

*Зайцев Дмитрий Сергеевич, аспирант института математики,
естествознания и техники ФГБОУ ВО «Елецкий государственный
университет им. И.А. Бунина»*

ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МНОГОУРОВНЕВЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ СИСТЕМ

Аннотация: В статье анализируются особенности функционирования многоуровневых управляемых систем. Рассматриваются сущность многоуровневых управляемых систем, их ключевые признаки, существенные характеристики и факторы, обуславливающие отличительные эффекты. Приводятся параметры модели функционирования многоуровневых управляемых систем, структура и алгоритм функционирования многоуровневых управляемых систем с учётом принципа разумного управления.

Ключевые слова: многоуровневые управляемые системы, иерархические системы, управление, моделирование, функционирование систем.

Annotation: The article analyzes the features of the functioning of multilevel controlled systems. The essence of multilevel controlled systems, their key features, essential characteristics and factors causing distinctive effects are considered. The parameters of the model of functioning of multilevel controlled systems, the structure and algorithm of functioning of multilevel controlled systems, taking into account the principle of reasonable control, are given.

Key words: multilevel controlled systems, hierarchical systems, control, modeling, systems functioning.

В многоуровневых управляемых системах (МУС) агенты реализуют свои действия в соответствии со сложными иерархическими технологиями,

задействующими методы взаимозависимости действий агентов и их результатов [1]. В основе функционирования МУС лежит принцип разумного управления, которое может осуществляться как «снизу-вверх», когда сперва решаются частные задачи, а после, с использованием их решений, общие, так и «сверху вниз», когда первоначальным является решение задач вышестоящего уровня, результаты которых применяются в качестве лимитирования для решения задач более частного характера [2]. Построение эффективных механизмов управления МУС требует наличия моделей системы, позволяющих исследовать её реакцию на различные управляющие воздействия, что делает актуальным изучение специфики и принципов функционирования МУС.

Целью работы является изучение особенностей функционирования многоуровневых управляемых систем. Для её достижения были использованы методы анализа и синтеза научных публикаций и литературных источников по рассматриваемой теме.

Сущность многоуровневых управляемых систем

МУС представляет собой организационную систему, иерархическая структура которой содержит более двух уровней. Она обладает рядом ключевых признаков [3]:

1. Иерархичность. Система является совокупностью элементов, могущих рассматриваться как системы, при этом исходная система выступает частью более общей системы.

2. Функциональное единство. Отдельные элементы системы либо их сумма не обладают комплексными свойствами, присущими всей системе.

3. Существенность. Системе свойственно наличие существенных связей между её элементами.

МУС присущи следующие существенные характеристики [4]:

1. Вертикальное соподчинение. Любая иерархическая МУС состоит из подсистем с вертикальным соподчинением, то есть вся система имеет вид семейства находящихся во взаимодействии подсистем.

2. Право вмешательства. Вышележащие уровни системы, обычно соседний старший уровень, оказывают явное и прямое воздействие на деятельность подсистемы любого уровня, имеющее для нижерасположенных уровней строго обязывающий характер. В таком вмешательстве находит отражение приоритет целей и действий высших уровней.

3. Взаимозависимость действий. Вмешательство предваряет действия нижележащих уровней, вследствие чего результативность функционирования вышерасположенных уровней зависит как от производимых ими действий, так и от совокупного эффекта нижерасположенных уровней, следовательно, качество деятельности всей МУС обеспечивается обратной связью – реакциями на вмешательство, данные о которых посылаются снизу-вверх.

По сравнению с одно- и двухуровневыми системами, свойственные МУС эффекты обусловлены наличием ряда факторов [5]:

- объединения – агрегирование сведений об агентах МУС, подсистемах и прочем с возрастанием иерархического уровня;
- неопределённости – зависимость осведомлённости агентов МУС об имеющихся существенных экзо- и эндогенных параметрах их функционирования от актуального управленческого механизма;
- экономический – изменение вещных, организационных и иных ресурсов МУС при изменении состава агентов МУС, имеющих личные интересы;
- организационный – выделение в системе метаэлементов, обладающих возможностью устанавливать правила для прочих элементов;
- информационный – изменение информационной нагрузки на всех агентов МУС.

Учёт данных факторов, равно как и факторов направленного функционирования подлежащих управлению объектов в МУС и адекватных проявлений их активности, является существенным условием моделирования функционирования МУС [6]. При моделировании МУС важно учитывать специфику их управления в соответствии с принципом разумности: высшие уровни системы определяют основные процедуры, принципы и параметры,

которые вместе с целью понятны всем элементам на всех уровнях [7]. Первый уровень системы является наиболее важным, поскольку задаёт основную цель, общие принципы и параметры деятельности всей системы, а подсистемы среднего уровня могут только регулировать деятельность собственных элементов по заданным границам – максимальным и минимальным допустимым величинам основных параметров.

