

УДК 355.45

Ю.А. Олейник, В.А. Бородавка, Я.Н. Кожушко, К.П. Квиткин

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

ПОСТАНОВКА ЦЕЛИ ПРИ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

Для оценки эффективности различных видов вооружения и военной техники систематизирована терминология, понятия, логика анализа и исследования, которые можно применять для всех видов вооружения и военной техники, их действий и взаимодействий при достижении поставленной цели. Показано, как математически описывать цель с помощью вектора цели, задающего параметры исследуемых систем при оценке эффективности вооружения и военной техники. Приведены примеры составления и анализа вектора цели и его взаимосвязь с вектором состояния и вектором ошибки.

Ключевые слова: эффективность, вооружение и военная техника, система, элемент, операция, вектор цели, вектор состояния.

Введение

При исследовании эффективности вооружения и военной техники (ВВТ) необходимо учитывать множество видов ВВТ, свойства которых различны, а взаимодействия очень сильно сказываются на эффективности объединений (подразделений) ВВТ.

Постановка задачи. Для ВВТ всех видов вооруженных сил необходимо систематизировать общие термины, требования и подходы к оценке эффективности. Далее общие термины, требования и подходы необходимо математически описать, чтобы получать значения эффективности ВВТ в виде чисел, которыми можно оперировать.

Цель статьи. Описать термины, логику действий и цель для оценки эффективности ВВТ.

Основная часть

ВВТ будем рассматривать как систему или как элемент какой-то системы. **Система** – это множество элементов, понятий, норм с отношениями и связями между собой, которые образуют целостность [1]. **Элемент** – это часть системы, предназначенная для выполнения определенных функций и неделимая на составные части при данном уровне рассмотрения [1]. Исследователь системы принимает решение о том, рассматривать конкретные части системы как элемент системы, как подсистему или систему.

Далее введем понятие **комплекса**, как системы, функционирование которой возможно только при условии взаимодействия элементов, входящих в систему [1]. Исключение хотя бы одного типа элемента комплекса приводит к следующим результатам:

- невозможности функционирования комплекса;
- ограничение времени функционирования комплекса до восстановления исключенного элемента;
- ограничение времени функционирования элементов комплекса, взаимодействующих с исклю-

ченным элементом.

В комплексе обычно имеется резервирование (дублирование) уязвимых элементов. Систему, в состав которой входят два и более комплекса, будем называть **сложной системой** [1].

Каждая система характеризуется состояниями, в которых может находиться. **Состояние системы** – это совокупность конкретных значений параметров системы, характеризующих ее в определенный момент времени [2].

Свойства, которыми обладают системы, имеют три группы. **Свойства первой группы** характеризуют все виды взаимодействий системы с внешней средой, состоящей из различных систем (рис. 1) [1].

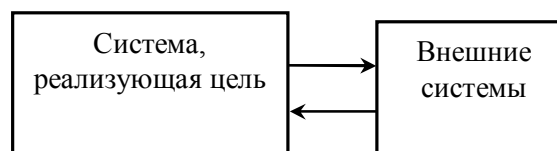


Рис. 1. Взаимодействия систем

Свойства второй группы характеризуют все виды взаимодействий элементов системы между собой внутри самой системы [1].

Свойства третьей группы характеризуют все интегративные (эмерджентные) качества системы, когда система в результате соединения и взаимодействия элементов приобретает качества, которыми не обладает ни один элемент системы [1].

Наша задача – исследование системы (систем), предназначенной для реализации известной или заданной цели (целей). **Цель** – идеальное представление (предвосхищение) в сознании руководителя (лица, принимающего решения) желаемого результата, достигаемого системой.

Эффективность системы – это способность системы достигать поставленную (заданную) цель с учетом затрат ресурсов и времени [1].

Цель достигается выполнением системой возможных (насколько позволяют свойства системы)

операцій [2]. **Операция** – это целенаправленные взаимосвязанные действия, объединенные общим замыслом и единой целью [1]. Или **операция** – это заданные действия, объединенные общим замыслом и направленные к достижению определенной цели [2].

Можно сказать, что операция – это система, элементами которой являются действия при планировании операции или события при осуществлении операции. **Событие** – это рассматриваемый или моделируемый факт (действие, явление), который может произойти или не произойти [3].

