

# Однородное моделирование систем управления технологическими процессами

И.С. Павловский,  
с.н.с., к.т.н., pavlovskiy@ipu.ru,  
ИПУ РАН, г. Москва

Доклад посвящен целостному представлению систем управления технологическими процессами (СУТП) на основе однородных иерархических моделей элементарных систем управления (ЭСУ). Путем интеграции ЭСУ образуется сеть однородных элементов управления. Благодаря бинарному, однородному и ориентированному характеру этой сети возможно получение модели иерархического представления и количественных показателей оценки целостности структуры СУТП.

The report is devoted to an integral view of the manufacturing control systems (MCS) based on homogeneous hierarchical models of elementary control systems (ECS). By integrating the ECS, a network of homogeneous elements of control is formed. Due to the binary, homogeneous and oriented nature of this network, it is possible to obtain a hierarchical representation model and quantitative indicators for assessing the integrity of the structure of the MCS.

## Введение

Современная СУТП представляет собой сложную систему, в которой большое количество подсистем объединено сложными пространственно-временными связями. К сложности взаимосвязей подсистем СУТП добавляется их разнотипность, которая выражена включением в данные подсистемы элементов администрирования, менеджмента, автоматики и автоматизации в силу организационно-технического характера СУТП.

Таким образом, СУТП по своей сути является организационно-технической системой, обеспечивающей взаимодействие «машин и людей» и управление процессами, протекающими в течении жизненного цикла продукта производства.

В процессе функционирования СУТП неизбежно возникают изменения, связанные с улучшением технологических процессов, внедрением новых технологий, производством новых продуктов и др.

В условиях изменения подсистем и взаимосвязей между подсистемами в СУТП важно обеспечить ее целостность как основную системообразующую характеристику, присущую любой системе.

## 1. Понятие целостности в теории систем

Суть целостности системы раскрывают следующие замечания [1]:

1. Свойства системы (целого)  $Q_s$  не является простой суммой свойств составляющих ее элементов (частей)  $q_{ij}$ :

$$Q_s \neq \{q_{ij}\}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, n_i} \quad (1)$$

2. Свойства системы (целого) зависят от свойств составляющих ее элементов (частей):

$$Q_s = f(\{q_{ij}\}). \quad (2)$$

3. Объединенные в систему элементы (части), как правило, утрачивают часть своих свойств, присущих им вне системы, т.е. система как бы подавляет ряд свойств элементов. Кроме того, элементы (части), попав в систему, могут приобрести новые свойства.

$$q_{ij} \neq q_{ij}^s. \quad (3)$$

Таким образом, целостность проявляется в системе в возникновении у нее новых интегративных свойств, которые отсутствуют у ее элементов. При этом отметим, что целостность всей системы обеспечивается существованием четких связей между элементами, сближение которых делает их совершенно необходимыми друг для друга в интересах системы [2].

## 2. Оценка структурной целостности на основе иерархического упорядочения системы

В теории систем закономерность целостности рассматривается в тесной связи с закономерностью иерархичности, согласно которой наряду с первичностью системы как целого над ее элементами утверждается и принципиальная иерархическая организация системы [3].

В силу закономерности иерархичности, существует возможность установления строгого порядка подчиненности между элементами системы. Это означает, что системообразующими являются иерархически упорядоченные связи. Связи, направление которых противоположно иерархически упорядоченному общему направлению связей, приводят к противоречиям в системе. Такие противоречивые связи не позволяют системе приобретать новые свойства и, тем самым, негативно влияют на степень целостности системы.

Таким образом, целостность проявляется в системе в иерархических связях между элементами, в которых отсутствуют противоречия [4].

Подводя итог, отметим, что закономерность иерархичности может служить своеобразным индикатором противоречивых связей между элементами в системе, количество которых позволяет сделать вывод о степени целостности системы: от абсолютной аддитивности (максимальной самостоятельности элементов) до абсолютной целостности (минимальной самостоятельности элементов) [5].

Основная проблема оценки целостности на основе иерархической упорядоченности ее элементов заключается в построении единой системообразующей иерархической структуры, которая наиболее полно учитывает многообразие отношений между элементами в сложной системе.

