

# Тема 11: «КАЧЕСТВО УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМАМИ»

## ВОПРОСЫ

1. Степень соответствия решений состояниям объекта управления
2. Критерии ценности информации и минимума эвристик

## Литература

1. Анфилатов В.С., Емельянов А.А., Кукушкин А.А. Системный анализ в управлении: Учебное пособие. – М., Финансы и статистика, 2002. – 368 с.
2. Спицнадель В. Н. Основы системного анализа: Учебное пособие – Санкт-Петербург, «Издательский дом «Бизнес-пресса», 2000 – 208 с.
3. Антонов А.В. Системный анализ: Учебное пособие для вузов. – М., Высшая школа, 2004. – 454 с.
4. Сурмин Ю.П. Теория систем и системный анализ: Учебное пособие. – Киев, МАУП, 2003. – 368 с.

# 1. СТЕПЕНЬ СООТВЕТСТВИЯ РЕШЕНИЙ СОСТОЯНИЯМ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

Система управления входит на правах подсистемы в любую предметно-ориентированную систему. Поэтому в соответствии с системным принципом измерения эффективность системы управления должна определяться на основе ее влияния на свойства системы в целом или на степень достижения цели функционирования этой системы.

Для оценки свойств системы введена эмпирическая порядковая шкала уровней качества. Свойства на этой шкале проранжированы в порядке возрастания их сложности. Шкала (см. лекцию 6) включает следующие свойства:

устойчивость;

помехоустойчивость;

управляемость;

способность к самоорганизации.

Рассмотрение уровней качества системы показывает, что оценка эффективности системы управления по влиянию на систему в целом вызывает определенные трудности, поскольку единый показатель эффективности, имеющий ясный физический смысл, отсутствует.

Поэтому эффективность систем управления обычно оценивают по частным показателям, относящимся к перечисленным уровням, выбираемым в зависимости от целей оценки.

Наиболее **общим** является **показатель**, называемый **степенью соответствия решений состояниям объекта управления**. Этот показатель может быть количественно определен с помощью **теории информации** через **условную энтропию**. Известно, что условная энтропия отражает качество управления в соответствии с **принципом необходимого разнообразия Эшби** в форме выражения

$$H(Y/X) = H(Y) - H(X) + H(X/Y).$$

Таким образом, энтропия объекта управления при наличии управления удовлетворяет неравенству  $H(Y/X) \geq H(Y) - H(X)$ . Это неравенство отражает предельные возможности управления. Достижение равенства возможно, когда управляющие воздействия и состояния объекта управления находятся в однозначном соответствии (когда управляющая система точно определяет отклонения состояния объекта управления под воздействием случайных возмущений среды  $N$  и точно вырабатывает нужное корректирующее воздействие). На практике случайные отклонения состояния объекта управления от заданного не поддаются точному определению. Известные погрешности возникают также при выработке корректирующих воздействий и при их исполнении объектом управления. В силу указанных причин однозначная связь между управляющими воздействиями и состояниями объекта управления будет отсутствовать и у  $H(X/Y)$  энтропия больше нуля.

**Критерий качества управления** по степени соответствия решений состояниям объекта управления может быть сформулирован как  $H(X)_{\text{треб}} \geq H(Y)$ ,

означает: требуемая энтропия системы управления должна быть не меньше энтропии объекта управления. Однако практическое использование данного критерия затрудняется из-за того, что в нем не учитывается содержательная сторона состояний объекта управления и воздействий системы управления.

**Пример 1.** Определить требуемую энтропию системы управления  $H(X)_{\text{треб}}$  при условии, что объект управления  $Y$  может находиться в двух состояниях  $\{y_1, y_2\}$ .

Пусть объект управления  $Y$  – это администратор локальной вычислительной сети (ЛВС). Состояние  $y_1$  означает выполнение им служебных обязанностей. Состояние  $y_2$  означает отклонение от правильного выполнения служебных обязанностей. Рассмотрим вероятность  $p$  нахождения объекта управления в различных состояниях:

1.  $p_1 = 0,5$  в состоянии  $y_1$ ;  $p_2 = 0,5$  в состоянии  $y_2$ .
2.  $p_1 = 0,9$  в состоянии  $y_1$ ;  $p_2 = 0,1$  в состоянии  $y_2$ .
3.  $p_1 = 0,1$  в состоянии  $y_1$ ;  $p_2 = 0,9$  в состоянии  $y_2$ .

