

## 6 МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ

Управление - целенаправленная организация того или иного процесса, протекающего в системе. В общем случае процесс управления состоит из четырех элементов:

- получение информации о целях (задачах) управления  $\{Z^*\}$ ;
- получение информации о состоянии среды и результатах управления (т. е. о поведении объекта  $Y$ )  $J = \{X', Y'\}$ ;
- анализ полученной информации и выработка целенаправленных информационных решений  $U$ ;
- исполнение решения - осуществление управляющих физических воздействий  $U'$ .

Мы видим, что процесс управления - это ИП, каждая фаза которого протекает во взаимодействии с окружающей средой при воздействии различного рода помех. Из этого следует важнейшая роль информатики и ее главного инструмента — компьютерных ИС и технологий для реализации эффективного управления в современных системах самого различного назначения. Цели и ограничения процесса управления зависят от существа решаемой задачи.

Классификация СУ может осуществляться различным образом [1-5]. Прежде всего, она осуществляется по типовым задачам управления.

В СУ решаются обычно задачи четырех типов: стабилизация, выполнение программы, слежение, оптимизация.

Стабилизация объекта управления состоит в поддержании его выходных параметров (состояний) вблизи некоторых заранее известных значений, несмотря на действие помех, и различного рода возмущений (например, стабилизация напряжения и частоты тока в сети вне зависимости от возникающих изменений потребления электроэнергии).

Задача выполнения программы возникает в случаях, когда значения управляемых величин должны изменяться во времени по заранее заданному детерминированному закону (например, траектория полета ракеты, выполнение работ по заранее намеченному графику), который не может быть изменен в процессе движения и фактически не зависит от состояния объекта.

Задача слежения реализуется в тех ситуациях, когда изменение значений управляемых параметров заранее неизвестно, т. е. когда они зависят от значений состояний другого объекта (системы), которым мы управлять не можем. Тем не менее, в процессе слежения требуется обеспечить как можно более точное соответствие между текущим состоянием управляемого объекта и состоянием другой системы (например, управление производством в условиях изменения спроса, слежение за целью и наведение ракеты на цель). Слежение, в отличие от программного управления, всегда предполагает изменение управляемых параметров по результатам наблюдения за состояниями объекта управления и объекта

слежения.

Задача оптимизации в системах, реализующих, соответственно, оптимальное управление, состоит в том, что требуется наилучшим образом в смысле минимизации (максимизации) заданного показателя выполнить поставленную задачу при определенных условиях и ограничениях. Понятие оптимальности каждый раз конкретизируется. В качестве примера задачи оптимизации можно привести задачу распределения различного рода ресурсов с целью получения максимальной прибыли, снижении стоимости работ и т. п.

По степени участия человека в процессе управления системы управления делятся на два больших класса: системы автоматического управления (САУ) и автоматизированные системы управления (АСУ). В САУ управление объектом или системой осуществляется без участия человека автоматическими устройствами. Это замкнутые системы. Основные задачи, решаемые САУ, относятся к задачам стабилизации, выполнения программы (контроль и измерение, сигнализация и защита, пуск и остановка двигателей, автоматическое регулирование технологических процессов и т. п.). В АСУ в контур управления включен человек, на которого возлагаются функции принятия важных решений и ответственность за принятые решения. АСУ обычно используются для управления сложными объектами при решении оптимизационных задач и задач слежения. Таким образом, АСУ это сложные человеко-машинные системы, использующие современные экономико-математические методы, средства электронно-вычислительной техники и новые организационные принципы управления.

Как теперь уже очевидно, важнейшим принципом классификации СУ является их разделение на простые и сложные, что отвечает потребностям управления простым или сложным объектом.