Эффективность системы (при достижении заданной цели) зависит от эффективности выполняемых целенаправленных операций. **Эффективность операции** – это степень соответствия реального результата операции требуемому (желаемому) [1], или степень различия между реальным и требуемым результатом [2].

Для времени достижения системой поставленной цели $\tau_{цo}$, запишем выражение:

$$\tau_{цo} = \sum_{i=1}^{k_1} \tau_{опi};$$

$$k = k_1 + k_2,$$

где $\tau_{опi}$ – время выполнения i -ой последовательной операции (рис. 2); k – число всех операций, выполняемых за время $\tau_{цo}$ для достижения цели; k_1 – число всех последовательных операций, выполняемых за время $\tau_{цo}$ для достижения цели; k_2 – число всех параллельных операций, выполняемых за время $\tau_{цo}$ для достижения цели;

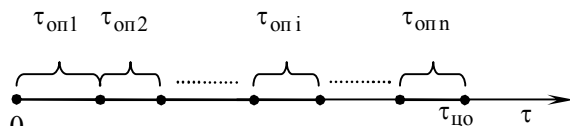


Рис. 2. Время выполнение операций

Если оценивать эффективность системы вероятностью достижения системой поставленной цели $P_{эс}$, то можно записать выражение [3]:

$$P_{эс} = \prod_{i=1}^{k_1} P_{опi} \prod_{j=1}^{k_2} \bar{P}_{опj},$$

где $P_{опi}$ – вероятность выполнения i -ой последовательной операции; $\bar{P}_{опj}$ – вероятность выполнения j -ой параллельной операции.

Эффективность операции зависит от трех факторов: качество системы, условий функционирования системы, способы применения (тактика действий) системы. **Фактор** – это движущая сила процесса (явления) или условие (закон), влияющее на процесс (явление) [2].

Потенциальная эффективность операции – эффективность операции при идеальном способе

использования активных средств, т.е. при выборе лучшей стратегии [2]. **Активные средства** – технические средства системы и имеющиеся в распоряжении ресурсы [2].

Стратегия – это способ использования активных средств в операции [2], что подразумевает тактику действий активных средств ВВТ. Обозначим U множество имеющихся стратегий. Анализируя каждую стратегию $u \in U$, можно оценивать результат каждой операции множеством параметров $Y(u)$. Результат операции $Y(u)$ будет являться функцией от следующих множеств [2]:

$$Y(u) = f(q(u), C(u), \tau(u)),$$

где $q(u)$ – множество параметров, характеризующих полезный эффект; $C(u)$ – множество параметров, характеризующих затраченные ресурсы; $\tau(u)$ – множество параметров, характеризующих затраченное время.

Эффективную (лучшую) стратегию из $u \in U$ будем обозначать u^* [2].

Обстановка операции – это состояние всех систем (системы, реализующей цель, внешней среды, объекта воздействия, систем противодействия и защиты) в определенный момент времени [2]. **Условия обстановки** – совокупность факторов, существенно влияющих на обстановку операции [2].

ВВТ, как система, может целенаправленно воздействовать на другую систему, или испытывать воздействие системы противника. **Объект воздействия** – это система, в отношении которой планируются операции для достижения поставленной цели [2].

Оценка эффективности систем и операций ВВТ проводится для решения следующих задач [2]:

- 1) выявление влияния различных факторов и взаимодействия факторов на эффективность ВВТ;
- 2) определение функциональных возможностей технических средств рассматриваемой системы ВВТ;
- 3) определение путей повышения эффективности ВВТ и эффективности операций ВВТ;
- 4) принятие решения относительно эффективной тактики действий ВВТ.

Рассмотрим систему, реализующую известную цель (цели) и объект воздействия, находящиеся во внешней среде (рис. 3).

Внешняя среда – это система, которая создает пространство, где действуют рассматриваемые системы. Внешняя среда характеризуется свойствами веществ рассматриваемого пространства (тип местности, параметры атмосферы или воды, растительность и др.) и законами, действующими в данном пространстве (сила тяжести, погодные условия, возможные ограничения параметров среды и др.).

