

Неопределённость в задачах моделирования и управления сложных, слабо формализуемых многокомпонентных систем

С. Г. Збрищак¹, Л. С. Звягин²

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации (Финуниверситет), Financial University
Москва, Россия

¹sv1417@yandex.ru, ²sdmif@yandex.ru

Аннотация. Неопределённости могут возникать в различных типах сложных систем, оказывая существенное влияние на весь процесс моделирования. Аналитику необходимо устранять неопределённости на каждом из этапов моделирования и функционирования сложных систем. При моделировании важной задачей является проанализировать неопределённость, чтобы получить качественное управление сложной системой. Далее будут рассмотрены сложные слабо формализуемые многокомпонентные системы, которые способны образовывать компонент, основываясь на достижении общей цели и/или устранении неопределённости. Для того, чтобы устранить неопределённость на этапе проектирования и функционирования многокомпонентных систем, или для того, чтобы снизить степень её влияния сформулирован принцип компенсации неопределённости. Реализация данного принципа заключается в раскрытии процедурной составляющей устранения неопределённостей. При этом исследователь может использовать различные методики, чтобы устранить неопределённости, но концептуальная основа должна оставаться неизменной.

Ключевые слова: неопределённость; моделирование и управление; многокомпонентные системы; задачи моделирования

I. ВВЕДЕНИЕ

Неопределённость может возникнуть из-за недетерминированных источников, таких как внешняя среда, лицо принимающее решение (ЛПР) и т.д. А ошибкой моделирования, к примеру, является аппроксимация математической модели или ошибки программной реализации модели. При моделировании сложных систем анализ неопределённости может характеризоваться неопределённостью целей, структуры и параметров.

В современной науке принято выделять два вида неопределённостей: структурированную и неструктурированную. Как правило, в структурированной неопределённости дана функция изменения неопределённости, но отсутствуют параметры этой функции. В неструктурированной же функция изменения не известна, а величина определённости ограничена.

II. КЛАССИФИКАЦИЯ ВИДОВ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ

Многокомпонентная система (далее – МС) – это сложная иерархичная система, которая функционирует в условиях, где исходные данные не определены, локальные цели рассогласованы, внутренняя организация нарушена из-за вновь возникающих свойств при достижении глобальной цели.

Рассмотрим для начала общую классификацию по видам неопределённости и условиям её возникновения: а) – эпистемологическая в данном виде неопределённости полностью или частично отсутствуют знания о системе; б) модели – нельзя получить истинную модель реальной МС; в) параметрическая – полностью или частично отсутствуют знания об истинном значении параметров МС; г) случайная – возникает при вероятностном характере поведения МС, внешних воздействий и изменения параметров.

Также существует классификация неопределённостей этапов жизненного цикла МС. Можно описать её следующим образом:

I. Этап проектирования: 1) тип неопределённости – эпистемологическая – возникает, когда полностью или частично отсутствуют знания о системе на этапах анализа и синтеза; 2) неоднозначная – возникает при наличии неточностей в терминах и определениях, а также когда нет возможности количественно описать связи и параметры; 3) случайная; 4) неопределённость взаимодействия – появляются новые свойства в результате взаимодействия компонент.

II. Этап функционирования: 1) неопределённость модели; 2) случайная; 3) взаимодействия.

В данной классификации типы неопределённостей рассматриваются с позиции элементов математической модели. Данную классификацию принято называть условной. При построении целей ориентируются на определённые критерии, например, максимизировать прибыль или минимизировать вредные выбросы в окружающую среду. В таком случае могут возникнуть неопределённости цели. В данном случае существует три типа неопределённости: 1) невозможно точно определить цели; 2) низкая согласованность целей – когда есть

ошибки, допущенные при проектировании устройств управления для каждой из подсистем или компонент; 3) глобальная цель недостижима – если отсутствуют необходимые инструменты, математический аппарат или средства измерения.

Далее можно рассмотреть параметрическую неопределённость и её типы: 1) отсутствуют средства измерения – нет возможности применять методы и средства измерения для некоторых технологических параметров, потому что их попросту не существует; 2) инерционность средств измерения – при высокой инертности методов контроля, актуальность задач начинает терять свой смысл. Сюда могут быть отнесены способы измерения состава газов с использованием газоанализаторов или лабораторных методов; 3) низкая точность – в данном случае речь идет о ненадёжности функционирования первичных преобразований в агрессивной среде технологического процесса, а также о сложности объектов измерения.

И последней рассмотренной классификацией будет классификация по типам эпистемологической неопределённости. Речь идет о двух типах: феноменологическая и поведенческая неопределённость. В первом типе неопределённость возникает, если на этапе проектирования отсутствует учёт функционирования МС в ряде режимов. А во втором типе неопределённость возникает в поведении людей, по-другому ещё называют «человеческий фактор».