Рассчитаем требуемую энтропию систем управления для каждого случая.

1. Определим энтропию объекта управления для случая 1:

$$\begin{aligned} H(Y) &= -\sum p_i \log_2 p_i = -\{0,5 \cdot \log_2 0,5 + 0,5 \cdot \log_2 0,5\} = \\ &= -\{0,5 \cdot (-1) + 0,5 \cdot (-1)\} = -\{(-0,5) + (-0,5)\} = 1 \text{ бит.} \end{aligned}$$

Так как должны выполняться условия  $H(X)_{\text{треб}} \geq H(Y)$  и  $H(Y)=1$ , значит,  $H(X)_{\text{треб}}(1) \geq 1$  бит.

2. Вычислим энтропию объекта управления для случая 2:

$$H(Y) = -\{0,9 \cdot \log_2 0,9 + 0,1 \cdot \log_2 0,1\} = -\{0,9 \cdot (-0,152) + 0,1 \cdot (-3,322)\} = 0,469 \text{ бит,}$$

значит,  $H(X)_{\text{треб}}(2) \geq 0,469$  бит.

Полученная величина меньше, чем энтропия системы управления для случая 1. Это означает, что управлять дисциплинированным сотрудником (вероятность выполнения которым своих обязанностей  $p_1 = 0,9$ ) легче, чем недисциплинированным, который с одинаковой вероятностью может как выполнять обязанности, так и уклоняться от них.

3. Определим энтропию объекта управления для случая 3:

$$H(Y) = -\{0,1 \cdot \log_2 0,1 + 0,9 \cdot \log_2 0,9\} = -\{0,1 \cdot (-3,322) + 0,9 \cdot (-0,152)\} = 0,469 \text{ бит,}$$

значит,  $H(X)_{\text{треб}}(3) \geq 0,469$  бит.

Из расчетов следует, что  $H(X)_{\text{треб}}(2) = H(X)_{\text{треб}}(3)$ . Это противоречит интуитивным представлениям о разных требованиях, которые должны предъявляться к системам управления для второго и третьего случаев. Приведенный пример показывает ограниченность критерия соответствия управляющих воздействий состояниям объекта управления. В целом недостатком статистического подхода является отсутствие учета семантики принимаемых решений. Снять эти ограничения удастся на основе анализа групп функций системы управления.



Такой анализ показал, что в аспекте построения систем основной вклад в эффективность управления вносят показатели *ценности информации* и *остаточной неопределенности принимаемых решений (минимума эвристик)*. Относительно систем управления критическими объектами важными являются показатели *устойчивости, непрерывности, оперативности (длительности цикла управления)* и *скрытности*.

## **2. КРИТЕРИИ ЦЕННОСТИ ИНФОРМАЦИИ И МИНИМУМА ЭВРИСТИК**

Принятие решений является основой управления, поскольку обеспечивает преобразование содержания информации о состоянии объекта управления в командную информацию на этапах контроля, анализа, планирования (прогнозирования) и оперативного управления (регулирования, координации действий). От *качества решений* в значительной мере зависит эффективность функционирования системы в целом.

***Качество решений*** – пригодность решений, получаемых на основе функций обмена информацией, рутинных функций, расчетных, логических и эвристических правил порождения и выбора альтернатив для перевода системы в целевое состояние.

Качество решений является составным свойством, вбирающим многие внутренние свойства процесса управления. Однозначное понимание, обоснованное объективными методами теории эффективности, на настоящее время не сформировалось. В целях устранения субъективизма в оценке качества решений такую оценку проводят по критерию *ценности информации* и критерию *минимума эвристик*.

В основе оценки качества решений в системах по данным критериям лежат понятия ценности информации, остаточной энтропии (неопределенности) решения  $H_{\text{ост}}$  и объектно-ориентированный подход к описанию предметной области.  $\{I_{\text{реш}}\}$ ,

*Под решениями будем понимать командную информацию* – множество получаемое  $\{f_{\text{реш}}\}$  в основе применения множества функций преобразования информации к исходным данным  $\{I_{\text{вх}}\}$  – множеству информации о состоянии объекта управления и внешней среды

Иначе говоря  $f_{\text{реш}} : I_{\text{вх}} \rightarrow I_{\text{реш}}$ . Решение есть процесс преобразования исходных данных в решение

Совокупность с  $I_{\text{вх}}$  или  $I_{\text{реш}}$ , реальном объекте, явлении или абстрактном понятии, относящемся к  $\{f_{\text{реш}}\}$  будем называть *информационным объектом*.

