

Лекция № 9. Показатели и критерии эффективности применения сложных систем

Цель занятия: Уяснить показатели качества результатов операции, критерии их оценивания и показатели эффективности применения сложных систем.

Учебные вопросы:

1. Показатели качества результатов операции и критерии их оценивания
2. Показатели эффективности применения сложных систем

Введение

Во всех системных исследованиях (СИ) первичным является целевое назначение объекта. Поэтому основу решения всех проблем СИ составляет поиск наилучших (оптимальных) вариантов исследуемых объектов **(ЦУТС и ЦПФС)** с учетом их целевого назначения. Так как операция протекает во времени, то это процесс, а поскольку операция имеет цель, то это целенаправленный процесс (ЦНП). Если назначением системы является реализация этого процесса, то процесс её функционирования будет целенаправленным. Таким образом, **операция - это ЦПФС**. Поскольку операция проводится с определённой целью, то об её качестве следует судить по степени достижения этой цели. Поэтому **показатель качества операции** должен учитывать как **целевые эффекты**, ради которых проводится операция, так и **"усилия"**, необходимые для получения этих эффектов.

Для оценивания результатов применения системы используется понятие **«эффективность»**. При оценивании эффективности целесообразно выделять **результат (эффект)** от применения системы в соответствии с ее целевым предназначением (например, доход, получаемый каким-либо предприятием, ущерб, нанесенный противнику), а также затраченные на достижение результата **временные и материальные ресурсы** (например, запасы сырья, технические, денежные средства и т.д.). Естественно, что полезность эффекта понижается с ростом неоправданно затраченных ресурсов.

Различают два уровня оценивания качества операции:

1. Оценивание качества результата операции.
2. Оценивание качества самой операции, называемое ее эффективностью.

1. Показатели качества результатов операции и критерии их оценивания

Операционные свойства качества любого ЦПФС:

- **результативность** - свойство операции давать целевой результат;
- **ресурсоемкость** - свойство операции расходовать ресурсы всех видов;
- **оперативность** - свойство операции протекать во времени.

В совокупности эти свойства порождают комплексное свойство ЦНП – **эффективность**.

Эффективность - это комплексное операционное свойство ЦПФС (операции), характеризующее его **приспособленность к достижению цели операции**.

Вывод: Качество операции определяется совокупностью трех свойств ее результатов (комплексом, включающим в себя три группы компонент).

Математически результаты любого целенаправленного процесса (операции) в комплексно-канонической форме (ККФ) можно представить в виде трехкомпонентного n -мерного ($n=n_1+n_2+n_3$) вектора, который называется **показателем качества результатов операции (ПКРО)**:

$$Y_{\langle 3 \rangle}^{KK\Phi} = \langle Y_{\langle n_1 \rangle}^{(1)}, Y_{\langle n_2 \rangle}^{(2)}, Y_{\langle n_3 \rangle}^{(3)} \rangle = \langle V_{\langle n_1 \rangle}, R_{\langle n_2 \rangle}, T_{\langle n_3 \rangle} \rangle,$$

где $\langle y_1^{(1)}, y_2^{(1)}, \dots, y_{n_1}^{(1)} \rangle = Y_{\langle n_1 \rangle}^{(1)} = V_{\langle n_1 \rangle}$ – показатель (вектор) операционного целевого (позитивного) эффекта операции;

$\langle y_1^{(2)}, y_2^{(2)}, \dots, y_{n_2}^{(2)} \rangle = Y_{\langle n_2 \rangle}^{(2)} = R_{\langle n_2 \rangle}$ – показатель (вектор) затрат операционных ресурсов (побочных, негативных эффектов) на получение целевых эффектов;

$\langle y_1^{(3)}, y_2^{(3)}, \dots, y_{n_3}^{(3)} \rangle = Y_{\langle n_3 \rangle}^{(3)} = T_{\langle n_3 \rangle}$ – показатель (вектор) затрат операционного времени (побочных, негативных эффектов) на получение целевых эффектов.

Часто внутри групп компонент (аспектов) вектора Y может быть произведено свёртывание частных (единичных) показателей результатов операции (одним из известных методов) путём введения обобщённых показателей.

Например:

$$v = \sum_{i=1}^{n_1} \alpha_i v_i ;$$

$$r = \sum_{j=1}^{n_2} \beta_j r_j ;$$

$$\tau = \sum_{k=1}^{n_3} \tau_k$$

или

$$\tau = \max \{ \tau_1, \tau_2, \dots, \tau_{n_3} \}$$

и т.п.

