

УДК: 623.094

DOI: 10.53816/20753608_2021_3_3

**МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ПОРАЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМ ВООРУЖЕНИЯ**

**METHODOLOGICAL APPROACH TO THE COMPARATIVE ASSESSMENT
OF THE EFFICIENCY OF DAMAGE TO SPACE VEHICLES
USING WEAPONS SYSTEMS**

А.С. Гусева, чл.-корр. РАРАН Р.А. Дурнев, Е.В. Свиридок

РАРАН

A.S. Guseva, R.D. Durnev, E.V. Sviridok

В статье предложен методический подход к сравнительной оценке эффективности поражения систем вооружения (СВ) спутников связи и разведки, основанный на применении метода анализа иерархий (МАИ). МАИ позволит при дефиците информации по характеристикам создаваемой СВ и планируемых к поражению объектов оценить ущерб, наносимый противнику при поражении космических аппаратов (КА), и затраты на использование СВ для поражения КА.

Ключевые слова: космические аппараты, эффективность поражения, поражающие факторы, ущерб, затраты на поражающие воздействия.

The article proposes a methodological approach to the comparative evaluation of the effectiveness of destroying weapons systems (WS) of communications and reconnaissance satellites, based on the use of the hierarchy analysis method (HAM). With a lack of information on the characteristics of the created WS and objects planned to be hit, the HAM will allow us to assess the damage inflicted on the enemy when spacecraft (SC) are hit, and the costs of using WS to destroy the spacecraft.

Keywords: space vehicles, damage efficiency, damaging factors, damage, damage costs.

Часто возникают задачи оценки эффективности планируемых к созданию систем вооружения для поражения объектов, информация о которых является дефицитной (например, КА различного предназначения). Для таких задач применение строго формальных методов в принципе затруднено [1–4], поэтому единственно возможным является использование методов, оперирующих со знаниями экспертов, одним из которых является метод анализа иерархий [5–7].

Рассмотрим в качестве гипотетического примера, задачу сравнительной оценки эффективности поражения СВ спутников связи и разведки.

Указанная эффективность может оцениваться с использованием показателей ущерба, наносимого противнику при поражении КА, и затрат на использование СВ для поражения КА.

Значения показателей ущерба противника от поражения КА и затраты на использование СВ для поражения КА определяются экспертным путем с учетом:

– мирного (повседневной деятельности, повышенной готовности и др., когда может планироваться скрытное применение СВ) и военного (отражения агрессии и др.) периодов применения СВ;

– признаков, по которым сравниваются КА с точки зрения наносимого им ущерба и затрат на применение СВ.

Дополнительно могут рассматриваться места базирования СВ — наземное, космическое, воздушное.

В качестве признаков для сравнения КА, с точки зрения наносимого ущерба, могут рассматриваться [8–10]:

– количество КА в орбитальной группировке;
– одновременность попадания КА в поле поражающих факторов (рис. 1);

– требуемая избыточность (задублированность) КА. Например, для поддержания устойчивой связи с учетом относительно невысокой стоимости и ресурса необходимо избыточное количество спутников связи;

– целевое предназначение КА (основные периоды применения). Для спутников связи это мирный и военный периоды, для разведки — в основном военный период (применение спутников разведки в мирный период позволяет осуществлять сбор информации, применяемой, как правило, в военное время);

– области ущерба. Для спутников связи — это нарушения системы управления, для спутников разведки — нарушения системы обеспечения разведывательной информацией;

– инерционность реализации ущерба. Для спутников связи ущерб проявляется сразу, для спутников разведки их поражение компенсируется заблаговременно полученной информацией о размещении стационарных объектов и, частично, мобильных (например, в местах базирования, дислокации);

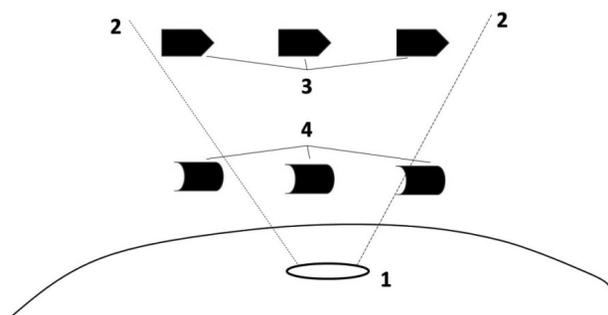


Рис. 1. Соотношение КА, попадающих в поле поражающих факторов СВ:

1 — СВ, 2 — границы поля поражающих факторов;
3 — высокоорбитальные спутники разведки;
4 — низкоорбитальные спутники связи

– взаимозависимость друг от друга — разведка, в принципе, зависит от системы связи и передачи данных, в том числе с использованием спутников связи. Связь обладает большей автономностью и в меньшей степени зависит (практически не зависит) от разведки;

– время обнаружения поражения. С учетом избыточности возможно перераспределение нагрузки на спутники связи, в этой связи время обнаружения их поражения может иметь большие значения, чем для спутников разведки;

– затраты на создание и применение КА. Как правило, указанные затраты для спутников разведки превосходят аналогичный показатель для спутников связи и другие.

Предварительно, в качестве признаков для сравнения КА с точки зрения затрат на использование СВ для поражения КА рассматриваются [8–10]:

– функциональные затраты на реализацию поражающего воздействия (зависящие от характера поражающих факторов (ПФ), количества используемого персонала, дополнительного оборудования и т.п.);

– временные затраты на реализацию поражающего воздействия, которые могут не коррелировать с функциональными затратами;

– затраты на поражающее воздействие с учетом живучести КА. Указанная живучесть определяется качеством объектов микроэлектроники, используемых в КА. Очевидно, что для спутников разведки данное качество объектов (класса military) выше, чем у спутников связи (в основном, класса industrial);

– затраты на обнаружение КА. Обнаружение спутников разведки, проводимое, как правило, скрытно, в большей степени затруднено, чем обнаружение спутников связи, реализуемой в открытом режиме;

– затраты на обеспечение скрытности воздействия СВ на КА. Разница в данных затратах для рассматриваемых видов КА будет обусловлена тем, что разведывательные действия будут распространяться и на СВ, в связи с чем обеспечение скрытного воздействия будет крайне затруднено;

– затраты на предупреждение и ликвидацию побочного эффекта по возможному поражению собственных КА. Указанные затраты будут связаны как с установлением рациональных периодов применения СВ, так и с повы-

шением устойчивости системы КА, восстановлением или заменой отдельных её элементов и другие.

Для признаков, по которым сравниваются КА с точки зрения наносимого им ущерба и затрат на применение СВ, эксперты оценивают интенсивности их проявления применительно к спутникам связи и разведки.

Укрупненный алгоритм методического подхода включает следующие этапы:

а) построение иерархических схем взаимосвязи признаков, по которым сравниваются КА с точки зрения наносимого им ущерба и затрат на применение СВ;

б) составление опросных таблиц для сравнения:

– спутников связи и разведки по отношению к указанным признакам;

– важности указанных признаков для мирного и военного периодов применения СВ;

– мирного и военного периодов применения СВ с точки зрения рассматриваемых ущерба и затрат;

в) подбор экспертов, организация опроса;

г) обработка результатов заполнения опросных таблиц, оценка непротиворечивости и согласованности результатов;

д) расчет показателей ущерба, наносимого противнику при поражении КА, и затрат на использование СВ для поражения КА;

е) оценка эффективности поражения СВ спутников связи и разведки;

ж) при необходимости уточнение признаков для сравнения, доработка опросных таблиц, проведение дополнительного опроса;

з) разработка предложений по использованию результатов оценки.

Эффективность поражения СВ спутников связи и разведки ($\mathcal{E}_{КА}$) оценивается с использованием следующего показателя:

$$\mathcal{E}_{КА} = \frac{Y}{Z}, \quad (1)$$

где Y — ущерб противника от поражения КА, безразмерная величина;

Z — затраты на использование СВ для поражения, безразмерная величина.

Иерархическая схема взаимосвязи признаков, по которым сравниваются КА с точки зрения наносимого им ущерба, представлена на рис. 2.

Иерархическая схема взаимосвязи признаков, по которым сравниваются КА с точки зрения затрат на использование СВ для поражения, представлена на рис. 3.