Каждый такой объект описывается именем, набором характеристик, определяющих его значение, и к  $\{f_{\text{реш}}\}$  – и множеством процедур преобразования значений, присваиваемых этому объекту –

Другими словами, информационный объект – это тип данных для представления некоторого объекта реального мира.

Информация, относящаяся к объекту, содержится в составляющих его характеристиках.

$$\langle i, \{ch_j(i)\}, \{f_j(i)\} \rangle,$$

где:  $i$  – имя объекта;

$\{ch_j(i)\}$  – множество характеристик (свойств, полей) объекта;

$\{f_j(i)\}$  – множество способов снятия неопределенности (вычисления значений характеристик, допустимых методов, операций) относительно объекта.

**Пример 2.** Представить информационный объект «ПЭВМ» в табличном виде.

Описание информационного объекта «ПЭВМ»

Имя характеристики $ch_j(i)$		Значение характеристики $ch_j(i)$	Способ определения значения характеристики $f_j(i)$
$ch_1(i)$	Процессор	Celeron	$\{f_p\} \cup \{f_o\}$
$ch_2(i)$	$F_{\text{ТАКТ}}$	333 МГц	$\{f_k\} \subset \{f_c\}$
...			
$ch_j(i)$	Назначение	АРМ ЛПР	$\{f_e\} \subset \{f_c\}$
...			
$ch_n(i)$	Исправность	Да	$\{f_i\} \subset \{f_c\}$

Принятые в примере 2 обозначения для способов определения значений характеристик  $f_j(i)$  рассматриваются далее.

Объекты образуют иерархию, по которой характеристики также являются объектами, порождающими единую многоуровневую структуру, описывающую объект управления, решаемые задачи и воздействующую среду.

На самом нижнем уровне иерархии объекты вырождаются в переменные, описываемые именем, множеством значений и множеством допустимых элементарных операций преобразования значений.



Ценность (полезность) информации разумно оценивать по тому эффекту, который она оказывает на результат управления. В связи с этим А.А. Харкевичем была предложена мера ценности информации  $I_{ц}$ , которая определяется как изменение вероятности достижения цели, реализации какой-либо задачи при получении дополнительной информации:

$$I_{ц} = \log p_1 - \log p_0 = \log(p_1 / p_0).$$

Здесь  $p_1$  начальная (до получения данной информации) вероятность достижения цели,  $p_0$  – вероятность достижения цели после получения данной информации. Физический смысл логарифмической единицы ценности информации состоит в том, что информация ценностью в  $p$  единиц позволяет повысить качество решения задачи в  $\log p$  раз.

При этом возможны, как минимум, три возможности.

1. Если полученная информация не изменяет вероятности достижения цели, ( $p_1 = p_0$ ), то  $I_{ц} = 0$ . Это означает, что ценность полученной информации равна нулю. Такая информация называется *информационным шумом*.

2. Если полученная информация может изменять ситуацию в худшую сторону, т.е. уменьшать вероятность достижения цели, ( $p_1 < p_0$ ), то  $I_{ц} < 0$ . Такая информация называется *дезинформацией*, которая измеряется отрицательным значением количества информации.

3. Если полученная информация может изменить положение дела в лучшую сторону, т.е. увеличить вероятность достижения цели, ( $p_1 > p_0$ ), то  $I_{ц} > 0$ .

*Такая информация называется полезной (ценной) информацией.*

При определении ценности учитывают существенность какого-либо события, своевременность получения информации о нем (рано, поздно, в нужное время), репрезентативность, содержательность, достаточность, доступность, актуальность, точность информации.

*Естественным критерием ценности информации служит правило*

$$I_{ц} = \max I_{ц}.$$

Для уяснения критерия минимума эвристик рассмотрим объекты относительно их изменчивости, вида информации, способа снятия неопределенности с их значений и веса в иерархии, представляющей принятое решение.