Замечание. Свёртывание компонент из разных групп (аспектов) – не допустимо, т.к. приводит к вырождению задачи (обобщённый показатель теряет физический смысл).

В таких случаях $n_1 = n_2 = n_3 = 1$ и будут выполняться равенства $\underline{n} = \underline{k} = 3$ и ПКРО примет *симплексную каноническую форму* (СКФ):

$$Y_{\langle \kappa \rangle} = Y_{\langle 3 \rangle} = \langle y_1, y_2, y_3 \rangle = \langle v, r, \tau \rangle,$$

$$y_1 = y^{(1)}; y_2 = y^{(2)}; y_3 = y^{(3)};$$

где

Как правило, проведение любого процесса сопряжено с воздействием значительного количества возмущающих факторов, приводящих к таким отклонениям от плана, которые не могут быть учтены заранее. К числу таких возмущающих факторов можно отнести возможность возникновения неисправностей в ходе проведения операции, продолжительность поиска и устранения неисправностей, состояние окружающей среды, болезни и травмы обслуживающего персонала, наличие (отсутствие) необходимых запасных элементов в комплекте ЗИП и т.д. Вследствие этого случайным образом изменяются эксплуатационно-технические характеристики системы (например, наработка на отказ, время восстановления, время функционирования до перехода в предельное состояние и т.д.), что приводит к тому, что ожидаемые (возможные) результаты операции (все или некоторые) являются случайными и могут не соответствовать требуемым

Так, может увеличиваться продолжительность операции, для устранения воздействий возмущающих факторов могут потребоваться дополнительные ресурсы и т.д. Иными словами, все результаты операции зависят от эксплуатационно-технических характеристик системы, характеристик организации операции, условий функционирования системы и вектора условий применения системы и являются случайными:

$$\hat{Y}_{\langle n \rangle} = \hat{Y}_{\langle n \rangle} \left(\hat{A}_{\langle k \rangle}, \hat{B}_{\langle l \rangle} \right),$$

где $\hat{}$ - символ случайной величины;

$$A_{\langle k \rangle} = \langle A'_{\langle k_1 \rangle}, A''_{\langle k_2 \rangle} \rangle, k = k_1 + k_2 ;$$

$A'_{\langle k_1 \rangle}$ - вектор эксплуатационно-технических характеристик системы (показатели надёжности, производительности и т.п.);

$A''_{\langle k_2 \rangle}$ - вектор характеристик организации операции (степень подготовленности личного состава, полнота выполнения всех работ графика, укомплектованность расчёта и т. д.);

$B_{<l>}$ - вектор характеристик окружающей среды (УФС – температура, влажность, запылённость воздуха, скорость ветра и т.д. и условий применения системы (УПС));

k_1, k_2 - размерность (количество компонент) векторов $A'_{<k_1>}$, $A''_{<k_2>}$ соответственно;

l - размерность вектора $B_{<l>}$.

Очень важным является корректная формулировка цели операции. Например, цель эксплуатации РКК - вывод КА на заданную орбиту в заданное время. Цель эксплуатации НКУ КА - управление космическим аппаратом в соответствии с программой его применения. Содержательно цель операции может определяться по-разному, но во всех случаях она заключается в получении требуемых (допустимых) результатов, соответствующих цели проводимой операции. Формально с учётом воздействия случайных факторов это записывается так:

$$\hat{Y}_{<n>} \in \{\hat{Y}_{<n>}^d\},$$

где $\{\hat{Y}_{<n>}^d\}$ - область допустимых (требуемых) значений результатов операции (вектора $\hat{Y}_{<n>}$).

Требования к результатам операции, как правило, задаются в нормативно-технической документации. Однако в некоторых случаях (особенно на стадиях проектирования и создания системы) заранее неизвестно, какими должны быть результаты проводимой операции, чтобы её цель была достигнута. Иными словами, требования ко всем или некоторым результатам операции в общем случае также являются случайными в силу случайного характера вектора условий применения $\hat{B}_{<l>}''$.

Например, при поиске неисправности требование к оперативности процесса может быть сформулировано так: "Найти отказавший элемент как можно скорее", то есть заранее нельзя сказать, за какое время необходимо найти отказавший элемент. При этом подразумевается, что чем скорее он будет найден, тем лучше.

Таким образом, компоненты вектора допустимых значений результатов операции зависят от условий применения системы и связанных с ними требований, предъявляемых суперсистемой, т.е.

$$\hat{Y}_{<n>}^d = Y_{<n>}^d(\hat{B}_{<l>}''),$$

$\hat{Y}_{<n>}^d$ - показатель допустимого качества результата операции;

$B_{<l>}''$ - вектор характеристик условий применения системы.