Попарное сравнение объектов в опросных таблицах осуществляется с использованием шкалы, приведенной в [5–7]. При этом экспертом выносится суждение о том, насколько один объект превосходит другой, по какому-либо показателю.

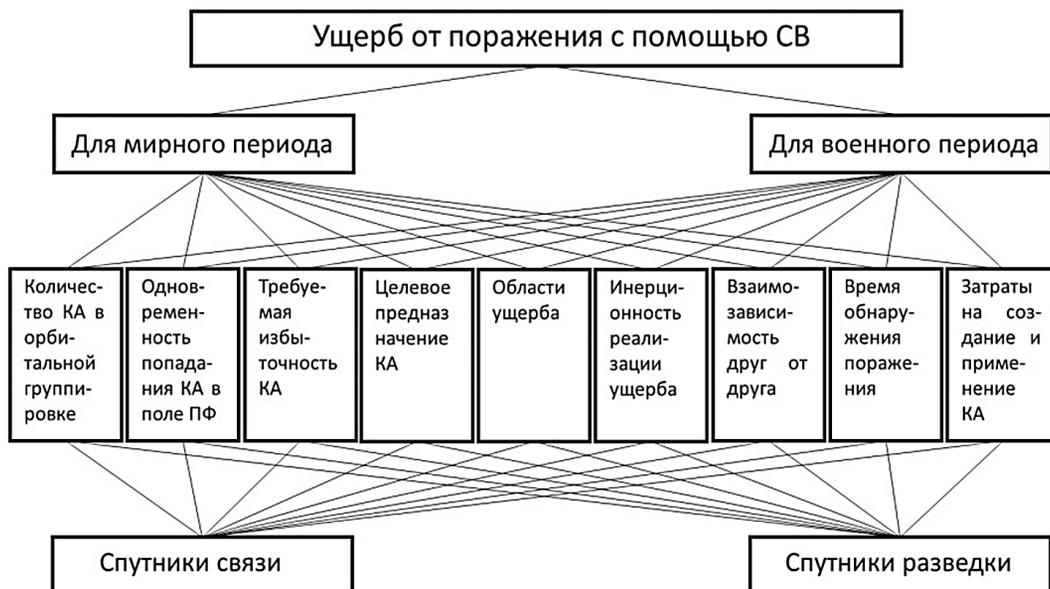


Рис. 2. Иерархическая схема взаимосвязи признаков, по которым сравниваются КА с точки зрения наносимого им ущерба

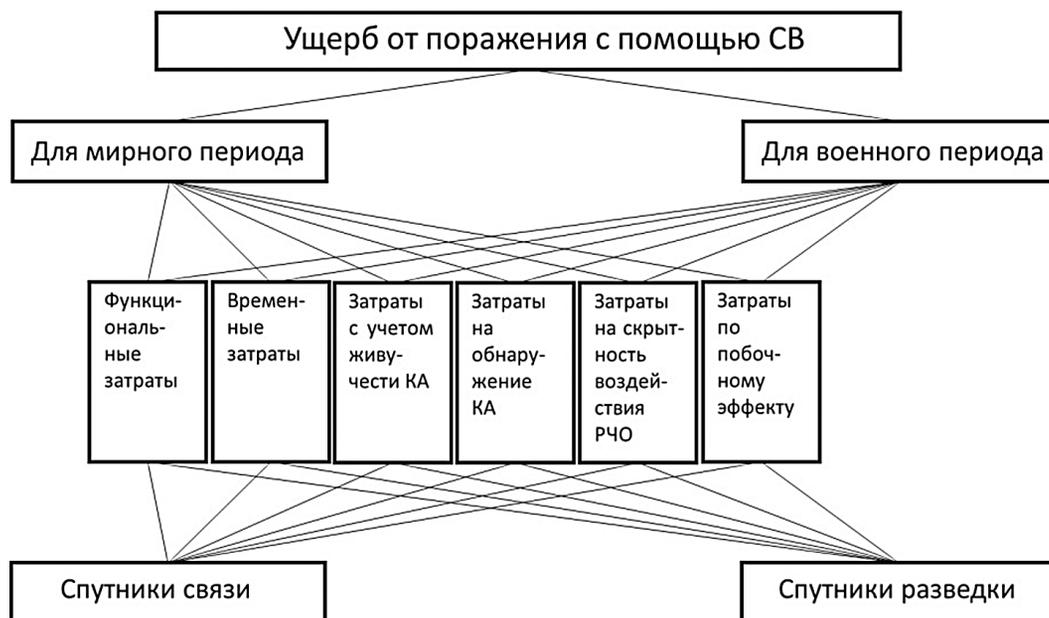


Рис. 3. Иерархическая схема взаимосвязи признаков, по которым сравниваются КА с точки зрения затрат на использование СВ для поражения КА