### 3. Иерархическая упорядоченность СУТП посредством однородных элементов и связей

Оценить целостность структуры такой разнородной системы как СУТП достаточно сложно, так как разнородные по своему характеру элементы и связи трудно сопоставимы, поскольку не имеют общей шкалы для их измерения и сравнения.

Поэтому оценить возможно только такую структуру СУТП, которая представлена однородными элементами и связями [6].

В связи с этим актуальной является задача поиска (выявления, установления) однородных элементов и связей в СУТП для формирования однородной иерархической структуры СУТП.

### 4. Системный подход к поиску однородных элементов и связей в СУТП

Для решения поставленной задачи с точки зрения системного подхода необходимо выбрать системообразующий конструктивный элемент структуры СУТП, который может быть представлен в иерархическом виде. Путем интеграции таких элементов возможно получить иерархическую структуру СУТП.

В качестве такого конструктивного элемента может быть рассмотрена элементарная система управления (ЭСУ).

Основная идея использования системного подхода для оценки целостности СУТП заключается в рассмотрении ЭСУ, с одной стороны, как системы однородных элементов управления, а с другой - как элемента единой структуры СУТП.

В этой связи, следует подчеркнуть, что элементарная система управления должна отражать содержание процессов, протекающих как в самой простой, так и в самой сложной системе управления.

Данное требование отражает концептуальный характер ЭСУ.

### 5. Концептный подход к определению состава элементарной системы управления

В ходе исследований определений основных понятий из общей теории управления [7] выявлены концепты управления [8, 9]. Концептное представление процесса управления приведено на рис. 1.

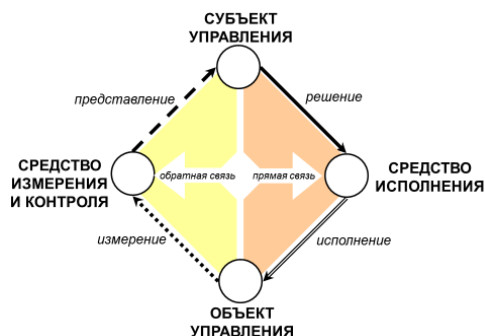


рис. 1 Концептная модель управления

Здесь концепты «субъект управления», «средство исполнения», «объект управления», «средство измерения и контроля» – это элементы управления; концепты «измерение», «представление», «решение», «исполнение» - функции элементов управления.

Необходимо отметить, что функции «решение» и «исполнение» образуют прямую связь в системе управления, тогда как функции «измерение» и «представление» – обратную связь. Кроме того, данное представление описывает цикл управления, который начинается с измерения свойств объекта управления и завершается исполнением управляющего воздействия для их целенаправленного изменения. Цель управления выражена концептом «объект управления», а, точнее, желаемыми значениями свойств этого объекта.

### 6. Выявление однородности в обобщении и абстрагировании концептов системы управления

В основе выявления однородности в элементах и связях СУТП лежат методы абстрагирования и обобщение. Абстрагирование позволяет исключить из рассмотрения менее значимые свойства элементов, что повышает степень однородности элементов. Вместе с тем обобщение приводит к выявлению наиболее значимых свойств элементов, что также повышает степень однородности элементов. Сочетая эти два метода, возможно получение однородных структур систем любой сложности.

### 7. Переход от концептов управления к однородным элементам и связям в элементарной системе управления

Основываясь на результатах реализации выбранных подходов, осуществлен переход от концептной модели управления к однородной модели элементарной системы управления.

В качестве однородной связи рассматривается концепт «воздействие», обобщающий функции управления.

Однородным элементов является концепт «элемент управления» как результат обобщения концептов субъекта управления, «средство исполнения», «объект управления», «средство измерения и контроля».

С точки зрения требования иерархической упорядоченности важно определить общую направленность однородных связей в ЭСУ. Исходя из того, что управление – это «процесс выработки и осуществления управляющих воздействий», а управляющее воздействие – «воздействие на объект управления, предназначенное для достижения цели

управления» [7], в качестве направления однородных связей выбрано направление от воздействующего элемента ЭСУ к воздействию элементу. Воздействующие элементы – это концепты «субъект управления», «средство исполнения» и «средство измерения и контроля», а воздействуемый элемент - «объект управления».

Таким образом, связи между элементами управления упорядочиваются, и они приобретают направленный характер: «воздействуемый элемент» ← «воздействующий элемент».