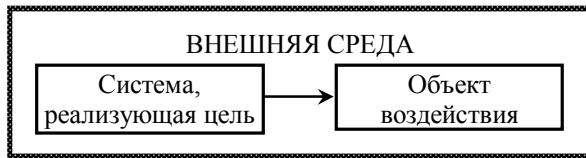


Рис. 3. Взаимодействие системы и объекта воздействия

Объект воздействия также может влиять на нашу систему, что характерно, для однотипных систем (например дуэль одинаковых типов вооружения) (рис. 4).

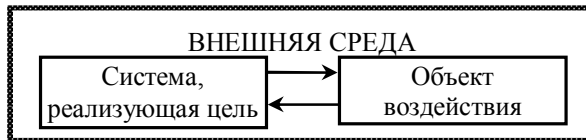


Рис. 4. Влияние объекта воздействия

Возможно, что система, реализующая цель и объект воздействия находятся в разных внешних средах (в разных системах) (рис. 5). Например, ракета, пускаемая с подводной лодки, находящейся под водой, воздействует на наземную цель. При этом элемент системы (подсистема), влияющий на объект воздействия, должен эффективно действовать в обоих внешних средах (рис. 5).

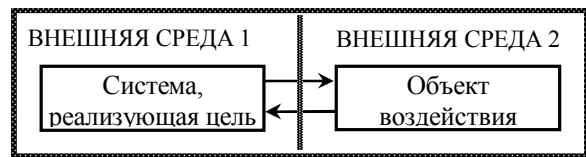


Рис. 5. Взаимодействие системы и объекта воздействия, которые находятся в разных внешних средах

Можно объединить внешнюю среду 1 и внешнюю среду 2 (рис. 5) в одну внешнюю среду (рис. 3), в которой будут присутствовать факторы обеих сред. Причем некоторые из факторов (параметров) внешней среды 2 не будут влиять на систему, реализующую цель, а некоторые из факторов (параметров) внешней среды 1 не будут влиять на объект воздействия. Если объект воздействия не может противодействовать системе, реализующей неприемлемые для него цели, то создается дополнительная система (системы), которая противодействует системе, реализующей цель (рис. 6).

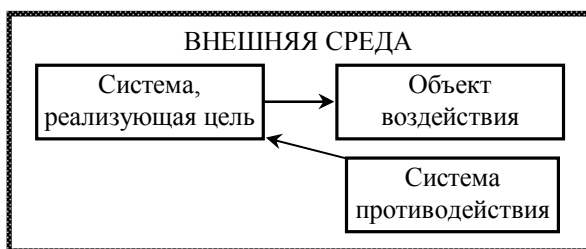


Рис. 6. Система противодействия

При этом возможно, что и объект воздействия может противодействовать цели системы, но его противодействие неэффективно (рис. 7). На рис. 7 пунк-

тирная стрелка показывает, что объект воздействия может противодействовать системе, реализующей неприемлемую для него цель. Объект воздействия также может использовать свойства внешней среды, чтобы избежать эффективного воздействия системы, реализующей неприемлемую цель (маскировка, перегруппировка, движение ВВТ и др.).

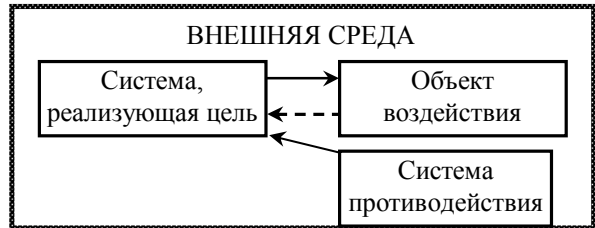


Рис. 7. Противодействие систем

Далее может быть создана система (системы) защиты, которая воздействует на систему противодействия (рис. 8).

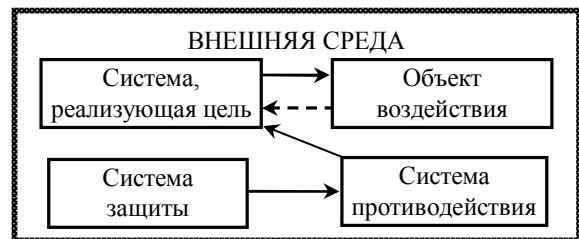


Рис. 8. Система защиты

Система, реализующая цель и система защиты должны взаимодействовать друг с другом, как и объект воздействия с системой противодействия (рис. 9).