По изменчивости выделяют постоянную и переменную информацию.

**Постоянная** – это такая информация, которая, как правило, не меняется в течение нескольких циклов управления. Обычно это информация о структуре объекта: перечень характеристик (свойств, полей), процедур (методов), применимых к этим характеристикам, и связей между ними.

**Переменная информация** – информация, изменяющаяся в каждом цикле управления. Это в основном информация о значениях характеристик объекта, получаемая путем применения к нему допустимых процедур.

Изменчивость информации во времени влияет на ее семантическую ценность. Влияние этого изменения особенно сильно сказывается при решении задач оперативного управления. Информация о стихийном бедствии, полученная слишком поздно, не обладает никакой ценностью для жертв этого бедствия, поскольку изменить уже ничего нельзя. И наоборот, информация о прогнозе стихийного бедствия или аварии либо информация об их свершении, полученная вовремя, обладает большой ценностью, так как позволяет принять действенные меры. Поэтому в системах оперативного управления для повышения ценности поступающей информации, повышения уровня управляемости процессами стремятся сократить длительность цикла управления за счет систем автоматизированной обработки данных.

Влияние изменения семантической ценности информации на качество решения задач планирования в силу их специфики не так существенно. Однако если организация при разработке стратегии своего поведения перестает учитывать изменение информации, необходимой для планирования, то такая политика со временем также окажется устаревшей.

*По виду объекты разделяют на детерминированные, вероятностные и неопределенные (недостовверные, многозначные).* Процедуры получения значений характеристик этих объектов опираются на соответствующие методы, обеспечивающие разную степень точности решений.

**По способу снятия неопределенности объекты** разделяют на три группы. К первой группе относится заранее накопленная постоянная информация, неопределенность которой определяется неполнотой, недостоверностью и неполным соответствием содержанию решения. Эта неопределенность снимается за счет рутинных функций обработки информации  $\{f_p\}$  и функций обмена информацией  $\{f_o\}$ .

Преобразования, связанные с рутинной обработкой и обменом информации, получили наименование *информационных задач*. В основе автоматизированного решения информационных задач лежат сети обмена информацией, базы данных, информационно-справочные и информационно-поисковые системы.

Вторая группа объединяет информацию, относительно которой неопределенность разрешается с помощью функций принятия решений - преобразования соде  $\{r\}$  и  $\{l\}$ . информации на основе расчетов и логических процедур – множеств

Обратим внимание, что в эту группу включены не только собственно расчеты, но и логические задачи, основанные на формальной логике.

К третьей группе относится информация, относительно  $\{e\}$  ой неопределенность разрешается на основе эвристик – множества процедур волевых решений ЛПР, не подкрепленных объективными математическими методами. Наличие такого способа снятия неопределенности объясняется, с одной стороны, принципиальной невозможностью полного познания любого явления или объекта, ограниченностью наших знаний и познавательных возможностей, а с другой стороны – ограничением времени, выделяемого на

В эвристических процедурах существенное место занимают интуиция, выводы по аналогиям, немонотонные выводы, нечеткая логика, методы качественного анализа систем (активной коллективной работы).

По **весу** все составные информационные объекты можно проранжировать на основе экспертных оценок их вклада в принятое решение.

Итак, множество функций  $\{f_{\text{реш}}\}$  есть объединение множеств:

$$\{f_{\text{реш}}\} = \{f_p\} \cup \{f_0\} \cup \{f_c\},$$

где  $\{f_p\}$  – рутинные функции обработки;  $\{f_0\}$  – функции обмена информацией;  $\{f_c\}$  – функции преобразования содержания информации.

Отметим, что, во-первых,  $\{f_p\} \cap \{f_0\} \cap \{f_c\} \neq \emptyset$ , т.е. эти множества образуют классы толерантности, а, во-вторых,  $\{f_c\}$  является ведущей группой функций, поскольку состоит в создании новой информации, преобразовании информации о состоянии объекта управления и внешней среды в управляющую информацию в ходе анализа, планирования (прогнозирования) и оперативного управления (регулирования, координации действий).

В свою очередь,

$$\{f_c\} = \{f_k\} \cup \{f_l\} \cup \{f_e\},$$

где  $\{f_k\}$  – множество расчетных процедур;  $\{f_l\}$  – множество логических процедур;  $\{f_e\}$  – множество эвристических процедур.