Обработка результатов попарных сравнений осуществляется путем нахождения вектора приоритетов (\mathbf{w}) объектов и главных собственных векторов (ГСВ) матрицы \mathbf{C} , удовлетворяющий условию:

$$\mathbf{C}\mathbf{w} = \lambda_{\max} \mathbf{w},$$

где λ_{\max} — максимальное собственное значение матрицы \mathbf{C} .

Для оценки непротиворечивости и согласованности результатов используется процедура, приведенная в [5–7].

Расчет показателей ущерба, наносимого противнику при поражении КА, и затрат на использование СВ для поражения КА определяется путем «взвешивания»:

– значимости мирного и военного периодов применения СВ с точки зрения рассматриваемых ущерба и затрат;

– важности указанных признаков для мирного и военного периодов применения СВ;

– значимости спутников связи и разведки по отношению к указанным признакам.

Расчет показателей ущерба, наносимого противнику при поражении КА, и затрат на использование СВ для поражения спутников связи и разведки используется в формуле (1) для выбора приоритетных видов целей и выработки, при необходимости, предложений по использованию результатов оценки.

В табл. 1–4 представлен пример проведения расчетов для иерархических схем, приведенных

Таблица 1

Оценка значимости мирного и военного периодов применения СВ с точки зрения ущерба

С точки зрения ущерба, наносимого противнику при поражении КА	Мирный период применения СВ	Военный период применения СВ
Мирный период применения СВ	1	1/5
Военный период применения СВ	5	1

Примечание: в целях повышения согласованности (транзитивности) оценок в матрицах попарного сравнения могут заполняться только правые верхние (от главной диагонали) части матриц, в нижних левых частях матриц могут указываться их обратные величины.

Таблица 2

Оценка значимости признаков для мирного периода применения СВ

Для мирного периода	Количество КА в орбитальной группировке	Одновременность попадания КА в поле ПФ	Требуемая избыточность КА	Целевое предназначение КА	Области ущерба	Инерционность реализации ущерба	Взаимозависимость друг от друга	Время обнаружения поражения	Затраты на создание и применение КА
Количество КА в орбитальной группировке	1	1/3	1	3	5	3	7	3	5
Одновременность попадания КА в поле ПФ	3	1	1/5	1/5	1/3	3	1	3	1/3
Требуемая избыточность КА	1	5	1	1	1/3	1	1/5	3	1/3
Целевое предназначение КА	1/3	5	1	1	1	3	2	1/3	5
Области ущерба	1/4	3	3	1	1	5	3	7	3
Инерционность реализации ущерба	1/3	1/3	1	1/3	1/5	1	1/3	1	1/3
Взаимозависимость друг от друга	1/7	1	5	1/2	1/3	3	1	5	1/3
Время обнаружения поражения	1/3	1/3	1/3	3	1/7	1	1/5	1	1/3
Затраты на создание и применение КА	1/5	3	3	1/5	1/3	3	3	3	1

Таблица 3

Оценка значимости признаков для военного периода применения СВ

Для военного периода	Количество КА в орбитальной группировке	Одновременность попадания КА в поле ПФ	Требуемая избыточность КА	Целевое предназначение КА	Области ущерба	Инерционность реализации ущерба	Взаимозависимость друг от друга	Время обнаружения поражения	Затраты на создание и применение КА
Количество КА в орбитальной группировке	1	1/5	1	5	7	5	8	5	7
Одновременность попадания КА в поле ПФ	5	1	1/7	1/7	1/5	5	1	5	1/5
Требуемая избыточность КА	1	7	1	1	1/5	1	1/7	5	1/5
Целевое предназначение КА	1/5	7	1	1	1	5	3	1/5	7
Области ущерба	1/7	5	5	1	1	7	5	8	5