III. НЕОПРЕДЕЛЁННОСТЬ В ЗАДАЧАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ МС

В данном разделе будет описан алгоритм, как снизить влияние неопределённости целей, как устранить неопределённость компонентной структуры и параметров модели, а также будет рассмотрена методика компенсации неопределённости.

1. Снижение влияния неопределённости целей

Цель системы заключается в достижении определённого состояния, к которому будет направлена тенденция движения системы. Для того, чтобы достичь глобальную цель системы, необходимо чтобы каждый компонент МС достигал локальной цели. Разбивая глобальную задачу на множество локальных целей, образуется некая иерархия. При неопределённости целей внутри этой иерархии появляются недостижимые или слабо определённые цели:

$$\begin{cases} I = \{\bar{I}, \bar{I}, \bar{I}\} \\ I = \bar{I} \cup \bar{I} \cup \bar{I} \\ \bar{I} \cap \bar{I} \cap \bar{I} = \emptyset \end{cases}$$

где I – полное множество целей МС; $\bar{I}$ – множество известных достижимых целей; $\bar{I}$ – множество недостижимых целей; $\bar{I}$ – множество плохо (слабо) определенных целей. Необходимо множество $\bar{I}$ исключить при проектировании МС, чтобы в последующем, на этапе функционирования устранить возможность появления

недостижимых целей. Достичь этого крайне трудно: это занимает достаточно большое количество времени и требует трудоёмкости. Но если уделить этому должно внимание и решить эту задачу на этапе проектирования, то можно устранить подмножество $\bar{I}$ из множества I . Ниже представлена логико-лингвистическая модель цели МС:

$$I = \langle N_1, VeF, Cr_1, (\bar{r}; \bar{w}), (\underline{r}; \underline{w}) \rangle$$

N_1 – конечное множество названий целей на множестве целей; VeF – представление цели лицом, принимающим решение в вербальной форме; Cr_1 – конечное множество целевых критериев и функций, которые характеризуют достижение цели; $\bar{r}$ – цель, стоящая в иерархии выше, которой подчиняется текущая цель; $\bar{w}$ – мощность отношения подчинения; $\underline{r}$ – цель подчиненного уровня; $\underline{w}$ – мощность отношения подчинения.

Далее, рассматривая этап проектирования, возможны три типа целей:

- недостижимая цель $I_t \in \{\bar{I}\}$ – рассматривая данную ситуацию, необходимо заменить цель I_t на цель $I_t \in \{\bar{I}\}$, в таком случае, при успешном анализе и оценке множества целей на этапе проектирования $\bar{I} = \emptyset$;
- слабо определённая цель $I_t \in \{\bar{I}\}$ – тогда необходимо скорректировать организационную структуру OS_k , чтобы цель стала достижима;
- достижимая цель $I_t \in \{\bar{I}\}$.

На рисунке представлен алгоритм устранения неопределённости целей МС.

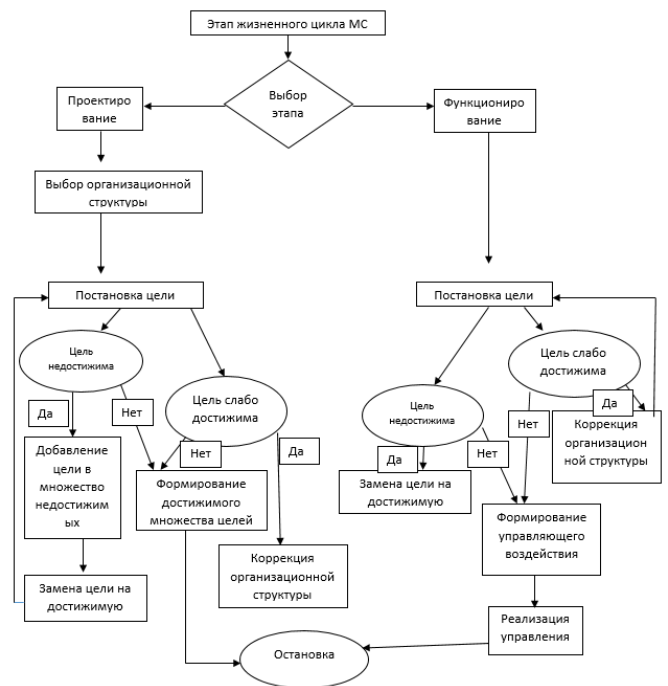


Рис. 1. Алгоритм устранения неопределённости целей МС

Рассмотрим алгоритм устранения неопределённости целей МС:

Следует ввести определение и несколько замечаний относительно приведённой выше схемы, чтобы пояснить алгоритм.

