

УДК 681.516.015:[004.896:519.711.3]

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СЛАБОФОРМАЛИЗУЕМОЙ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ СИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Карихманова А. С., Щербатов И. А.

ФГБОУ ВПО «Астраханский государственный технический университет», Астрахань, Россия (414025, г. Астрахань, ул. Татищева, 16), e-mail: sherbatov2004@mail.ru

В статье показаны особенности формирования целей, механизмов структурной организации, а также математического описания и моделирования нового класса сложных технических систем – слабоформализуемых многокомпонентных технических систем. Выделенный класс сложных систем обладает рядом свойств, определяющих особенности его функционирования в условиях воздействия неопределенностей различных типов. Проведен анализ особенностей функционирования данного класса систем в условиях неопределенности. Выделено понятие образа организационной структуры, а также последовательного механизма формирования структурной организации и адаптивного механизма формирования структурной организации. Показаны способы задания математических моделей рассматриваемых систем, обусловленные видом неопределенности на двух обособленных этапах жизненного цикла: этап проектирования и этап функционирования. Практическая реализация выделенных подходов позволит обеспечить выбор требуемого математического описания компонент и на основе выбранной математической модели реализовать требуемое управление.

Ключевые слова: компонента, неопределенность, слабоформализуемая система, интеллектуальная система, гибридная модель.

FUNCTIONING OF PURE FORMALIZABLE MULTICOMPONENT TECHNICAL SYSTEM IN THE CONDITIONS OF UNCERTAINTY

Karihmanova A. S., Shcherbatov I. A.

Astrakhan state technical university, Astrakhan, Russia (414025, Astrakhan, Tatishcheva st., 16), e-mail: sherbatov2004@mail.ru

In article features of the purposes formation, mechanisms of the structural organization, and also the mathematical description and modeling of a new class of complex technical systems – pureformalizable multicomponent technical systems are shown. The allocated class of complex systems possesses a number of the properties defining features of its functioning in the conditions of uncertainty. The analysis of functioning of this class of systems in the conditions of uncertainty is carried out. The concept of an image of organizational structure, and also the consecutive mechanism of formation of the structural organization and the adaptive mechanism of formation of the structural organization is allocated. Ways of a task of mathematical models of the considered systems, caused by a type of uncertainty at two isolated stages of life cycle are shown: design stage and functioning stage. Practical realization of the allocated approaches will allow to provide a choice of the demanded mathematical description of a component and on the basis of the chosen mathematical model to realize demanded management.

Key words: component, uncertainty, pureformalizable, intellectual system, hybrid model.

Введение

Многокомпонентная слабоформализуемая техническая система (МС) – сложная иерархическая система, функционирующая в условиях неопределенности исходных данных, рассогласованности локальных целей и нарушении внутренней организации из-за вновь возникающих свойств, в процессе достижения глобальной цели. МС состоит из ограниченного множества компонент – «элементарных» сложных систем.

Устройство компоненты похоже на объект классического анализа и обладает характеристиками, событиями и методами, однако, несколько модифицированными [2]. Т. о.

появляется необходимость выделить ключевые особенности функционирования МС в условиях неопределенности.

Постановка задачи исследования

Выделенный класс сложных систем обладает рядом свойств, определяющих особенности его функционирования в условиях воздействия неопределенностей различных типов.

Цель работы – выделение внутри класса МС ряда подклассов и их анализ для выявления способов повышения эффективности функционирования в условиях неопределенности.

Для достижения поставленной цели требуется решить ряд задач: выделить подклассы внутри класса МС; сформировать набор понятийных структур, позволяющих провести анализ особенностей функционирования МС; сформулировать предложения для повышения эффективности функционирования МС в условиях неопределенности.

Анализ особенностей функционирования МС. Подклассы МС

В соответствии с [1] выделены основные подклассы организационного взаимодействия внутри МС, являющиеся слабоформализуемыми системами: взаимодействие непрерывный процесс – дискретный процесс; взаимодействие дискретный процесс – интеллектуальная система; взаимодействие интеллектуальных систем [7, 8].

Процедура анализа функционирования МС в условиях неопределенности

Системный анализ МС, функционирующих в условиях неопределенности, проведем для каждого из трех выделенных подклассов с использованием следующего набора понятийных структур: цель функционирования; механизмы формирования структурной организации; особенности математического моделирования; алгоритмы и методы управления.

Цель функционирования. Как правило, цель функционирования МС – это согласованный набор локальных целей составляющих ее компонент. Обозначим локальную цель i -й компоненты I_i , тогда цель функционирования всей МС будет представлена следующим образом:

$$I = F\{I_i, RS_i, RE_i\} \quad (1)$$

где I – цель функционирования МС; I_i – локальная цель i -й компоненты; RS_i – результат достижения i -й компонентой локальной цели I_i ; RE_i – ресурсы (ограничения) для достижения i -й компонентой локальной цели I_i ; F – оператор-метод согласования целей.

