

Лекция 27

Основы организационно-технического управления

План:

1. Задачи организационно-технического управления
2. Аксиомы теории управления
3. Принцип необходимого разнообразия Эшби

В теории управления принято считать, что системы с управлением создаются для достижения конкретных целей, которые определяются в рамках других наук, занимающихся исследованием конкретных систем. В зависимости от природы принято выделять три типа систем с управлением:

- организационные (социальные) системы управления;
- технические системы управления;
- организационно-технические (комплексные) системы управления.

Рассмотрим основные положения по управлению в организационно-технических системах, опираясь на базовые понятия.

1. Задачи организационно-технического управления

Здесь N - информация о состоянии внешней среды (внешние воздействия на объект управления), N' - информация о состоянии внешней среды, имеющаяся в управляющей системе, X - командная информация, Y - информация о состоянии объекта управления, Y' - информация о состоянии объекта управления, имеющаяся в управляющей системе.

Управляющая система реализует задачи целеполагания, стабилизации, выполнения программы, слежения или оптимизации и тем самым обеспечивает либо удержание выходных характеристик системы при изменениях внешней среды в требуемых пределах, либо выполнение системой действий по изменению значений ее характеристик или характеристик внешней среды.

Объект управления является исполнительным инструментом, реализующим основную функцию системы.

Система связи, являясь частью системы управления, обеспечивает обмен управляющей информацией между управляющей системой и объектом управления.

Задачами теории управления при таком рассмотрении являются:

- синтез структуры и параметров объекта управления, соответствующих цели (закону функционирования) создаваемой системы с управлением;
- синтез структуры и параметров управляющей системы, т.е. построение структуры управления с учетом ограничений по затратам различного вида (численность управленческого персонала и др.); определение мест размещения центров обработки информации; определение массивов информации, подлежащих передаче, хранению и обработке;
- синтез структуры и параметров системы связи.

Единых методов решения перечисленных задач для всех типов систем на настоящее время не существует. Однако для всех типов систем с управлением при-

знается существование ряда аксиом и принципов управления, знание которых позволяет квалифицированно решать задачи управления.

2. Аксиомы теории управления

Для управлений необходимо выполнение ряда естественных условий, которые сформулируем в виде аксиом.

Аксиома 1. Наличие *наблюдаемости объекта управления*. В теории управления ОУ считается наблюдаемым в состоянии $z(t)$ на множестве моментов времени T при входном воздействии $x(t)$ и отсутствии возмущений, если уравнение наблюдения динамической системы, представленное в виде

$$y^*(t) = g[t, x(t), z^*(t)],$$

где $y^*(t)$ - некоторая реализация выходного процесса, доступная для регистрации, имеет единственное решение

$$z^*(t) = z(t) \in Z.$$

Если это утверждение справедливо для любого $z(t) \in Z$, то объект считается полностью наблюдаемым.

Это выражение означает, что определение любого из состояний ОУ (т.е. его наблюдаемость) реализуется только в том случае, если по результатам измерения выходных переменных $y^*(t)$ при известных значениях входных переменных $x(t)$ может быть получена оценка $z^*(t)$ любой из переменных состояния $z(t)$.

Такая задача в теории систем известна как *задача наблюдения*. В организационно-технических системах управления эта задача реализуется функцией *контроля* текущего состояния ОУ и воздействий внешней среды. Без этой информации управление или невозможно, или неэффективно.

Аксиома 2. Наличие *управляемости* - способности ОУ переходить в пространстве состояний Z из текущего состояния в требуемое под воздействиями управляющей системы. Под этим можно понимать перемещение в физическом пространстве, изменение скорости и направления движения в пространстве состояний, изменение структуры или свойств ОУ. Если состояние ОУ не меняется, то понятие управления теряет смысл.

Аксиома 3. Наличие *цели управления*. Под целью управления понимают набор значений количественных или качественных характеристик, определяющих требуемое состояние ОУ.

Если цель неизвестна, управление не имеет смысла, а изменение состояний превращается в бесцельное блуждание. Цель отображается точкой, в которую надо перевести систему из существующего состояния, или траекторией перевода ОУ в требуемое состояние в виде, например, аддитивной свертки

$$\max F = \sum_{i=1}^n a_i y_i$$

с ограничениями типа

$$\sum_{i=1}^n b_i y_i \leq c,$$

где y_i - i -я характеристика;

a_i - важность (вес) i -й характеристики;

b_i - расход ресурсов на поддержание i -й характеристики в требуемом состоянии;

c - общее количество ресурсов.