Компонентами вектора условий применения могут быть характеристики поражающих факторов вооружения противника, показатели живучести системы, имеющийся избыток ресурсов и средства их доставки, возможности по защите ресурсов от уничтожения и т.д.

Таким образом, как вектор ПКРО $\hat{Y}_{<n>}$, так и вектор его допустимых значений $\hat{Y}_{<n>}^d$ в общем случае оказываются случайными.

Для оценивания качества результатов операции и её эффективности применяются критерии, то есть правила, в соответствии с которыми можно принимать решение о качестве процесса или сравнивать различные операции. При оценивании качества любого объекта (системы) может быть реализована совокупность критериев, каждый из которых может принадлежать к одному из классов:

1) классу $\{G\}$ критериев пригодности:

$$G: \hat{Y}_{<n>} \in \{\hat{Y}_{<n>}^d\},$$

(читается: результаты операции соответствуют допустимым их значениям);

2) классу $\{O\}$ критериев оптимальности:

$$O: \hat{Y}_{<n>} \in \{\hat{Y}_{<n>}^{\text{опт}}\},$$

где $\{\hat{Y}_{<n>}^{\text{опт}}\}$ - область наилучших (оптимальных) результатов операции.

(читается: результаты операции (все или некоторые) являются наилучшими (оптимальными)).

Эти соотношения для $k = n = 2$ иллюстрируются рис. 2.3.1. Если требования, предъявляемые к результатам y_1, y_2 , взаимно независимы, то рис. 2.3.1 трансформируется в рис. 2.3.2.