Формализация процессов и синтез управления в простых системах осуществляются на основе существующей методологии теории автоматического управления (регулирования). Реализация управления в сложных организационно-технических системах в соответствии с кибернетическим подходом предусматривает аналитическое рассмотрение и выполнение нескольких этапов. Этот анализ является основой для принятия решений в процессе управления. При его проведении следует обязательно учитывать следующие факторы сложности объекта управления: отсутствие законченного математического описания; стохастический характер поведения; развивающийся характер поведения; негативность к управлению; невозпроизводимость в эксперименте.

В этом плане объект управления (как развивающаяся и стохастическая система) все время как бы перестает быть сам собой, что предъявляет требования к постоянной коррекции всех основных компонентов организации процесса управления (цели управления, поведенческой модели объекта и т. п.). Подобные особенности процесса функционирования сложной СУ часто приводят к тому, что цель управления таким объектом в

полной мере не достигается, как бы совершенно и сложно не было бы управление. Все это иллюстрирует схема [3], представленная на рис. 6.1. В ней процесс управления сложной системой представлен следующими этапами.



Рисунок 6.1- Этапы организации процесса управления

**1. Формирование целей управления.** Определение совокупности целей  $\{Z^*\}$  является наименее формализуемым этапом. Оно базируется на реализации различного рода методов системного анализа и эвристических приемов для определения целевых функций и показателей качества управления. При этом в процессе своего общения с внешней средой субъект фиксирует свое внимание на тех ее параметрах, которые непосредственно связаны с его потребностями и могут быть им изменены в соответствии с имеющимися средствами и ресурсами. Для этого вводится вектор целевых переменных  $Z = (z_1, \dots, z_p)^T$ , где  $z_i = \Psi_i(S)$  есть функция состояния внешней среды  $S$ . Напомним, что  $S = \langle X, Y \rangle$ , т. е. определяется состоянием и той частью среды (пока еще нами не выделенной), которую мы называем объектом управления.

Свою цель субъект формирует в виде совокупности данных  $Z^* = \{z_1^*, \dots, z_p^*\}$ , где  $z_i^*$  -  $i$ -е требование к состоянию среды. Цели – требования  $Z^* = \{z_1^*, \dots, z_p^*\}$  при этом могут иметь различный характер, но их форма может быть унифицирована. Обычно

различают три формы представления цели: «приравнять», т. е. обеспечить соответствие некоторого набора целевых переменных заданным

значениям  $z_{i_1}^* : z_{i_1} = a_{i_1}$ , где  $i_1 \subset I_1$  - множество индексов соответствующих целевых переменных (типично для стабилизации или слежения); «ограничить», т. е. обеспечить  $z_{i_2}^* : a_{i_2} \leq z_{i_2} \leq b_{i_2}$  - нахождение набора целевых переменных в определенных областях значений, где  $i_2 \subset I_2$  - множество индексов этих переменных (типично для выполнения программы); «минимизировать», т. е. обеспечение изменение целевых параметров в область экстремума  $z_{i_3}^* : z_{i_3} \rightarrow \min$ , где  $i_3 \subset I_3$  - множество их индексов (задача оптимизации). Здесь выполняется  $I_1 \cup I_2 \cup I_3 = \{1, \dots, P\}$  и  $I_1 \cap I_2 \cap I_3 = \emptyset$ , т. е. эти наборы компонентов совокупности  $Z^* = \{z_1^*, \dots, z_P^*\}$  не пересекаются.

2. **Определение объекта.** Этот этап связан с выделением той части среды, состояние которой субъект может изменить в выгодном для себя направлении. Необходимость этапа связана с тем, что в сложных ситуациях порой очень трудно понять, где кончается среда и начинается объект. Цели и ресурсы управления позволяют выделить ту часть среды, которую необходимо контролировать и на которую следует воздействовать с тем, чтобы добиться выполнения целей. Объект должен быть в определенном смысле минимальным, т. е. иметь наименьший объем. Это необходимо в интересах минимизации трудоемкости его изучения при последующем синтезе модели поведения. При этом существенным ограничением выступает достижимость множества допустимых целей  $\{Z^*\}$  в рамках выделенного ресурса  $Q$ . Это означает, что для любого состояния среды  $S$  должно в идеале существовать такое управление  $U^*$ , с помощью которого можно добиться любой допустимой цели  $Z^* \in \{Z^*\} : q(U^*) \in Q$ .