Аксиома 4. Свобода выбора - возможность выбора *управляющих воздействий (решений)* из некоторого множества допустимых альтернатив. Чем меньше это множество, тем менее эффективно управление, так как в условиях ограничений оптимальные решения часто остаются за пределами области адекватности. Если имеется единственная альтернатива, то управление не требуется. Если решения не влияют на изменение состояния ОУ, то управления не существует.

Аксиома 5. Наличие *критерия эффективности управления*. Обобщенным критерием эффективности управления считается степень достижения цели функционирования системы.

Кроме степени достижения цели качество управления можно оценивать по частным критериям: степени соответствия управляющих воздействий требуемым состояниям ОУ, качеству принимаемых решений, точности управления. Для оценки систем управления военного назначения вводятся требования к управлению по показателям устойчивости, непрерывности (длительности цикла управления), оперативности и скрытности.

Аксиома 6. Наличие *ресурсов* (материальных, финансовых, трудовых и т.д.), обеспечивающих реализацию принятых решений. Отсутствие ресурсов равносильно отсутствию свободы выбора. Управление без ресурсов невозможно.

3. Принцип необходимого разнообразия Эшби

Из аксиом управления следует, что управление заключается в ограничении разнообразия состояний управляемого объекта. Это означает, что энтропия объекта управления должна быть равна нулю $H(Y) = 0$. Иными словами, неопределенность относительно состояний объекта управления в управляющей системе должна полностью отсутствовать и объект управления должен находиться в строго определенном состоянии с вероятностью, равной единице.

Если управляемый объект характеризуется одним показателем качества y^l и может находиться в n состояниях $y_1^l, y_2^l, \dots, y_n^l$ с вероятностями $p(y_1^l), p(y_2^l), \dots, p(y_n^l)$, то сообщение Y о том, в каком из состояний находится объект в системе с полной информацией, будет содержать количество информации, равное его энтропии

$$H(Y) = - \sum_{i=1}^n p(y_i^l) \log_2 p(y_i^l),$$

Для оценки состояний объекта, характеризуемого m показателями качества y^j , требуется провести суммирование и по j , $j = 1, 2, \dots, m$.

Энтропия $H(Y)$ является мерой первоначальной неопределенности состояния объекта управления. Чем больше число различных состояний объекта и чем меньше отличаются друг от друга их вероятности, тем больше энтропия объекта управления. При n равновероятных состояниях $p_i = 1/n$ значение энтропии максимально: $H(Y)_{\max} = \log_2 n$.

С получением сведений об объекте управления неопределенность его состояния для управляющей системы уменьшается. Количество взаимной информации в со-

общениях, предназначенных для уточнения состояния (уменьшения энтропии) объекта управления, определяют как разность:

$$I(Y, Y') = H(Y) - H(Y/Y'),$$

где $H(Y/Y')$ - условная энтропия объекта после получения сообщения Y' .

Если полученное сообщение полностью характеризует состояние объекта, то оно полностью снимает неопределенность ($H(Y/Y')=0$) и несет количество информации, равное $H(Y)$.

Из теории информации также известно, что количество информации обладает двумя важными свойствами: положительностью и симметричностью. Первое свойство свидетельствует о том, что количество информации всегда больше или равно нулю ($I \geq 0$). Согласно второму свойству количество взаимной информации $I(A, B)$, которое содержит принятое сообщение о посланном, равно количеству взаимной информации $I(B, A)$, которое содержит посланное сообщение о принятом

$$I(A, B) = I(B, A).$$

Указанные характеристики информации позволяют провести анализ управляющих воздействий относительно их соответствия состояниям управляемого объекта. Иначе, определить пределы управления.

Пусть существует система с управлением, в которой решается задача стабилизации - поддержание заданного состояния при случайных воздействиях внешней среды. Система описывается множеством возможных состояний объекта управления $Y = \{y_i\}$, $i = 1, 2, \dots, n$, и множеством возможных управляющих воздействий $i = 1, 2, \dots, m$.

Для определения пределов управления рассмотрим три возможных варианта:

- 1 Отсутствие Управления.
- 2 Идеальное управление (управление с полной информацией).
- 3 Реальное управление (управление с неполной информацией).

1 *Отсутствие управления.* Если управление отсутствует, то управляемый объект может принимать любое из состояний Y и характеризуется максимальной энтропией

$$H(Y) = -\sum_{i=1}^n p(y_i) \log_2 p(y_i) = H(Y)_{\max}.$$

2 *Идеальное управление.* Если управление идеальное, управляемый объект будет все время находиться в заданном состоянии с вероятностью, равной единице, и поэтому энтропия управляемого объекта равна нулю.