Классификация информации по виду и задач по способу снятия неопределенности позволяет утверждать, что качество решений зависит от качества методов (типов процедур), применяемых для снятия неопределенности со структуры и значений характеристик объектов.



Неопределенность решений, снимаемая за счет информационных, расчетных и логических задач, может быть снижена до минимума, т.к. эти задачи обеспечивают обоснованный вывод решений. Неопределенность информации, снимаемая за счет эвристик, сохраняется, так как объективной процедуры обоснования выбранного решения может не быть. Эта неопределенность и называется **остаточной неопределенностью**  $H_{\text{ост}}$  **решения**

Величина  $H_{\text{ост}}$  может определяться как отношение взвешенной суммы эвристик к общей взвешенной сумме всех процедур получения значений характеристик информационного объекта:

$$H_{\text{ост}} = \frac{\sum \alpha_i n^{f_e}}{\sum \alpha_i n^{f_{\text{реш}}}}$$

где  $\alpha_i$  – вес процедуры получения значений,  $i = 1, \dots, m$ ;  $n^{f_e}$  – количество эвристик  $\{f_e\}$ , определяющих структуру или значения характеристик объекта, описывающего решение;  $n^{f_{\text{реш}}}$  – общее количество процедур обработки информации всех типов  $\{f_{\text{реш}}\}$ , определяющих структуру или значения характеристик объекта (решения).

Процесс принятия решений при таком представлении состоит в порождении объекта  $\{I_{\text{вх}}\}$  и сопоставлении ему объекта  $\{I_{\text{реш}}\}$  путем последовательного снятия неопределенности со структуры и получения значений соответствующих характеристик на основе  $\{f_s(i)\} \subset \{f_{\text{реш}}\}$ . Каждый этап этого процесса сопровождается переходом от общих представлений к конкретным данным, снимающим неопределенность с  $\{I_{\text{реш}}\}$ . Величина  $H_{\text{ост}}$  при этом зависит от допустимого времени принятия решения, ограниченного требованиями по оперативности, что отражает естественную связь процесса принятия решения с его продолжительностью.

Приведенные соображения позволяют сформулировать **принцип минимума эвристик**: чем меньше эвристических процедур в функциях принятия решения, тем качество решения выше.

В соответствии с этим принципом значение, принимаемое  $H_{\text{ост}}$  на момент окончания принятия решения, отражает обоснованность, а значит, качество решений. Поэтому эффективность принятия решений может оцениваться по разности между остаточной неопределенностью объекта  $H_{\text{ост}}$  (предоставляющего решение, полученное конкретной системой управления) и минимально возможной остаточной неопределенностью  $H_{\text{ост min}}$  для данного объекта при фиксации времени окончания принятия решений, как ограничения:  $H_{\text{реш}} = H_{\text{ост}} - H_{\text{ост min}}$  при  $T_{\text{реш}} \leq T_{\text{реш доп}}$ , где  $H_{\text{ост}}$  – остаточная неопределенность объекта, получаемая в конкретной системе управления;  $H_{\text{ост min}}$  – минимально возможная остаточная неопределенность для данного информационного объекта, получаемая в идеальной системе управления.

Критерием, отражающим принцип минимума эвристик для оценки качества решения, служит правило  $H_{\text{реш}} = \min(H_{\text{реш}})$ , в соответствии с которым лучшим считается решение, имеющее минимально возможную неопределенность.

В идеальной системе управления используются оптимальные (рациональные) процедуры (если они в принципе могут быть), и применение этих процедур приводит к получению решений за допустимое время. Следовательно,  $H_{\text{реш}} = 0$ . Это соответствует идеальному решению. Если в системе управления решения принимаются только на основе эвристик, то неопределенность в предельном случае соответствует случайному равновероятному выбору решения или отсутствию управления.