Структура и алгоритм функционирования многоуровневых управляемых систем

Модель функционирования МУС включает следующие параметры [8]:

- состав МУС – комплекс осуществляющих управление органов и подверженных управлению субъектов, различающихся правами принятия решений;
- структура МУС – комплекс взаимосвязей между всеми агентами;
- множества потенциальных стратегий агентов, которые выбираются ими согласно личным интересам состояний, управлений и прочего;
- информированность – сведения, которые находятся в распоряжении агентов в моменты принятия решений;
- целевые функции, в общем случае определяемые стратегиями всех агентов и моделирующие их взаимодействие;
- порядок функционирования – последовательность, в которой агенты МУС получают сведения и выбирают стратегии.

Структура МУС с n уровнями иерархии может быть однозначно определена следующей нумерацией объектов [9]:

- номер объекта первого уровня: $i_1 = 1$;
- номера объектов второго уровня, которые подчинены объекту первого уровня: i_1, i_2 ; $i_2 = \overline{1, n_{i_1}}$;
- номера объектов k -го уровня, которые подчинены объекту $(k-1)$ -го уровня: $i_1, i_2, \dots, i_{(k-1)}, i_k$; $i_k = \overline{1, n_{i_1, \dots, i_{k-1}}}$;

- номера объектов $(n-1)$ -го уровня, которые подчинены объекту $(n-2)$ -го уровня: $i_1, i_2, \dots, i_k, \dots, i_{(n-2)}, i_{(n-1)}; i_{n-1} = \overline{1, n_{1i_1, \dots, i_{n-2}}}$;

- номера объектов n -го уровня, которые подчинены объекту $(n-1)$ уровня: $i_1, i_2, \dots, i_k, \dots, i_{(n-1)}, i_n; i_n = \overline{1, n_{1i_1, \dots, i_{n-1}}}$.

Управленческий цикл в МУС содержит сбор сведений об обстановке и создание документации по обеспечению достижения установленных целей в текущей ситуации. Основу функционирования МУС составляет обработка данных от участников различных уровней. Алгоритм функционирования МУС начинается с поступления изначальных сведений от источников информации на объекты n -го уровня [10]:

$$V_{i_1 \dots i_{n-1} 1}, \dots, V_{i_1 \dots i_{n-1} n_{i_1 \dots i_{n-1}}}.$$

Обработка исходных сведений и создание выходных данных для вышерасположенных объектов на объектах $(n-1)$ -го уровня имеет следующий вид:

$$X_{i_1 \dots i_{n-2} j} = \Psi_{i_1 \dots i_{n-2} j} \left(V_{i_1 \dots i_{n-2} j 1}, \dots, V_{i_1 \dots i_{n-2} j n_{i_1 \dots i_{n-2} j}} \right);$$

$$j = \overline{1, n_{1i_1 \dots i_{n-2}}}.$$

Обработка сведений, поступивших от объектов подчинённого уровня, и создание выходных данных для вышерасположенных объектов на объектах $(n-2)$ -го уровня осуществляется по формуле:

$$X_{i_1 \dots i_{n-3} j} = \Psi_{i_1 \dots i_{n-3} j} \left(X_{i_1 \dots i_{n-3} j 1}, \dots, X_{i_1 \dots i_{n-3} j n_{i_1 \dots i_{n-3} j}} \right) =$$

$$= \Psi_{i_1 \dots i_{n-3} j} \left(\Psi_{i_1 \dots i_{n-3} j 1} \left(V_{i_1 \dots i_{n-3} j 1 1}, \dots, V_{i_1 \dots i_{n-3} j 1 n_{i_1 \dots i_{n-3} j 1}} \right) \dots \right)$$

$$\dots \Psi_{i_1 \dots i_{n-3} j n_{i_1 \dots i_{n-3} j}} \left(V_{i_1 \dots i_{n-3} j n_{i_1 \dots i_{n-3} j} 1}, \dots, V_{i_1 \dots i_{n-3} j n_{i_1 \dots i_{n-3} j} n_{i_1 \dots i_{n-3} j n_{i_1 \dots i_{n-3} j}}} \right);$$

$$j = \overline{1, n_{1i_1 \dots i_{n-3}}}.$$

Обработка сведений, поступивших от объектов подчинённого уровня, и создание выходных данных для вышерасположенного объекта первого уровня МУС осуществляется по формуле:

$$X_{i_1 j} = \Psi_{i_1 j} \left(X_{i_1 j 1}, \dots, X_{i_1 j n_{i_1 1}} \right) =$$