Проиллюстрируем это утверждение. Пусть для заданной системы при условии воздействий X вероятность первого состояния $p(y_1)$, а вероятности остальных состояний $\sum_{i=2}^n p(y_i) = 0$. Следовательно,

$$\begin{aligned} H(Y/X) &= -\{p(y_1) \cdot \log_2 p(y_1)\} + \left\{ \sum_{i=2}^n p(y_i) \cdot \log_2 p(y_i) \right\} = \\ &= -\{1 \cdot \log_2 1\} + \left\{ 0 \cdot \sum_{i=2}^n \log_2 p(y_i) \right\} = -\{1 \cdot 0\} + \{0\} = 0. \end{aligned}$$

3 *Реальное управление.* При управлении в реальных условиях имеют место отклонения состояния управляемого объекта относительно заданного. Это определяется тем, что управляющая система в общем случае подвержена внешним воздействиям, не обладает полной информацией о состоянии среды N и объекта управления $Y(N' \subset N \text{ и } Y' \subset Y)$. Это приводит к тому, что управляющие воздействия не полностью соответствуют требуемым воздействиям. В этом случае можно сделать вывод, что энтропия объекта управления в реальных условиях может изменяться в пределах

$$0 < H(Y/X) < H(Y)_{\max}.$$

Качество управления может определяться количеством взаимной информации $I(X, Y)$ в управляющих воздействиях X относительно состояний управляемого объекта Y , вычисляемой как разность между безусловной и условной энтропией

$$H(Y)_{\max} - H(Y/X) = I(X, Y) \quad (4.1)$$

что соответствует уменьшению энтропии управляемого объекта на величину, равную полученной информации.

С другой стороны, количество взаимной информации $I(X, Y)$ в управляющих воздействиях X относительно состояний управляемого объекта Y может быть выражено как разность энтропии управляющей системы $H(X)$ и условной энтропии управляющей системы после получения сообщения о состоянии управляемого объекта $H(X/Y)$:

$$I(X, Y) = H(X) - H(X/Y) \quad (4.2)$$

Подставив выражение (4.2) в правую часть выражения (4.1), получим

$$H(Y)_{\max} - H(Y/X) = H(X) - H(X/Y). \quad (4.3)$$

После переноса $H(Y)_{\max}$ из левой части выражения (4.3) в правую часть и замены знаков получим

$$H(Y/X) = H(Y)_{\max} - H(X) + H(X/Y) \quad (4.4)$$

Выражение (4.4), определяющее предельные возможности управления, показывает, что для повышения качества управления, т.е. уменьшения энтропии $H(Y/X)$, необходимо:

- уменьшать разнообразие состояний управляемого объекта $H(Y)$;
- увеличивать разнообразие управляющих воздействий $H(X)$, приближая его к разнообразию состояний управляемого объекта $H(Y)$;
- уменьшать неоднозначность управляющих воздействий относительно состояний объекта управления $H(X/Y)$, что возможно при наличии полной информации об управляемом объекте и внешней среде.

Иными словами, *нужно стремиться к тому, чтобы на каждое возможное состояние управляемого объекта имелось свое управляющее воздействие*, чтобы существовала возможность использования управляющих воздействий в зависимости от состояния, и чтобы всякий раз обеспечивался выбор того воздействия, которое соответствует состоянию объекта управления. Выражение (4.4) отражает фундаментальный принцип кибернетики, известный как принцип необходимого разнообразия (принцип У. Росса Эшби) и формулируемый кратко так: «Разнообразие управляющей системы должно быть не меньше разнообразия объекта управления».

Согласно данному принципу с увеличением сложности объекта управления сложность управляющей системы должна увеличиваться. При управлении нужно располагать возможно более точной и полной информацией об управляемом объекте и внешней среде.

Из этого принципа следует, что энтропию объекта управления (многообразие состояний регулируемых переменных) можно понизить до желаемого уровня (что и является целью регулирования), только увеличив энтропию управляющей системы (многообразие регулирующих переменных) по меньшей мере до соответствующего минимума.

Принцип утверждает, что производительность любого физического устройства как регулятора не превышает его производительности, как канала связи.

К сожалению, условная энтропия $H(Y/X)$ не может считаться исчерпывающей характеристикой качества управления даже в теоретическом плане. Дело в том, что значение энтропии зависит лишь от распределений вероятностей, но не от самих значений случайной величины. Между тем довольно часто более важны сами значения случайных отклонений, а не их вероятности. Кроме того, возможности управления ограничиваются и некоторыми другими факторами, например временем обработки информации в управляющем объекте и передачи ее по каналам прямой и обратной связи.