Для всех выделенных групп МС, составляющих класс рассматриваемых сложных систем, существует четыре вида целей: повышение эффективности производства [4]; повышение экономической эффективности; повышение безопасности; повышение экологической безопасности.

Для первого и второго подкласса выделенных МС характерной особенностью является низкая согласованность локальных целей, т.к. присутствие слабоформализуемой или не

формализуемой компоненты в организационной структуре МС делает влияние данного вида неопределенности целей весьма существенным [1].

Для третьего подкласса МС существенным является принципиальная невозможность достижения глобальной цели, в том случае, когда применяется, например, децентрализованное управление группой роботов [7]. Передача управления от одного робота другому для динамической организации взаимодействия «ведущий – ведомый» в группе роботов может привести к тому, что лавинообразно возрастает неопределенность достижения глобальной цели. На данный аспект влияет также возникающий эффект самоорганизации [9], что потребует коррекции локальных целей, а значит, имеет место неопределенность целей, а именно невозможность точного определения части локальных целей на этапе проектирования.

Механизмы формирования структурной организации. Различия в МС обуславливаются наличием различных видов организационных структур. Внутри выделенных компонент [10], составляющих МС, простейшей является организационная структура типа «компонента – компонента». Особенности взаимодействия простейших организационных структур могут быть распространены на любое число взаимодействующих компонент.

В конкретный момент времени существует некая структура системы, которая неизменна. Т.е. фактически происходит выделение организационных образов МС, своего рода инвариантов организационных структур. Это позволяет упростить процессы формирования и исполнения управляющих воздействий (принятия управленческих решений).

Образ организационной структуры МС фиксируется, в случае если изменения происходят значительно медленнее, чем требуется для решения задачи управления или отсутствуют средства измерения (наблюдения) нестационарности явлений и процессов.

Для первого подкласса «взаимодействие непрерывный процесс – дискретный процесс» справедлив *последовательный механизм формирования структурной организации.*

Такой вид структурной организации статичен, и его изменение сопряжено с рядом трудностей, что обусловлено необходимостью полной остановки производства для изменения организационной структуры. Выделенный механизм структурной организации действует на этапе проектирования и не применяется в процессе функционирования системы.

Для второго подкласса «взаимодействие дискретный процесс – интеллектуальная система» характерен *адаптивный механизм формирования структурной организации.* Интеллектуальная система, в качестве которой выступает робототехническая система, адаптируется к изменяющимся условиям функционирования дискретного процесса, например, количеству или качеству сырья (варьируемость цепочек дискретных процессов,

используемых в технологическом процессе, например, для обеспечения максимальной загрузки и снижения времени простаивания). Особенностью данного механизма структурной организации является то, что он действует на протяжении всего жизненного цикла сложной системы и легко подстраивается под изменившиеся условия производства.

Для третьего подкласса «взаимодействие интеллектуальных систем» основным является *механизм самоорганизации структуры*. Ввиду того, что группа робототехнических систем, например, в случае с мобильными роботами функционирует в условиях изменяющейся внешней среды (подвижные препятствия), то в основу функционирования такой системы положен принцип изменения организационной структуры в процессе функционирования. Самоорганизация структуры – основной механизм обеспечения достижения цели для данной группы МС.

Особенности математического описания и моделирования МС. Каждый из подклассов обладает уникальными, присущими только ему особенностями, которые позволяют выбрать наиболее подходящие модели с точки зрения применимости для целей управления. Способы задания моделей рассматриваемых систем обуславливаются видом неопределенности, присущей МС на двух обособленных этапах жизненного цикла: этап проектирования и этап функционирования [3].

Первый вид неопределенности – неопределенность на этапе проектирования или структурная неопределенность математической модели МС. В этом случае системный подход к анализу МС предполагает использование специального метода построения модели. Одним из способов нивелирования данной проблемы может явиться эволюционный метод построения гибридной модели МС, обладающей свойством структурной неопределенности [5]. Он позволяет зафиксировать одну из возможных структур моделей с учетом принятой системы упрощений и допущений. На процесс построения модели в этом случае влияет выбранный критерий качества, который зачастую является комплексным и требует свертки нескольких критериев, характеризующих эффективность МС на этапе функционирования. Наиболее существенным недостатком является необходимость уточнения коэффициентов модели, а в ряде случаев и внесения изменения в структуру модели. Имеет место задача структурной идентификации математической модели на этапе функционирования с учетом множества структур моделей, полученных на этапе проектирования (построения) и степени близости между ними.