В реальных системах вместо некоторых оптимальных процедур получения значений характеристик объекта используются эвристики, если значения этих характеристик не могут быть получены за время, выделенное на принятие решения. Следовательно,  $H_{\text{ост}} > H_{\text{ост min}}$  и неопределенность решений  $H_{\text{реш}} > 0$ . Это дает основание проводить сравнение решений, получаемых в разных системах управления, в том числе с использованием автоматизированных систем поддержки принятия решений. Кроме того, критерий минимума эвристик в явном виде показывает зависимость качества решений от времени на принятие решения, соответствует цели, обладает полнотой, измеримостью, ясностью физического смысла, избыточностью и чувствительностью. Иллюстрация процесса снижения неопределенности решения для двух систем показана на рис. 1.

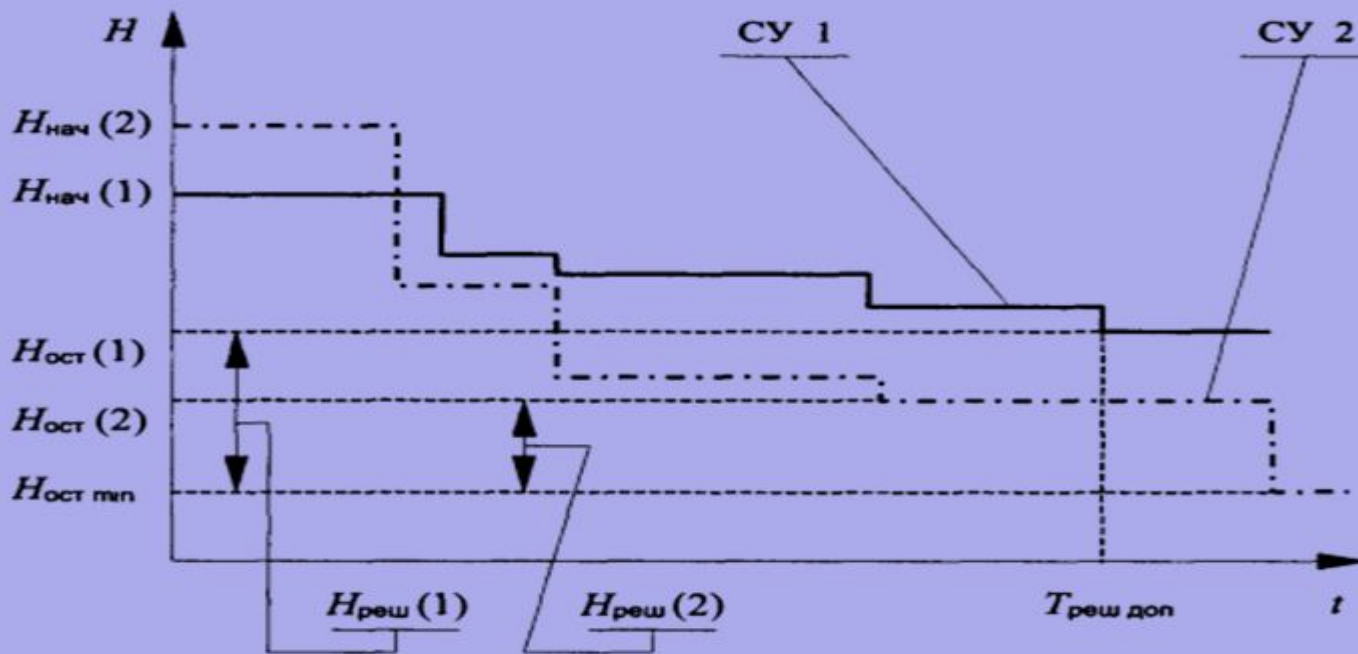


Рис. 1. Иллюстрация процесса снижения неопределенности решения

Из рис. 1 следует, что на момент  $T_{\text{реш доп}}$  неопределенность  $H_{\text{реш}}(1) > H_{\text{реш}}(2)$ , следовательно, качество решений в СУ 2 лучше, чем в СУ 1.

Здесь наглядно показана сущность противоречия между требованиями качества принимаемых решений и оперативностью управления: повышение качества решений требует увеличения длительности цикла управления. Это может привести к запаздыванию выдачи управляющих воздействий, и степень их соответствия состояниям объекта управления снижается. На ликвидацию этого противоречия направлены методы принятия решений, основанные на прогнозировании состояний системы и среды.

## **ВОПРОСЫ НА СЕМИНАР**

- 1. Степень соответствия решений состояниям объекта управления**
- 2. Критерии ценности информации и минимума эвристик**