Продолжение таблицы 3

Оценка значимости признаков для военного периода применения СВ

Для военного периода	Количество КА в орбитальной группировке	Одновременность попадания КА в поле ПФ	Требуемая избыточность КА	Целевое предназначение КА	Области ущерба	Инерционность реализации ущерба	Взаимозависимость друг от друга	Время обнаружения поражения	Затраты на создание и применение КА
Инерционность реализации ущерба	1/5	1/5	1	1/5	1/7	1	1/5	1	1/5
Взаимозависимость друг от друга	1/8	1	7	1/3	1/5	5	1	7	1/5
Время обнаружения поражения	1/5	1/5	1/5	5	1/8	1	1/7	1	1/5
Затраты на создание и применение КА	1/7	5	5	1/7	1/5	5	5	5	1

Таблица 4

Оценка различий (превосходит — не превосходит) спутников связи и разведки с точки зрения указанных критериев

С точки зрения количества КА в орбитальной группировке	Спутники связи	Спутники разведки
Спутники связи	1	7
Спутники разведки	1/7	1
С точки зрения одновременности попадания КА в поле ПФ	Спутники связи	Спутники разведки
Спутники связи	1	1/3
Спутники разведки	3	1
С точки зрения требуемой избыточности КА	Спутники связи	Спутники разведки
Спутники связи	1	7
Спутники разведки	1/7	1
С точки зрения целевого предназначения КА	Спутники связи	Спутники разведки
Спутники связи	1	3
Спутники разведки	1/3	1
С точки зрения области ущерба	Спутники связи	Спутники разведки
Спутники связи	1	5
Спутники разведки	1/5	1
С точки зрения инерционности реализации ущерба	Спутники связи	Спутники разведки
Спутники связи	1	1/3
Спутники разведки	3	1
С точки зрения взаимозависимости друг от друга	Спутники связи	Спутники разведки
Спутники связи	1	4
Спутники разведки	1/4	1
С точки зрения времени обнаружения поражения	Спутники связи	Спутники разведки
Спутники связи	1	1/3
Спутники разведки	3	1
С точки зрения затрат на создание и применение КА	Спутники связи	Спутники разведки
Спутники связи	1	1/7
Спутники разведки	7	1

на рис. 2–3. Пример приведен применительно к одному эксперту, поэтому оценка согласованности не проводится.

ГСВ матрицы (важность, превосходство с точки зрения ущерба) для элементов, рассчитанные приближенным способом (отношение

суммы элементов в строках матрицы к сумме всех её элементов), показаны на рис. 4.

Из табл. 5–8 и рис. 4 видно, что значение ущерба противника от поражения спутников связи равна 0,64 (условных единицы, у.е.), спутников разведки — 0,36 у.е.