На этапе проектирования синтезируется множество структур моделей, предоставляющее возможность выбора и определяющее совокупность заданных отношений между любыми его компонентами и характеризующее степень их близости. Множество структур моделей, полученных таким образом, будет состоять из конечного числа элементов, например, в

случае построения интеллектуальной модели, равному количеству групп экспертов, привлеченных к работе [6]:

$$M = \{M_1, M_2, \dots, M_k\} \quad (2)$$

где k – число вариантов структур моделей.

Каждая из полученных структур моделей $M_C, C = \overline{1, k}$ представляет собой кортеж:

$$M_C = \langle A_C, \varphi_I(P_C) \rangle \quad (3)$$

где A_C – аналитическая модель (регрессионная, заданная дифференциальными уравнениями и пр.); P_C – интеллектуальная модель (продукционные правила, фреймовые, сетевые структуры и пр.); φ_I – оператор приведения к четкости. Т.о. множество (2) можно привести к следующему виду:

$$M = \{ \langle A_C, \varphi_I(P_C) \rangle_1, \langle A_C, \varphi_I(P_C) \rangle_2, \dots, \langle A_C, \varphi_I(P_C) \rangle_k \} \quad (4)$$

После этого производится итерационная процедура идентификации коэффициентов математических моделей подмножества A_C множества M_C для каждой модели. Для этого могут применяться известные регулярные методы, которые достаточно подробно описаны в литературе.

На данном этапе возникает неопределенность, обусловленная неточностью математических моделей A_C, P_C . Для подмножества $A_C, C = \overline{1, k}$ неопределенность порождается двумя основными факторами [3]: неточностью эксперимента, с помощью которого были получены коэффициенты в математических моделях (константы скоростей реакций, коэффициенты тепло- и массопереноса и т. д.); неточностью физических и химических закономерностей, положенных в основу математических моделей.

К перечисленным факторам необходимо добавить еще один, а именно *недостаточно качественно проведенный экспертный опрос*.

На этапе построения модели подмножества A_C о ряде параметров МС можно сказать, что знания о них неточны, и они принадлежат некоторой области неопределенности Z , которая задается следующим образом [5]:

$$Z = \{ \xi : \xi^L \leq \xi \leq \xi^H \} \quad (5)$$

где ξ – вектор неопределенных параметров; ξ^L, ξ^H – нижняя и верхняя границы компонент вектора неопределенных параметров.

Для определения ξ в этом случае используется неявная функция h :

$$w = h(u, \xi) \quad (6)$$

где w – вектор переменных состояния; u – вектор управляющих переменных.

Явный вид функции (6), как правило, не известен, поэтому для каждой совокупности u, ξ задача решается отдельно.

Алгоритмы и методы управления. В современной литературе выделяют три уровня иерархии в системах управления сложными техническими системами. Иерархичность МС является важным свойством, т.к. обеспечивает надежность, эффективность и распределение функций управления между различными уровнями систем.

Первый уровень – программируемые логические контроллеры, модули ввода-вывода, объединенные промышленной сетью передачи данных (Modbus, Profibus, Fieldbus и пр.).

Второй уровень – рабочие станции операторов, SCADA-пакеты, обеспечивающие управление на уровне технологического процесса с использованием средств человеко-машинного интерфейса [5].

Третий уровень – интеграционный уровень, являющийся многофункциональным шлюзом, обеспечивающим взаимодействие АСУТП и АСУП. На данном уровне решаются задачи АСУП с учетом протекания технологических процессов, измерительной информации, данных от ПЛК и систем технической диагностики и противоаварийной защиты.

Каждый из выделенных уровней управления присутствует во всех подклассах МС. Однако для каждого из них имеются особенности, позволяющие специфицировать структуры систем управления (табл. 1). Для подкласса «взаимодействие непрерывный процесс – дискретный процесс» данная особенность присутствует на третьем уровне управления и заключается в том, что для данного подкласса процессов крайне трудной является задача планирования расходования материалов и ресурсов. Ввиду того, что стыковка «непрерывный ТП / дискретный ТП» слабоформализуемая, возникает неопределенность планирования загрузки производственных мощностей, обусловленная необходимостью планирования запасов сырья, исходя из ограничений по времени и сырью, используемых в дискретном процессе. В данном случае требуется рационально и оптимально с точки зрения аспекта «наличие сырья / перепроизводство сырья» распределять функции управления между компонентами управления дискретным и непрерывным процессами третьего уровня.

Таблица 1. Особенности систем управления МС

Группа систем	Структура системы управления	Особенности, присущие системе управления
Непрерывная – дискретная системы	Иерархическая, строгоструктурированная, трехуровневая	3-й уровень – планирование ресурсов дискретной системы
Дискретная – интеллектуальная системы	Выделенный центр управления, внутриуровневая передача управлений	2-й уровень – поощрение интеллектуальной системы за счет передачи части функций по управлению
Интеллектуальные системы	Распределенная	1-й уровень – передачи

	изменяемой структурой	части управлений со 2-го уровня на 1-й
--	-----------------------	--

Для подкласса «взаимодействие дискретный процесс – интеллектуальная система» присутствует особенность на втором уровне. Она заключается в том, что существует необходимость оперативного перераспределения функций управления между АСУТП, оператором и интеллектуальной системой (роботом). При этом, чем успешнее робот выполняет возложенные на него функции (выше степень интеллектуализации применительно к выполняемому виду работ), тем большую свободу он получает. Фактически это означает, что часть функций управления со второго уровня передается на первый, т.е. непосредственно самому роботу.