Определение 1. Компонентной структурой МС KS_m (КС) принято называть совокупность компонент, образованных вследствие воздействия механизмом формирования структурной организации, основываясь на единстве локальной цели, типа неопределённости и однородности информационных связей.

Можно представить количественную меру оценки показывающей, насколько достигнута цель, в виде выражения:

$$|\rho(I_k; I_k^*)| \leq \varepsilon,$$

где ρ – является мерой близости, показывающей, насколько локальная цель I_k достигает значения I_k^* ; другими словами, если мера близости ρ попадает в интервал 2ε , значит локальная цель I_k достигнута.

Говоря о недостижимости цели, речь идет о невозможности синтезирования управляющего воздействия, которое переводит МС в целевое состояние. В результате возникнет сообщение об ошибке, поскольку ρ не попадает в интервал 2ε . Рассматривая слабо определённые цели, возникает недостаточность данных, чтобы синтезировать управляющее воздействие. В результате, при моделировании необходимо будет выбрать организационную структуру, обеспечивающей достижение цели.

2. Устранение неопределённости компонентной структуры

Устранить неопределённости компонентной структуры, которые возникают при проектировании и функционировании МС можно, используя подход, который учитывает пороговые значения индекса целостности и показатели совместимости. Под целостностью понимается некая характеристика системы, которая позволяет с помощью определённых мер описать систему как единое целое. Применяя принцип целостности, можно выделять структурные элементы из системы, но при этом также необходимо соблюдать условие совместимости элементом. Некоторые учёные выделяют совместимость, как самостоятельный принцип системного подхода. В связи с этим необходимо оценивать каждую часть системы на совместимость и возможность существования связей.

Компонента – основная системообразующая единица МС. Введем два определения.

Определение 2. Под индексом целостности In понимают меру целостности МС, которая характеризует её как единое целое. Индекс целостности – это величина относительная, находящаяся в интервале от 0 до 1. Можно описать её в виде кортежа:

$$In = \langle K_i: i = \overline{1; m}, \xi \in [1; l], \omega_i^l \rangle$$

где, $K_i: i = \overline{1; m}$ – совокупность компонент МС; $\xi \in [1; l]$ – эксперты, которых привлекают, чтобы оценить насколько правильно обособлены компоненты МС; ω_i^l – это оценка i -го эксперта по поводу вхождения i -го компонента.

Определение 3. Показатель совместимости обозначается как Ic . Это также относительный показатель, который находится также в интервале от 0 до 1. Можно описать его в следующем виде:

$$Ic = \langle K_i: i = \overline{1; m}, : P_{ij}: j = \overline{1, n}, m \leq n, \xi \in [1; l], \phi_{ij}^l \rangle$$

где, $K_i: i = \overline{1; m}$ – совокупность компонент МС; $: P_{ij}: j = \overline{1, n}, m \leq n$ – совокупность связей между компонентами; $\xi \in [1; l]$ – эксперты, которых привлекают, чтобы оценить насколько правильно обособлены компоненты МС; ϕ_{ij}^l – это оценка i -го эксперта по поводу существования связи i - j между компонентами в МС.

Рассчитать оценки ω_i^l и ϕ_{ij}^l можно по-разному. В одном из способов используются известные методы экспертных оценок и определяются индексы согласованности мнений разных экспертов.

Чтобы рассчитать In можно использовать среднее арифметическое ω_i^l для компонент, которые входят в МС. Таким образом получим формулу:

$$In = \frac{\sum_i \frac{\sum_i^0 \omega_i^l}{l}}{i}$$

А чтобы рассчитать Ic используют следующую зависимость:

$$Ic = \frac{\sum_{ij} \phi_{ij}^l}{j}$$

Подводя итоги, можно вывести достаточно и необходимое условие целостности МС. Оно будет выглядеть следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} OS_m = \{(K_1, K_2, \dots, K_i), P_{ij}(K_{ij}), M_k(P_{ij})\} \\ I_l \geq \theta_l \\ I_c \geq \theta_c \end{array} \right.$$

где $M_k(P_{ij})$ – это механизм, как образуется связь P_{ij} ; θ_l и θ_c – это пороговые значения; Если пороговые значения превышаются, значит, МС можно считать целостной.