$$\begin{aligned}
&= \Psi_{i_1 j} \left(\Psi_{i_1 j 1} \left(X_{i_1 1 1 1 1}, \dots, X_{i_1 1 1 n_{i_1 1 1}} \right) \Psi_{i_1 j n_{i_1 1}} \left(X_{i_1 1 n_{i_1 1} 1}, \dots, X_{i_1 1 n_{i_1 1} n_{i_1 1} n_{i_1 1}} \right) \right) = \dots \\
&\quad \dots = \Psi_{i_1 j} \left(\Psi_{i_1 j 1} \dots \Psi_{i_1 j \dots v} \left(V_{i_1 j 1 \dots i_{n-2} v 1}, \dots, V_{i_1 j 1 \dots i_{n-2} v n_{i_1 1 \dots i_{n-2} v}} \right) \dots \right. \\
&\quad \left. \dots \Psi_{i_1 j n_{i_1 1}} \dots \Psi_{i_1 j n_{i_1 1} \dots i_{n-2} v} \left(V_{i_1 j n_{i_1 1} \dots i_{n-2} v 1}, \dots, V_{i_1 j n_{i_1 1} \dots i_{n-2} v n_{i_1 j n_{i_1 1} \dots i_{n-2} v}} \right) \right); \\
&\quad j = \overline{1, n_{i_1}}.
\end{aligned}$$

Обработка сведений, поступивших от находящихся в подчинении объектов второго уровня, и создание результирующих данных на объекте первого уровня осуществляется по формуле:

$$\begin{aligned}
&X_{i_1} = \Psi_{i_1} (X_{i_1 1}, \dots, X_{i_1 n_{i_1}}) = \\
&= \Psi_{i_1} \left(\Psi_{i_1 1} \left(X_{i_1 1 1 1}, \dots, X_{i_1 1 n_{i_1 1}} \right), \dots, \Psi_{i_1 n_{i_1 1}} \left(X_{i_1 n_{i_1 1} 1}, \dots, X_{i_1 n_{i_1 1} n_{i_1 1} n_{i_1 1}} \right) \right) = \dots \\
&\quad \dots = \Psi_{i_1} \left(\Psi_{i_1 1} \dots \Psi_{i_1 1 \dots v} \left(V_{i_1 1 \dots i_{n-2} v 1}, \dots, V_{i_1 1 \dots i_{n-2} v n_{i_1 n_{i_1 1} \dots i_{n-2} v}} \right) \dots \right. \\
&\quad \left. \dots \Psi_{i_1 n_{i_1 1}} \dots \Psi_{i_1 n_{i_1 1} \dots i_{n-2} v} \left(V_{i_1 n_{i_1 1} \dots i_{n-2} v 1}, \dots, V_{i_1 n_{i_1 1} \dots i_{n-2} v n_{i_1 n_{i_1 1} \dots i_{n-2} v}} \right) \right); \\
&\quad i_1 = 1.
\end{aligned}$$

Далее на основе анализа обобщённых сведений об обстановке и задачах, которые решаются МУС, на объекте самого высокого уровня начинается планирование управления. Комплекс управляющей документации создаётся для находящихся в подчинении объектов 2-го уровня, с которых запускается процесс управления в текущей обстановке. Объекты $(n-1)$ -го уровня получают управляющую документацию от руководящих объектов $(n-2)$ -го уровня, после чего создают распоряжения для подконтрольных объектов n -го уровня управления. Таким образом реализуется принцип разумного управления и регулирования МУС.

Заключение

Многоуровневость управляемой системы является инвариантным свойством результативной организации, что обусловлено существованием в МУС специфических механизмов, процедур и способов передачи и обработки сведений, планирования и прочего. Вопросы совершенствования

управленческой структуры, методов подготовки и принятия решений и создания используемых в организациях критериев и целей формируют основу при решении проблем управления сложными МУС. В целях получения содержательного представления о функционировании МУС различного типа, обладающих относительной пропорциональностью решений или действий по каждой подсистеме и на всех уровнях управления, требуется описание анализа и моделирование работы этих систем с учётом их оптимальности.

Библиографический список:

1. Белов М.В. Согласованное управление многоэлементными динамическими организационными системами. Ч. 2. Многоуровневая динамическая организационная система // Проблемы управления. – 2020. – № 2. – С. 36-46.
2. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами: 3-е изд. – М.: Физматлит, 2012. – 604 с.
3. Романов В.Н. Техника анализа сложных систем. – СПб: СЗТУ, 2011. – 287 с.
4. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. – М.: Мир, 1973. – 344 с.
5. Новиков Д.А. Механизмы функционирования многоуровневых организационных систем. – М.: Фонд «Проблемы управления», 1999. – 161 с.
6. Бурков В.Н., Кондратьев В.В. Механизмы функционирования организационных систем. – М.: Наука, 1981. – 384 с.
7. Теория глобальных систем и их имитационное управление: Монография / Н.Б. Кобелев. – М.: Вузовский учебник: НИЦ ИНФРА-М, 2014. – 278 с.
8. Новиков Д.А., Смирнов И.М., Шохина Т.Е. Механизмы управления динамическими активными системами. – М.: ИПУ РАН, 2002. – 124 с.
9. Иванов А.К. Анализ функционирования иерархических АСУ реального времени // Автоматизация процессов управления. – 2013. – № 3 (33). – С. 11-21.

10. Иванов А.К. Динамические модели информационных процессов иерархических систем управления // Автоматизация процессов управления. – 2016. – № 3 (45). – С. 4-17.