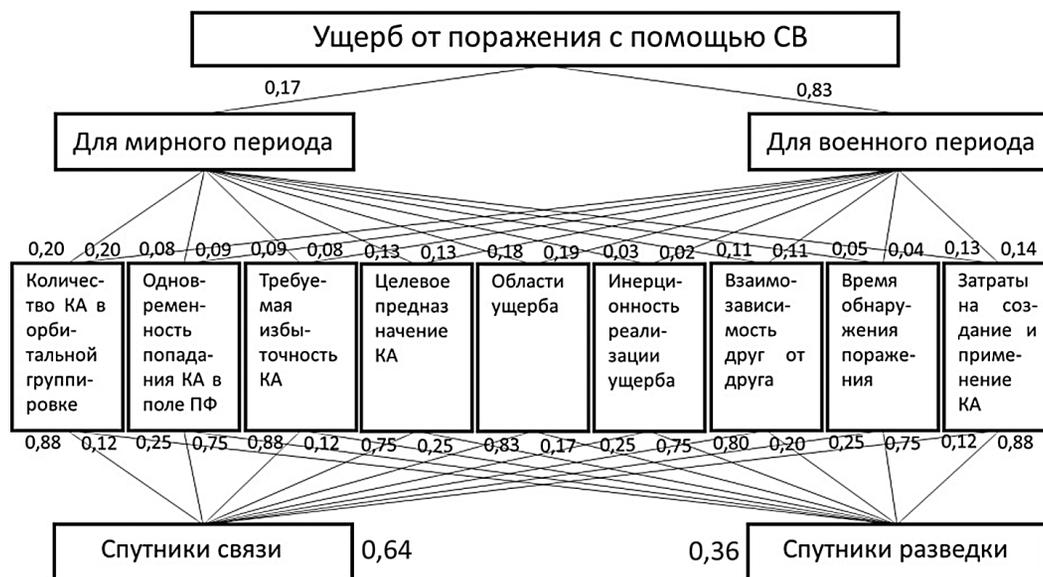


Рис. 4. Важность (превосходство) элементов иерархической схемы взаимосвязи признаков, по которым сравниваются КА с точки зрения наносимого им ущерба

Таблица 5

Оценка значимости мирного и военного периодов применения СВ с точки зрения затрат на использование СВ для поражения КА

С точки зрения затрат на использование СВ для поражения КА	Мирный период применения СВ	Военный период применения СВ
Мирный период применения СВ	1	1/7
Военный период применения СВ	7	1

Таблица 6

Оценка значимости признаков для мирного периода применения СВ

Для мирного периода	Функциональные затраты	Временные затраты	Затраты с учетом живучести КА	Затраты на обнаружение КА	Затраты на скрытность воздействия СВ	Затраты по побочному эффекту
Функциональные затраты	1	5	1	3	3	1/3
Временные затраты	1/5	1	1/5	1/3	1/3	1/5
Затраты с учетом живучести КА	1	5	1	2	1/5	1/7
Затраты на обнаружение КА	1/3	3	1/2	1	1/3	1/7
Затраты на скрытность воздействия СВ	1/3	3	5	3	1	1/5
Затраты по побочному эффекту	3	5	7	7	5	1

Таблица 7

Оценка значимости признаков для военного периода применения СВ

Для военного периода	Функциональные затраты	Временные затраты	Затраты с учетом живучести КА	Затраты на обнаружение КА	Затраты на скрытность воздействия СВ	Затраты по побочному эффекту
Функциональные затраты	1	7	1/2	2	1/9	1/3
Временные затраты	1/7	1	1	1/3	1/5	1
Затраты с учетом живучести КА	2	1	1	1	1/3	1/2
Затраты на обнаружение КА	1/2	3	1	1	1/3	1/2
Затраты на скрытность воздействия СВ	9	5	3	3	1	1/2
Затраты по побочному эффекту	3	1	2	2	2	1

Таблица 8

Оценка различий (превосходит — не превосходит) спутников связи и разведки с точки зрения указанных критериев

С точки зрения функциональных затрат	Спутники связи	Спутники разведки
Спутники связи	1	1/3
Спутники разведки	3	1
С точки зрения временных затрат	Спутники связи	Спутники разведки
Спутники связи	1	1/2
Спутники разведки	2	1
С точки зрения затрат с учетом живучести КА	Спутники связи	Спутники разведки
Спутники связи	1	1/5
Спутники разведки	5	1
С точки зрения затрат на обнаружение КА	Спутники связи	Спутники разведки
Спутники связи	1	1/3
Спутники разведки	3	1
С точки зрения затрат на скрытность воздействия СВ	Спутники связи	Спутники разведки
Спутники связи	1	3
Спутники разведки	1/3	1
С точки зрения затрат по побочному эффекту	Спутники связи	Спутники разведки
Спутники связи	1	5
Спутники разведки	1/5	1

ГСВ матрицы элементов, рассчитанные приближенным способом, показаны на рис. 5.

Из рис. 5 видно, что значение затрат на поражение спутников связи равна 0,54 у.е., спутников разведки — 0,46 у.е.

Эффективность поражения СВ спутников связи и разведки ($\mathcal{E}_{КА}$), определенная с использованием (1), равна:

– для спутников связи — $0,64/0,54 = 1,19$ у.е.;

– для спутников разведки — $0,36/0,46 = 0,78$ у.е.

Результаты проведенных расчетов свидетельствуют о том, что на данном этапе развития

условной СВ с военно-экономической точки зрения приоритетной целью являются спутники связи. В этой связи необходимо сосредоточить основные усилия на достижения таких ТТХ СВ, которые обеспечивали в первую очередь, поражение именно этого вида целей.