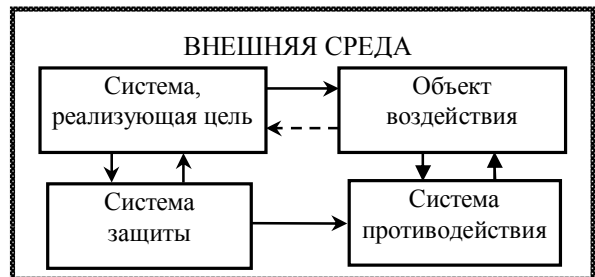


Рис. 9. Взаимодействие системы, реализующей цель и системы защиты

Для формирования эффективных стратегий, система, реализующая цель, и система защиты могут быть объединены в одну систему, как и объект воздействия с системой противодействия (рис. 10).

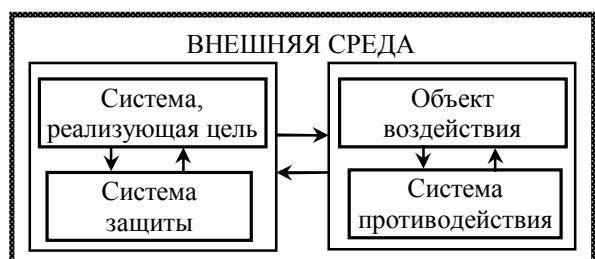


Рис. 10. Взаимодействие и противодействие систем

Для описания цели, достигаемой системой, используем вектор целей $\vec{X}_ц$, для которого запишем выражение:

$$\vec{X}_ц = \vec{X}_c + \vec{X}_ош,$$

где $\vec{X}_ц$ – вектор цели или вектор желаемого состояния всех рассматриваемых (исследуемых) систем (рис. 9, рис. 10); \vec{X}_c – вектор состояния всех рассматриваемых (исследуемых) систем; $\vec{X}_ош$ – вектор ошибки.

Для векторов $\vec{X}_ц$, \vec{X}_c , $\vec{X}_ош$, как функций от времени в начальный момент времени запишем:

$$\vec{X}_ц = \vec{X}_c(0) + \vec{X}_ош(0);$$

$$\vec{X}_c(0) = \sum_{i=1}^N \vec{X}_{ci}(0),$$

где N – число рассматриваемых (исследуемых) систем.

После выполнения целевых операций за время $\tau_{цo}$, получим:

$$\vec{X}_ц = \vec{X}_c(\tau_{цo}) + \vec{X}_ош(\tau_{цo});$$

$$\vec{X}_c(\tau_{цo}) = \sum_{i=1}^N \vec{X}_{ci}(\tau_{цo}).$$

Вектор $\vec{X}_ц$ – n -мерный, где n – число параметров, которыми описываются и оцениваются все рассматриваемые системы при решении задачи о достижении поставленных целей. Все n параметров y_i ($i \in [1; n]$) принадлежат множеству $Y(u)$. Параметры y_i имеют свою иерархию: значимость параметров y_i убывает при возрастании n . Самый значимый параметр, который наиболее влияет на $\vec{X}_ц$ – это y_1 , за ним идет менее значимый y_2 , затем y_3 и т. д. При достижении $\vec{X}_ц$, лицо, принимающее решение (ЛПР) отказывается (пренебрегает) изменением параметров от y_n до y_1 .

ЛПР – человек, который в собственные оценки систем и операций включает оценки других людей в процессе принятия группового решения (выбора предпочтения) в условиях определенности или неопределенности [1]. ЛПР может быть частью системы, реализующей $\vec{X}_ц$, или находится вне системы, реализующей $\vec{X}_ц$ (принадлежать другой системе).

Решение – выбор из ряда возможностей, имеющихся у ЛПР [1]. **Элементы решения** – параметры, из которых состоит решение [1].

ЛПР осуществляет управление системой (системами). **Управление системой** – процесс формирования эффективного (рационального) поведения системы в операции [4]. **Цель управления** – эффективное использование системы при проведении операции [4].

Управление (руководство) – это субъективный процесс. Если ЛПР не учитывает (пренебрегает) существенными объективными закономерностями и факторами, влияющими на рассматриваемые системы, то у него может возникнуть иллюзия управления.