### 8. Модель ЭСУ как системы однородных элементов и связей

Основываясь на введенных однородных элементах, ЭСУ можно представить в виде логически взаимосвязанной совокупности однородных элементов: одного воздействуемого и трех воздействующих элементов.

$$d_k = \langle t_k^{act}, \{t_k^j\} | t_k^{act} \neq t_k^j \rangle, \tag{4}$$

$d_k$  - элемент множества ЭСУ  $D = \{d_k | k=1..m\}$ ;  
 $t_k^{act}, \{t_k^j\}$  – воздействуемый и воздействующие элементы ( $j=1..3$ ) управления соответственно, принадлежащие множеству однородных элементов СУТП  $T = \{t_i | i=1..n\}$ .

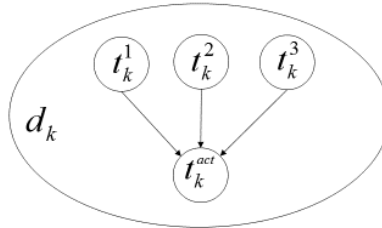


рис. 2 Однородная модель элементарной системы управления

Воздействуемый элемент находится с каждым воздействующим элементом в отношении типа «воздействовать»:

$$r_{d_k} = \{ \langle t_k^{act}, t_k^j \rangle \}, \tag{5}$$

$r_{d_k}$  - множество связей между воздействуемым элементом и воздействующим элементом в ЭСУ  $d_k$ . Тогда модель ЭСУ  $d_k$  как система может быть представлена так:

$$S_{d_k} = \langle t_k^{act}, \{t_k^j\}, r_{d_k} \rangle. \tag{6}$$

Модель ЭСУ по сути своей является однородной моделью, так как её элементы сведены к одному типу «элемент управления». При этом для всех связанных элементов управления реализуется только один тип связи – «воздействовать», которая является однонаправленной. Кроме того, модель ЭСУ является бинарной структурой – рассматриваются только парные отношения между элементами управления.

### 9. Интеграция иерархических моделей ЭСУ в единую иерархическую структуру СУТП для оценки ее целостности

В общем виде СУТП может быть представлена как множество ЭСУ.

Интегрируя ЭСУ, получают бинарную однородную ориентированную сеть элементов управления (рис. 3):

$$S_{СУТП} = \langle S_{d_1}, \dots, S_{d_m} \rangle. \tag{7}$$

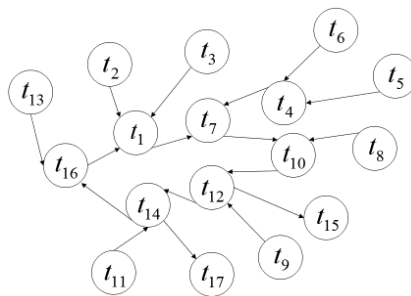


рис. 3 Пример сети однородных элементов управления

Иными словами, осуществляется синтез системы элементов управления, которые содержатся в интегрируемых моделях ЭСУ.

Важным для интеграции моделей ЭСУ в единую систему является то обстоятельство, что один и тот же элемент управления может играть двойную роль в различных ЭСУ. При этом возможны следующие варианты:

- элемент управления в одном ЭСУ является воздействуемым элементом, в другом – воздействующим;
- элемент управления является воздействуемым элементом как в одном, так и в другом (в разных) ЭСУ;
- элемент управления является воздействующим элементом как в одном, так и в другом (в разных) ЭСУ.

На практике, это может означать, например, субъект управления в вышестоящей ЭСУ может быть объектом управления в нижестоящей, а объект управления – субъектом управления в нижестоящей ЭСУ.

Именно эта двойственность элементов в моделях ЭСУ является интегративным свойством, которое позволяет соединять ЭСУ в единую структуру элементов управления.

Полученную сеть СУТП благодаря ее бинарному и ориентированному характеру можно привести к иерархическому виду (рис. 4).