Для подкласса «взаимодействие интеллектуальных систем» основные функциональные особенности системы управления присутствуют на первом уровне. Рассматривать каждую робототехническую систему в качестве отдельного контура управления, множество которых образует систему управления всего процесса, не представляется возможным. Этот аспект обусловлен крайней сложностью, наличием высокой степени неопределенности внешней среды и новых свойств, возникающих в процессе взаимодействия внутри группы роботов, а также высокой размерностью и вычислительной сложностью модели. В данном случае следует рассматривать структуру системы управления как изменяющуюся с учетом степени успешности выполнения отдельным членом группы поставленной задачи и достижения им локальной цели. Т.е. происходит динамическая коррекция структуры системы управления и передача части функций между двумя уровнями (первым и вторым). Поэтому появляется возможность создания распределенной сетевой структуры системы управления с изменяемой топологией. При этом на этапе проектирования может быть жестко задан набор таких топологий применительно к конкретной возникающей в МС ситуации. В случае, когда степень неопределенности велика, следует синтезировать адаптивную структуру системы управления, алгоритмическое обеспечение которой позволяет перераспределять функции между уровнями и внутри уровня сообразно качеству достижения цели каждым членом группы роботов.

Заключение

Выявленные особенности МС в условиях неопределенности и предложенные способы повышения эффективности функционирования данного класса систем позволяют формализовать основные концептуальные принципы системного анализа применительно к описанным подклассам. Практическая реализация данных принципов позволит: исключить недостижимость целей компонент МС; обеспечить выбор требуемого математического описания компонент; на основе выбранной математической модели реализовать требуемое

управление; синтезировать методы группового управления компонентами внутри рассмотренных организационных структур.

Список литературы

1. Бродский Ю. И., Павловский Ю. Н. Разработка инструментальной системы распределенного имитационного моделирования // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2009. – № 4. – С. 9-21.
2. Дубов В. М., Капустянская Т. И., Попов С. А., Шаров А. А. Проблематика сложных систем (концептуальные основы модельных представлений) / Под общ. ред. С. А. Попова. – СПб.: Элмор, 2006. – 184 с.
3. Проталинский О. М., Щербатов И. А., Савельев А. Н. Оптимальное управление технологическим процессом Клауса в условиях неопределенности // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. Спец. вып. «Математическое моделирование и компьютерные технологии». – 2006. – С. 19-25.
4. Проталинский О. М., Щербатов И. А. Система поддержки принятия решений для операторов слабоформализуемых ТП // Автоматизация в промышленности. – 2009. – № 7. – С. 41-45.
5. Сергин М. Ю. Принципы, методы и алгоритмы построения систем управления технологическими процессами со структурной неопределенностью: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Тамбов, 2004. – 28 с.
6. Технические системы в условиях неопределенности: анализ гибкости и оптимизация / Г. М. Островский, Ю. М. Волин. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 319 с.
7. Щербатов И. А., Проталинский И. О. Исследование эффективности группового управления роботами методом имитационного моделирования // Вестник Саратовского государственного технического университета. № 4 (50)/2010. – Саратов, 2010. – С.34-37.
8. Щербатов И. А., Проталинский И. О. Координация работы промышленных манипуляторов на основе сенсорной информации // Датчики и системы. – 2010. – № 8. – С. 28-32.
9. Щербатов И. А. Понятие компоненты слабоформализуемой многокомпонентной технической системы // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-25 [текст]: сб. трудов XXV Междунар. науч. конф.: В 10 т. Т. 8. Секция 12 / под общ. ред. А. А. Большакова. – Волгоград: Волгогр. гос. техн. ун-т, 2012. – 216 с. – С 207-209.

10. Scherbatov I. A. Classification of pure formalized complex multicomponent technical systems under conditions of uncertainty // Vestn. Astrakhan. the state. tech. univ. Series: "Control, computer facilities and informatics." – No. 2/2012. – Astrakhan. – P. 9-13.

Рецензенты:

Попов Г. А., д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой информационной безопасности ФГБОУ ВПО «Астраханский государственный технический университет», г. Астрахань.

Проталинский О. М., д-р техн. наук, профессор, проректор по информатизации, заведующий кафедрой прикладная информатика в экономике ФГБОУ ВПО «Астраханский государственный технический университет», г. Астрахань.