3. **Структурный синтез модели.** Этот и последующий этапы связаны с решением задачи создания модели поведения объекта, которая нужна для синтеза управления. Только с помощью модели объекта можно построить управление  $U^*$ , обеспечивающее перевод объекта в требуемое состояние, связанное с достижением цели  $Z^*$ . Модель  $F$ , связывающая входы  $X$  и  $U$  с выходом объекта  $Y$ , определяется структурой  $W$  и параметрами  $H : F = \langle W, H \rangle$ . Этап структурного синтеза модели включает: определение внешней структуры; декомпозицию модели; определение внутренней структуры.

Определение внешней структуры сводится к содержательному описанию входов  $X, U$  и выхода  $Y$  без учета внутренней структуры (объект рассматривается как «черный ящик»).

Декомпозиция модели заключается в том, чтобы на основе априорных сведений об объекте, упростить задачу синтеза структуры модели путем выделения основных функциональных действий (операций) или функциональных подсистем (модулей), определяющих поведение объекта.

Определение внутренней структуры модели сводится к определению вида оператора

$$Y = F(X, U, H),$$

т. е. определение  $F$  как оператора преобразования входных воздействий  $X, U$  в выходные  $Y$ , где  $H$  - рассматриваются как неизвестные параметры модели. Подобное представление называется параметризацией модели.

**4. Параметрический синтез модели.** Данный этап направлен на определение параметров  $H$  модели в рамках сформированного структурного описания. В зависимости от способа получения этой информации различают два подхода: идентификацию параметров и планирование эксперимента с выделенным объектом.

4.1. *Идентификация параметров модели.* Этот подэтап состоит в определении числовых характеристик  $H$  в режиме нормального функционирования объекта путем наблюдения, т. е. без организации специальных воздействий на него. Исходной информацией для проведения идентификации являются структура  $W$  и результаты наблюдений за проявлениями входа  $X$  и выхода  $Y$  объекта при его взаимодействии со средой. Делается это стандартными приемами теории идентификации систем, на основе которых определяется зависимость  $Y$  от  $X, U$  при их непреднамеренном изменении. Таким образом, на основе анализа получаемой реакции модели объекта определяют  $H$ .

4.2. *Планирование эксперимента.* Во многих ситуациях оказывается, что не все входы объекта ( $X$  и  $U$ ) изменяются в процессе его нормальной эксплуатации. Так, не изменяются те компоненты  $U$ , на которые не влияет состояние среды. Поэтому для выяснения зависимости выхода объекта от входных параметров такого рода необходимо их варьировать, т. е. проводить эксперимент с объектом. Организация специальных воздействий, позволяющих, минимально возмущая объект, получать необходимую информацию о влиянии на него возможного управления, и составляет существо подэтапа планирования эксперимента. Здесь проводится синтез плана эксперимента, позволяющего с максимальной эффективностью определить искомые характеристики модели объекта управления. Для статического объекта этот план  $U$  представляет собой набор состояний управляющего входа  $U = \{U_1, \dots, U_N\}$ , а для динамического - план-функцию  $\tilde{U}(t)$ ,  $0 \leq t \leq T$ . Проводимый эксперимент дает возможность определять реакции  $\{Y_1, \dots, Y_N\}$  или  $\tilde{Y}(t)$  на эти воздействия, причем не только в виде численных значений, но и в аналитическом виде с использованием различного рода аппроксимаций. Полученные пары  $\langle U_i, Y_i \rangle$ ,  $i = \overline{1, N}$  или  $\langle \tilde{U}_i, \tilde{Y}_i \rangle$  являются исходной информацией для определения параметров модели объекта  $H$ .