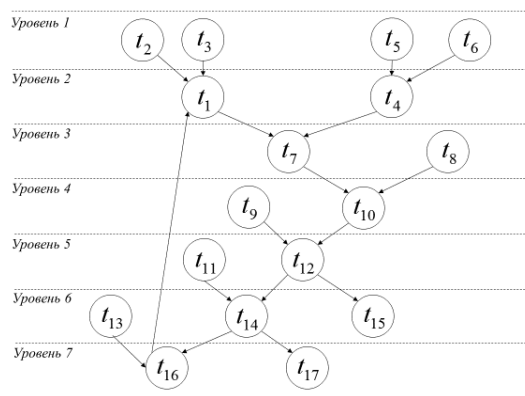


рис. 4 Пример иерархии однородных элементов управления

Иерархическая модель СУТП позволяет вводить показатели, которые основаны на количественных характеристиках иерархической структуры СУТП: количество уровней, глубина иерархии, широта иерархии, плотность элементов управления на уровнях иерархии и др. Однако наиболее важными количественными показателями с точки зрения оценки целостности структуры СУТП являются показатели противоречивости [10] и фрагментарности [11].

Использование указанных показателей позволяет индексировать возможные структурные и функциональные проблемы в СУТП:

- противоречивые связи;
- неоднозначные (дублирующие) связи;
- критически нагруженные связи;
- фрагментированные элементы;
- критически нагруженные элементы;
- и др.

Своевременная разработка рекомендаций по устранению подобных проблем будет способствовать повышению эффективности функционирования СУТП и предупреждению конфликтных ситуаций между ее структурными элементами.

### Заключение

Таким образом, в ходе однородного моделирования СУТП для оценки ее целостности используются три предложенных типа моделей:

- иерархическая модель ЭСУ;
- бинарная однородная ориентированная сетевая модель СУТП;
- бинарная однородная ориентированная иерархическая модель СУТП.

Иерархическое представление СУТП позволяет оперировать численными характеристиками, основанными на количественных параметрах однородных элементов управления и связей между элементами управления. Это существенно повышает качество анализа СУТП за счет измерения ее структурных показателей.

### Литература

1. Системный анализ и принятие решений: Словарь-справочник: Учеб. пособие для вузов/Под ред. В.Н.Волковой, В.Н. Козлова. – М.: Высш.шк., 2004. – 616 с.
2. Марков Ю.Г. Функциональный подход в современном научном познании. Новосибирск: Наука, 1982. - 255 с.
3. Садовский В.Н. Основания общей теории систем. Логико-методологический анализ. – М.: Наука, 1974. – 280 с.
4. Павловский И.С. Иерархическое упорядочение элементов как отражение степени целостности сложной системы управления / Материалы 10-й Всероссийской мультikonференции по проблемам управления (МКПУ-2017, Таганрог). Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2017. Т. 1. С. 204-206.
5. Холл А.Д. Опыт методологии для системотехники. – М.: Издательство «Советское радио», 1975. - 448 с.; Денисов А.А. Информационные основы управления. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 72 с.
6. Павловский И.С. Оценка целостности однородных функциональных профилей систем управления технологическими процессами / Труды 16-й Международной конференции «Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта» (CAD/CAM/PDM-2016, Москва). М.: ООО "Аналитик", 2016. С. 49-53.)
7. Теория управления. Терминология. Вып. 107. – М.: Наука, 1988. – 55 с.
8. Павловский И.С. Концептуальный подход к интеграции элементов систем управления междисциплинарной природы // Восьмая Всероссийская мультikonференция по проблемам управления. Материалы мультikonференции: в 3 т. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2015. Т.1. - С. 199-201.
9. Павловский И.С. Концептуальные исследования проблемы интеграции систем управления технологическими процессами / Труды 15-й международной конференции «Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM-2015) / Под ред. А.В. Толока. - М.: ООО «Аналитик», 2015. С. 67-70.
10. Павловский И.С. Иерархическая структуризация как метод выявления противоречий в управлении сложными системами // Труды XXIII Международной конференции «Проблемы управления безопасностью сложных систем». Москва, декабрь 2015 г. / Под ред. Н.И. Архиповой, В.В. Кульбы. – М.: РГГУ, 2015. - С. 47-51.
11. Павловский И.С. Метод извлечения фрагментов однородной бинарной сети в задаче оценки целостности сложной системы // Труды XXIV Международной конференции «Проблемы управления безопасностью сложных систем». Москва, декабрь 2016 г. / Под ред. Н.И. Архиповой, В.В. Кульбы. – М.: РГГУ, 2016. - С. 302-305.