Кроме того, возможен случай, когда официальное ЛПР не принимает решения самостоятельно, а опирается на других ЛПР (советников). Тогда качество управления может быть низким, так как известен $\vec{X}_ц$ официального ЛПР, но неизвестен $\vec{X}_ц$ других ЛПР (советников).

Если $\vec{X}_ц$ изменяется или корректируется после проведения последовательных операций, то запишем:

$$\vec{X}_ц(0) = \vec{X}_c(0) + \vec{X}_ош(0);$$

$$\vec{X}_ц(\tau_{оп1}) = \vec{X}_c(\tau_{оп1}) + \vec{X}_ош(\tau_{оп1});$$

$$\vec{X}_ц(\tau_{оп2}) = \vec{X}_c(\tau_{оп2}) + \vec{X}_ош(\tau_{оп2});$$

...

$$\vec{X}_ц(\tau_{опi}) = \vec{X}_c(\tau_{опi}) + \vec{X}_ош(\tau_{опi});$$

...

$$\vec{X}_ц(\tau_{цo}) = \vec{X}_c(\tau_{цo}) + \vec{X}_ош(\tau_{цo}).$$

На рис. 11 в качестве примера показаны трехмерный (а) и девятимерный (б) векторы $\vec{X}_ц$, \vec{X}_c и $\vec{X}_ош$.

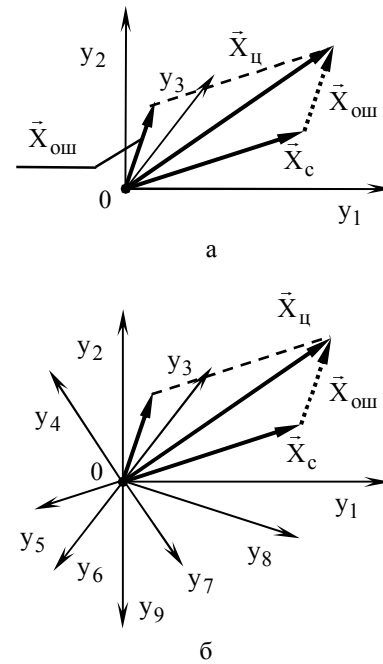


Рис. 11. Примеры векторов $\vec{X}_ц$, \vec{X}_c и $\vec{X}_ош$

Наиболее значимые параметры y_i ($y_1, y_2, y_3, \dots, y_i$) задают правильное направление и величину $\vec{X}_ц$, а наименее значимые параметры y_i ($y_n, y_{n-1}, y_{n-2}, \dots, y_i$) влияют на величину $\vec{X}_ц$, но не существенно влияют на правильное направление

$\bar{X}_ц$. Направление вектора $\bar{X}_ц$ более значимо для достижения цели, чем его скалярная величина. Векторы $\bar{X}_ц$, $\bar{X}_с$ и $\bar{X}_ош$ удобно представлять в виде таблицы (см. табл. 1), где y_i^{TP} – требуемое значение y_i ($\tau = \tau_{ц0}$), y_i^c – значение y_i в начальные момент времени ($\tau = 0$), когда сформирован $\bar{X}_ц$.

Таблица 1

Значения параметров y_i для векторов $\bar{X}_ц$, $\bar{X}_с$, $\bar{X}_ош$

	Описание параметра	Ограничения y_i		$\bar{X}_ц$	$\bar{X}_с$	$\bar{X}_ош$
		min	max			
1	2	3	4	5	6	7
y_1				y_1^{TP}	y_1^c	$y_1^{TP} - y_1^c$
y_2				y_2^{TP}	y_2^c	$y_2^{TP} - y_2^c$
y_3				y_3^{TP}	y_3^c	$y_3^{TP} - y_3^c$
...			
y_i				y_i^{TP}	y_i^c	$y_i^{TP} - y_i^c$
...			
y_n				y_n^{TP}	y_n^c	$y_n^{TP} - y_n^c$

Возможно, что какой-либо параметр y_i описывается только вербально, когда можно достигнуть или нет описанное требование. Тогда $y_i^{TP}=1$, а $y_i^c=0$, если описанное требование не достигнуто. Если известен процент S выполнения описанного требования, то $y_i^c = S/100$, $y_i^{TP}=1$ при формировании $\bar{X}_ц$. Такие требования иногда называют частными целями, от которых зависит $\bar{X}_ц$. При этом сохраняется правило убывания важности параметра y_i с возрастанием n (табл. 2).