Вывод

Таким образом, приведен методический подход к сравнительной оценке эффективности поражения СВ спутников связи и разведки. Указанная эффективность может оцениваться

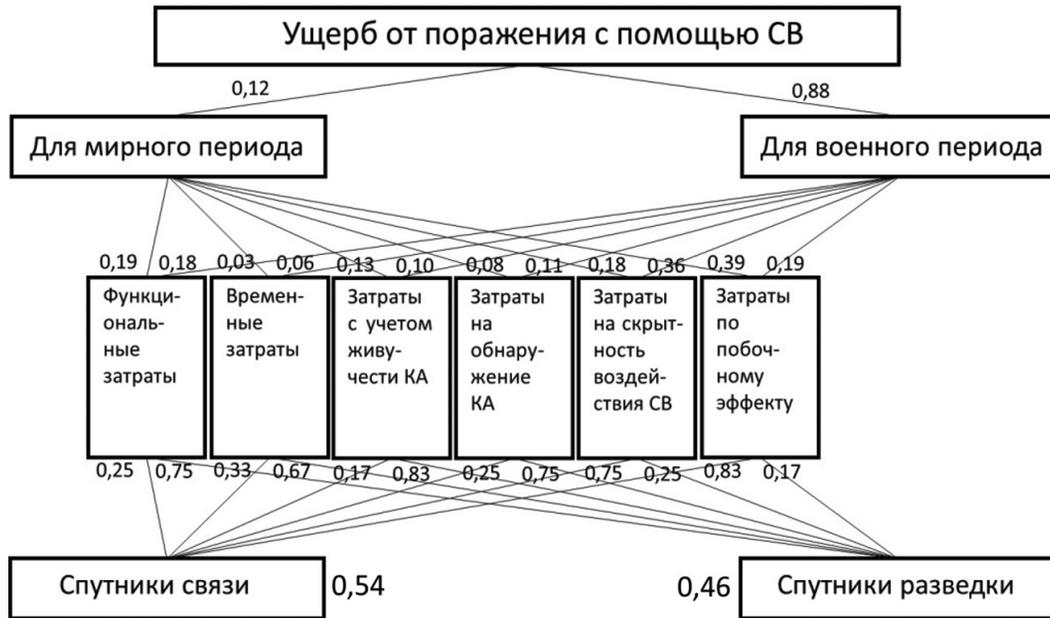


Рис. 5. Важность (превосходство) элементов иерархической схемы взаимосвязи признаков, по которым сравниваются КА, с точки зрения затрат на использование СВ для поражения КА

с использованием показателей ущерба, наносимого противнику при поражении КА, и затрат на использование СВ для поражения КА. Данный подход целесообразно применять при дефиците информации по характеристикам как создаваемой СВ, так и планируемых к поражению объектов.

Литература

1. Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П. и др. Принятие решений на основе нечетких моделей. — Рига: Зиниате. 1990. 184 с.
2. Леоненков А.В. Нечёткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. — СПб: БХВ-Петербург. 2005. 726 с.
3. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. — М.: Бином. 2011. 798 с.
4. Штовба С.Д. Проектирование нечётких систем средствами MATLAB. — М.: Горячая линия — Телеком. 2007. 298 с.

5. Саати Т.Л. Принятие решение при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. Пер. с англ. — М.: ЛКИ. 2008. 360 с.
6. Саати Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. — М.: Радио и связь. 1993. 316 с.
7. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. — М.: Радио и связь. 1991. 224 с.
8. Чепурнов П.А., Яковлев Р.С., Мишуков А.Н., Петриченко А.В. Анализ развития систем спутниковой связи ведущих зарубежных стран с космическими аппаратами на геостационарной орбите на период до 2025 года // Радиотехника и связь. 2020. Вып. 3. С. 34–41.
9. Михайлов Р.Л. Описательные модели систем спутниковой связи как космического эшелона телекоммуникационных систем специального назначения. Монография. — Санкт-Петербург: Научное издание. 2019. 150 с.
10. Макаренко С.И. Описательная модель системы спутниковой связи Iridium // Системы управления, связи и безопасности. 2018. № 4. С. 1–34.