$$\{Y_{(2)}^o\} = [y'_1, y''_1] \times [y'_2, y''_2]$$

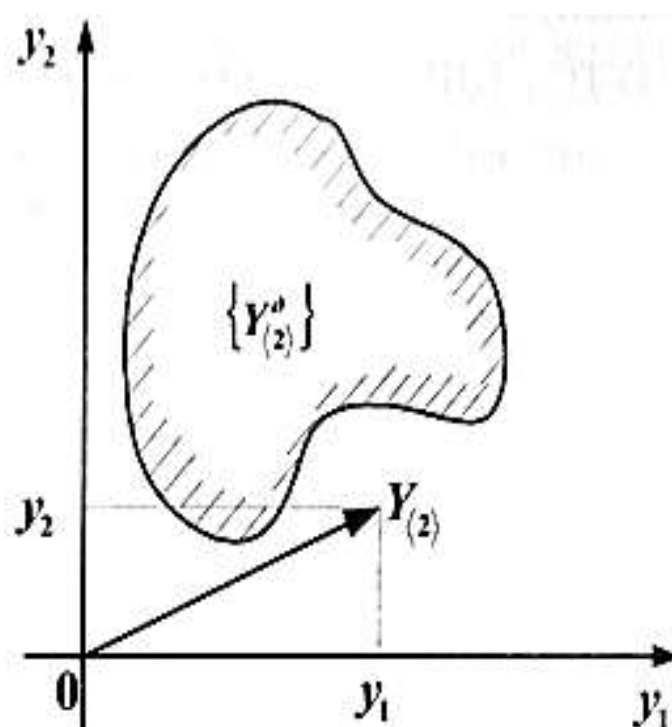


Рис. 2.3.1

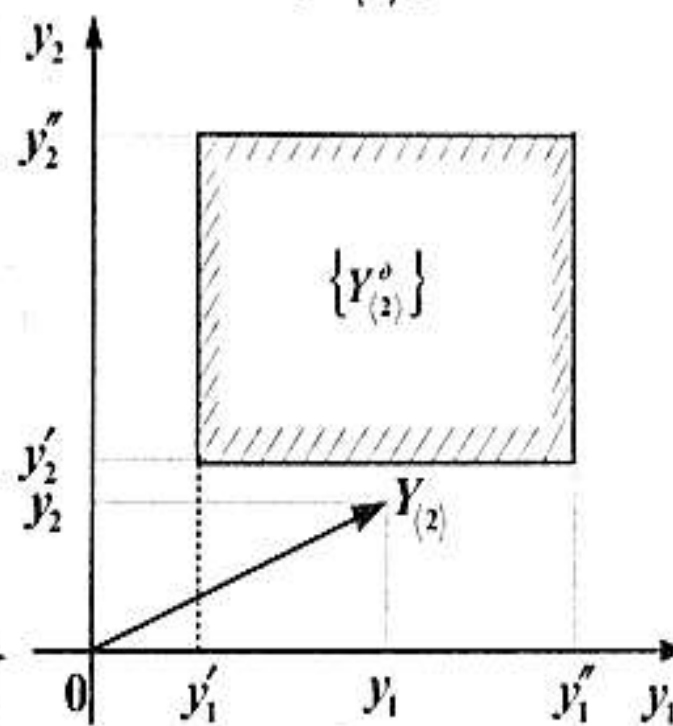


Рис. 2.3.2

Вопрос 2. Показатели эффективности применения сложных систем

Понятие эффективности относится не к системе, а к операции или целенаправленному процессу ее использования. Само слово **эффективный** означает **действенный, дающий эффект**. Степень соответствия достигнутых при проведении процесса результатов требуемым называется **эффективностью** операции.

Иными словами: **Эффективность** - это комплексное свойство любой целенаправленной деятельности, которое характеризуется степенью достижения цели с учетом затрат ресурсов и времени.

Или применительно к функционированию систем: **Эффективность** - это комплексное операционное свойство ЦПФС, характеризующее его приспособленность к достижению цели операции.

Показатель эффективности операции (ПЭО) - это количественная мера, характеризующая степень достижения цели операции (степень соответствия полученных результатов операции требуемым).

ПЭО должен отвечать следующим требованиям:

- **представительность** (адекватность) - цель операции должна находить свое прямое отображение в показателе ее эффективности;
- **чувствительность** - показатель чувствителен к изменениям исследуемых характеристик ЦУТС и ЦПФС;
- **комплексность (полнота)** - позволяет решать задачу исследования эффективности операции без привлечения других ее характеристик;
- **стохастичность** - вероятностный показатель позволяет учитывать воздействие случайных факторов.
- **"простота"** - его вычисление и анализ могли быть реализованы в приемлемые сроки и имели бы наглядную интерпретацию.

Итак, пусть качество результатов операции и требования к нему описываются векторами

$$\hat{Y}_{\langle 3 \rangle} = Y_{\langle 3 \rangle}(\hat{A}_{\langle k \rangle}; \hat{B}'_{\langle l' \rangle}, \hat{B}''_{\langle l'' \rangle});$$

$$\hat{Y}_{\langle 3 \rangle}^{\partial} = Y_{\langle 3 \rangle}^{\partial}(\hat{B}''_{\langle l'' \rangle}),$$

где символ «^» означает случайность векторов.

В результате в реальных условиях (в условиях воздействия случайных факторов) критерий пригодности операции (ее результатов) к достижению ее цели принимает вид:

$$G: \hat{Y}_{\langle 3 \rangle} \in \{\hat{Y}_{\langle 3 \rangle}^{\partial}\} \neq U \quad (10)$$

Как видно из выражения (10), пригодность операции есть случайное событие (попадание случайного вектора в случайную ОДЗ), по которому непосредственно судить о качестве операции (об ее эффективности) нельзя.

Поэтому характеристикой качества операции, т.е. степени ее приспособленности к достижению цели в условиях реального воздействия случайных факторов, может служить только **вероятность случайного события (10)**, характеризующая, как известно, степень его объективной возможности (возможности его наступления) при заданном комплексе условий – неслучайном векторе $\langle \mathbf{A}'_{\langle k_1 \rangle}, \mathbf{A}''_{\langle k_2 \rangle}, \mathbf{B}'_{\langle l' \rangle}, \mathbf{B}''_{\langle l'' \rangle} \rangle = \mathbf{X}_{\langle m \rangle}$:

$$P_{\text{дц}} = P(\hat{\mathbf{Y}}_{\langle z \rangle} \in \{\hat{\mathbf{Y}}_{\langle z \rangle}^{\partial}\}) = P_{\text{дц}}(\mathbf{X}_{\langle m \rangle}). \quad (11)$$

Вероятность $P_{\text{дц}}$ называется вероятностью достижения цели операции и является показателем эффективности операций массового характера, т.е. мерой степени достижения ее цели.