Таблица 2

Пример значения параметров $\bar{X}_ц$, $\bar{X}_с$, $\bar{X}_ош$

	Описание параметра	Ограничения y_i		$\bar{X}_ц$	$\bar{X}_с$	$\bar{X}_ош$
		min	max			
y_1	Контроль территории противника	0	1	1	0,2	0,8
y_2	Максимальные потери техники	0	50	20	0	20
y_3	Возможность эвакуации всех раненых	0	1	1	0	1
y_4	Минимальное время выполнения задачи	0	148	72	0	72
y_5	Количество оставшихся боеприпасов	0	85	10	85	-75

Для примера рассмотрим вектор $\bar{X}_ц$, зависящий от трех параметров: y_1 , y_2 , y_3 , представлен-

ных в табл. 3. Имеется 10 автомобилей с коэффициентом готовности, равном 0,9. Все автомобили должны совершить промежуточный марш на расстояние 70 км, при этом допускается поломка только одного автомобиля. По приоритетам главное при достижении цели, чтобы $y_1^{TP} \geq 8$, при этом можно пожертвовать топливом (затратить топлива больше) или пожертвовать расстоянием (совершить марш менее, чем на 70 км). Если при $0 < \tau < \tau_{ц0}$, $y_1^c = 7$, $y_2^c < 70$, $y_3^c > 80$, то прекращаем марш и жертвуем y_3^{TP} и y_2^{TP} , чтобы отремонтировать один автомобиль. Далее при $y_1^c = 8$ продолжаем марш, удовлетворяя y_2^{TP} и имея возможность пожертвовать y_3^{TP} .

Таблица 3

Значения параметров y_1 , y_2 , y_3

	Описание параметра	Ограничения y_i		$\bar{X}_ц$	$\bar{X}_с$	$\bar{X}_ош$
		min	max			
y_1	Число автомобилей	0	10	8	9	-1
y_2	Дальность маршрута, км	0	80	70	0	70
y_3	Запас топлива, л	0	180	80	180	-100

Вектора табл. 3: $\bar{X}_с = (9;0;180)$, $\bar{X}_ц = (8;70;80)$, $\bar{X}_ош = (-1;70;-100)$ показаны на рис. 12.

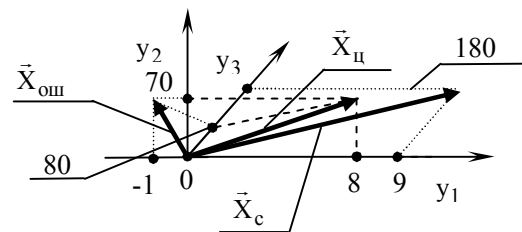


Рис. 12. Вектора $\bar{X}_ц$, $\bar{X}_с$ и $\bar{X}_ош$ табл. 3

При оценке операции можно пользоваться как параметрами y_i^{TP} , y_i^c , так и их различными математическими комбинациями: $y_i^{TP} - y_i^c$, $M[y_i^{TP}(\tau_{ц0})]$, вероятность достижения y_i^{TP} и т. д. Эти комбинации так же являются параметрами, могут дать более точную оценку операции (системы) и называются показателями эффективности.

Показатель эффективности W – это мера степени соответствия реального результата операции требуемому (желаемому), позволяющая выбирать рациональную стратегию [2].

Показатель эффективности может состоять из одного или нескольких параметров. Взаимосвязь параметров разрабатывает или выбирает ЛПР. Показатель эффективности – это число. Он может иметь

сложную зависимость, но в конечном итоге имеет конкретное значение.

Из показателя или показателей эффективности формируется критерий эффективности. **Критерий эффективности К** – это правило, позволяющее сопоставлять стратегии, характеризующиеся различной степенью достижения цели, и осуществлять целенаправленный выбор рациональных стратегий из множества допустимых [2]. Именно правильный критерий эффективности позволяет выбирать рациональную стратегию. В свою очередь критерий эффективности опирается на правильность показателей эффективности, которые зависят от u_i (рис. 13).