**5. Синтез управления.** На этом этапе принимается решение о том, каково должно быть управление  $U^*$ , чтобы достичь заданной цели управления  $Z^*$ . Данное решение опирается на полученную модель  $F$ , сформулированную цель  $Z^*$ , информацию о состоянии среды  $X$ , объекта  $Y$  и выделенном ресурсе  $Q$ , который определяет ограничения, накладываемые

на управление в связи со спецификой объекта и возможностями субъекта. Полученное управление должно быть оптимальным с точки зрения реализации цели. Способ решения задачи существенно зависит от вида модели объекта  $F$ . Если объект статический, т. е.  $F$  - функция, то получаем задачу математического программирования, а если динамический, т. е.  $F$  — оператор, то получаем задачу вариационного исчисления.

6. **Реализация управления.** На данном этапе фактически осуществляется отработка оптимального информационного решения  $U^*$ , полученного на предыдущем этапе, в виде некоторых воздействий на объект. Реализовав управление и убедившись, что цель управления не достигнута (напомним, что речь идет в общем случае об управлении сложным объектом), приходится возвращаться к одному из предыдущих этапов.

7. **Коррекция (адаптация).** Специфика управления сложной системой состоит в том, что вследствие наличия помех и различного рода неопределенностей информация, полученная на предыдущих этапах, только приближенно отражает состояние системы в текущий момент времени и не позволяет в полном объеме реализовать оптимальное управление. Это вызывает необходимость коррекции ранее полученных результатов. Коррекция может затрагивать различные этапы, вплоть до изменения целей управления. Важно отметить, что данный этап является не просто передаточным звеном для осуществления возврата к предыдущим этапам. Очевидно, что здесь должна выполняться определенная аналитическая работа по выявлению причин негативных ситуаций и тех этапов, результаты которых в первую очередь нуждаются в коррекции.

Представленная схема наглядно иллюстрирует отличия процессов управления в простой и сложной системе. Главное из них состоит в том, что для простой системы изначально задана цель, имеется строго определенная модель объекта, на основе которой синтезируется оптимальное управление, и нет необходимости в этапе коррекции (адаптации).

Следует отметить, что не все из описанных выше семи этапов управления присутствуют при организации управления в сложных системах. В ряде случаев некоторые из них выпадают. Например, объект управления может быть заранее выделен из среды или нет необходимости проведения некоторых подэтапов, связанных с построением модели.

Необходимо также отметить, что моделирование в широком смысле и компьютерное моделирование, в частности, является в данном случае своеобразным механизмом развития СУ [4] и обеспечивает как познание действующих в объекте управления закономерностей, так и совершенствование используемых методов и средств управления.

Контрольные вопросы:

1. Охарактеризуйте процесс управления как ИП.

2. Назовите основные этапы организации управления в сложных системах.

3. Сформулируйте постановку задачи анализа системы.

4. Сформулируйте постановку задачи синтеза системы.

#### Используемая литература:

1. Острейковский В. А. Теория систем. М.: Высшая школа, 1997. 240 с.
2. Анфилатов В. С., Емельянов А. А., Кукушкин А. А. Системный анализ в управлении. М.: Финансы и статистика, 2005. 368 с.
3. Системный анализ и принятие решений: Словарь-справочник / Под. ред. В. Н. Волковой, В. Н. Козлова. М.: Высш. шк., 2004. 616 с.
4. Денисов А. А., Колесников Д. Н. Теория больших систем управления. Л.: Энергоиздат, 1982. 288 с.
5. Мухин В. И. Исследование систем управления. М.: «Экзамен», 2006. 479 с.
6. Ползунова Н. Н. Краев В. Н. Исследование систем управления. М.: Академический проект, 2004. 176 с.
7. Шрейдер Ю. А., Шаров А. А. Системы и модели. М.: Радио и связь, 1982. 152 с.