Замечание. Показатель эффективности $P_{\text{ДЦ}}$ можно представить в виде:

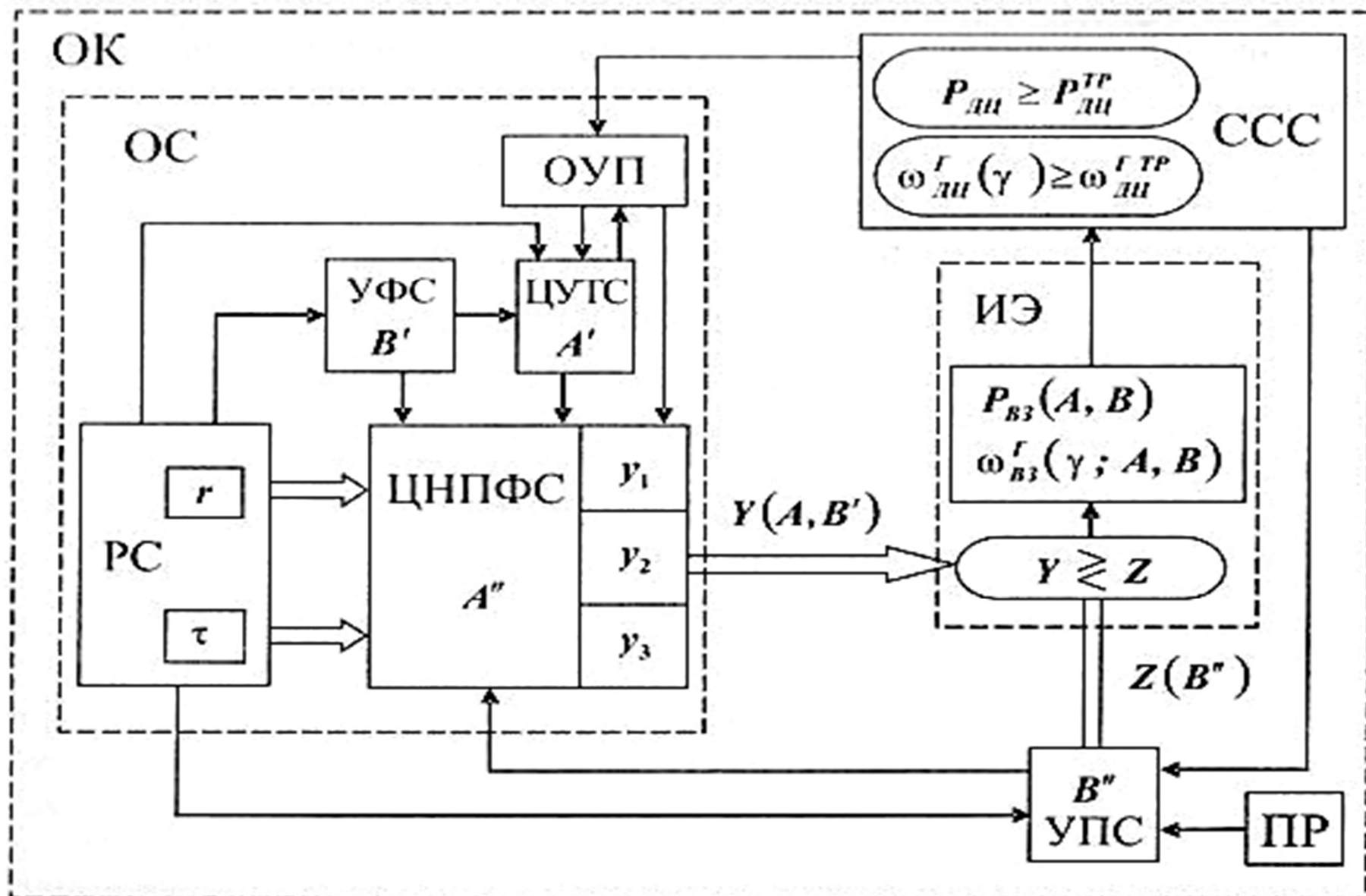
$$W = P_{\text{ДЦ}} = P_{\text{Г}} P_{\text{Н}} P_{\text{Ц}},$$

где $P(\hat{H}_1) = P_{\text{Г}}$ - показатель готовности системы - вероятность наступления случайного события \hat{H}_1 , состоящего в том, что в момент начала операции система будет готова к применению;

$P(\hat{H}_2 / H_1) = P_{\text{Н}}$ - показатель надежности - условная (при условии, что событие \hat{H}_1 наступило) вероятность наступления случайного события \hat{H}_2 , состоящего в том, что в ходе операции система будет функционировать безотказно при применении.

$P_{\text{Ц}}$ - условная вероятность того, что цель проводимой операции будет достигнута - вероятность события \hat{H}_3 при условии, что наступили события \hat{H}_1 и \hat{H}_2 .

Общая характеристика элементов операционного комплекса (рис.1)



Конец лекции !