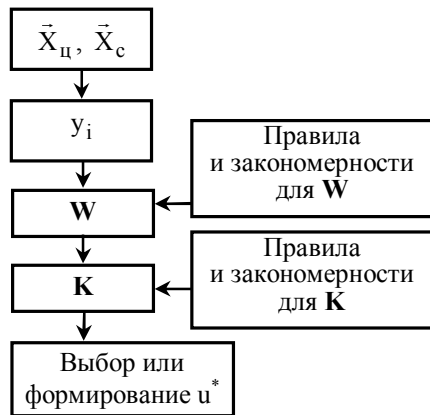


Рис. 13. Параметры системы, показатели и критерии эффективности

Если \bar{X}_c различен для каждой операции, то значения W и правила K так же различны для каждой операции.

Если для одной операции имеется два и более K , то ЛПР должен сформировать один K из всех имеющихся или выбирать стратегию так, чтобы удовлетворить все K (выполнить все правила).

В рассмотренном в табл. 3 примере применяются три параметра эффективности $W_1 = u_1^{TP}$, $W_2 = u_2^{TP}$, $W_3 = \left| u_3^{TP} - u_3^c(\tau_{ц0}) \right|$. Для K применяется одно правило: $u_1 \geq u_1^{TP}$.

При исследовании операций решают прямую или обратную задачу [4]. **Прямая задача** исследования операций: выбрать u^* из $u \in U$ при использовании заданного критерия [4]. **Обратная задача** исследования операций: разработать u^* из $u \in U$ при использовании заданного критерия [4]. При исследовании эффективности систем, зависящей от эффективности операций, мы так же можем решать прямую или обратную задачу, выбирая или разрабатывая u^* . Для элемента, активного средства или комплекса ВВТ u^* – это эффективная тактика действий. Для сложной системы ВВТ (множество подразделений и комплексов ВВТ) u^* – это эффективная стратегия действий.

Выводы

В статье систематизирована терминология и логика исследования, необходимые для оценки эффективности ВВТ. Показано, как математически описывать цель с помощью вектора цели, векторов состояния и ошибки.

Рассмотренные понятия, логический и математический аппарат могут использоваться для любого вида ВВТ.

Список литературы

1. Надежность и эффективно в технике: справочник в 10 т. Том. 1: Методология. Организация, терминология / Под ред. А.И. Рембезы. – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.
2. Надежность и эффективно в технике: справочник в 10 т. Том. 3: Эффективность технических систем / Под ред. В.Ф. Уткина. – М.: Машиностроение, 1988. – 328 с.
3. Венцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Венцель. – М.: Высш. шк., 2001. – 575 с.
4. Венцель Е.С. Исследование операций / Е.С. Венцель.. – М.: Высш. шк. – 1975. – 208 с.

Поступила в редколлегию 9.06.2009

Рецензент: канд. техн. наук, доц. А.Н. Полежаев, Национальная юридическая академия Украины им. Я. Мудрого, Харьков.

ПОСТАНОВКА МЕТИ ПРИ ОЦІНЦІ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЗБРОЄННЯ І ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

Ю.А. Олійник, В.А. Бородавка, Я.М. Кожушко, К.П. Квіткін

У статті отримані і вирішені рівняння вірогідності для трьох станів рухомої системи військової техніки: марш, знаходження в позиційному районі, поразка. Рівняння складені за допомогою використання математичного апарату марківських випадкових процесів. Отримані функції трьох вірогідності стану рухомої системи можуть застосовуватися для будь-якого виду відновлюваної або невідновної рухомої системи військової техніки.

Ключові слова: ефективність, озброєння і військова техніка, система, елемент, операція, вектор мети, вектор стану.

PRODUCTION TO PURPOSES AT ESTIMATION OF EFFICIENCY OF THE ARMS AND MILITARY TECHNOLOGY

Yu.A. Oleynik, V.A. Borodavka, Ya.M. Kozhushko, K.P. Kvitkin

For estimation of efficiency different type armises and military technology is systematized terminology, notions, logic of the analysis and studies, which possible use for all type of the arms and military technology, their action and interaction at achievement put(deliver)ed to purposes. It Is Shown, as mathematically describe the purpose by means of vector of the purposes, assigning parameters of the under investigation systems at estimations of efficiency of the arms and military technology. Cite an instance formation and analysis of the vector to purposes and his(its) intercoupling with vector of the condition and vector of the mistake.

Keywords: efficiency, arms and military technology, system, element, operation, vector to purposes, vector of the condition.