the All-Russian scientific conference "Navigation, guidance and control aircraft", Moscow, 2015, pp. 29-30. (In Russian).
3. Giarratano, J., Riley G. (2006), *Expertnye sistemy: prinzipty razrabotki i programirovanie* [Expert Systems: Principles and Programming], № 4, Translated by Ptizyn, K.A., Williams, Moscow, Russia. (In Russian).
4. Saaty, T.L. (1993), *Priniatie resheniy: metod analiza ierarchiy* [Decision making with the analytic hierarchy process], Translated by Vachnadze, R.G., Radio i svaz, Moscow, Russia. (In Russian).
5. Saaty, T.L. (1973), *Zelochislenye metody optimizaziy i svazanye s nimi ekstremalnye problemy* [Optimization in integers and related extremal problems], Translated by Veselov, V.N., Radio i svaz, Moscow, Russia. (In Russian).
6. Saaty, T.L. (2015), "On the Measurement of Intangibles. A Principal Eigenvector Approach to Relative Measurement Derived from Paired Comparisons", *Pain [Electronic]*, vol. 2, no. 1, pp.5-39, available at: https://cloudofscience.ru/sites/default/files/pdf/CoS_2_1.pdf (accessed 10 October 2015). (In Russian).

Information about authors:

Khalimov N.R., Ph.D. in Engineering Sciences, doctoral student, Military educational and scientific center of the Air Forces «Military–air academy of N.E. Zhukovsky and JU.A. Gagarin»;
Anishenko A.I., operator of a scientific company, Military educational and scientific center of the Air Forces «Military–air academy of N.E. Zhukovsky and JU.A. Gagarin».