Далее можно рассмотреть алгоритм, как исключить компонентные структуры. Для начала необходимо сформировать множество $\{KS\}_m i = 1$, далее вычисляем индекс целостности и показатель совместимости. Если они находятся в допустимых пределах, значит $i > m$, алгоритм заканчивается. А если индекс или показатель вышли за пределы, то необходимо исключить $\{KS\}_i$. Крайне важно, чтобы выполнить необходимые и достаточные условия целостности МС, появление эмерджентности. Чтобы рассчитать данный показатель,

можно воспользоваться коэффициентом эмерджентности Хартли:

$$\Delta = \frac{\log_2 \sum_{v=1}^M C_W^v}{\log_2 W}$$

Обозначения: v – сложность смешанных состояний; M – максимальная сложность смешанных состояний; C_W^v – количество информации, получаемой за счёт системного эффекта. Данный коэффициент основывается на классической теории информации. Множество допустимых организационных структур, которое было получено при проектировании будет использоваться в дальнейшем при функционировании. Устранить неопределённость структуры МС можно следующим образом: 1) этап проектирования: на данном этапе возможно применение одного из трёх методов: экспертный опрос, текстологические методы или математическое моделирование. При использовании первого или второго метода сначала выявляются возможные организационные структура, затем реализуют принцип мультипликативности, и в конце получают множество допустимых организационных структур. Если же используется метод математического моделирование, то исключается этап выявления возможных организационных структур, сразу переходим к практической реализации принципа мультиструктурности; 2) этап функционирования: на данном этапе возможно два исхода – либо анализируются показатели организационных структур и затем блокируются структура, которые обладают неопределённостью; либо структура уже входит в множество допустимых, тогда сразу приступают к процессу реализации управления.

3. Устранение неопределённости параметров модели

Неопределённость параметров, которая возникает на этапе математического моделирования, особое влияние оказывает на качество и эффективность управления сложными системами. Для того, чтобы оценить вероятностные характеристики неопределённых параметров, к примеру дисперсии, применяют метод математической статистики. Входные параметры, а именно неопределённость этих параметров, существенно влияет на неопределённых выходных переменных. Помимо этого, если использовать различные выборки для калибровки модели, то в результате на выходы могут получиться различные результаты, что порождает ещё большую неопределённость. Кроме данного источника неопределённости, существуют и другие. К примеру, одним из таких источников является неточность, когда определяются граничные условия параметров модели. Ещё одним источником, почему возникают неопределённости, являются экспертные знания, которые формализуются при использовании методов искусственного интеллекта. Неопределённости параметров можно классифицировать по типам: измеренные параметры – к ним можно отнести шумы, ошибки аппроксимации, случайные и систематические ошибки в измерениях; прогнозные параметры, определяющие неопределённость, характеризуются неполнотой информации,

неопределённостью структуры, отсутствием знаний, неопределённостью в выборке, а также качеством модели; экспертные знания – в данном случае речь идет об отсутствии должного опыта у эксперта, о неполноте его знаний, а также субъективизме. Для каждого из вышеперечисленного типа неопределённостей существует определённые методы, как снизить или устранить влияние неопределённости. К примеру, для того, чтобы устранить неопределённость, связанную с измерением параметром, принято применять статистический подход. Допустим измеряемая величина случайна и имеет стандартный закон распределения плотности вероятностей. Но при этом, используются различные виды анализа статистических данных [1,5]. При построении математической модели, можно сделать вывод о неточности знаний и об их принадлежности к области Z .

$$Z = \{\chi : \chi^L \leq \chi \leq \chi^H\}$$

Обозначения: χ – вектор неопределённых параметров, χ^L – нижняя граница компонент вектора неопределённых параметром; χ^H – верхняя граница.

Для того, чтобы определить χ в данном случае необходимо воспользоваться неявной функцией h :

$$\delta = h(u, \chi)$$

где δ является вектором переменных состояния, а u – вектором управляющих переменных. Явного вида данной функции не существует, поэтому для разных u, χ задача будет решаться отдельно. Для того, чтобы нивелировать неопределённость экспертных оценок, применяют нечёткие модели. Обычно используют нечётную логику, чтобы описать неопределённость данных, но для этого необходимо учесть крайне важный аспект. Если в данных будет обладать существенная неопределённость, то лучше использовать способ формализации нечёткого множества второго рода.

4. Методика компенсации неопределённости

В многокомпонентных системах можно устранить или снизить степень влияния неопределённостей разных типов. Другими словами, обязательно есть хотя бы один алгоритм, следуя которому, можно компенсировать каждый тип неопределённости. Для начала можно рассмотреть общую методику, как компенсировать неопределённость для МС: на первом этапе устраняем неопределённость структуры МС; далее устраняем неопределённость цели; устраняем неопределённость данных.

Для того, чтобы реализовать первый этап, необходимо следовать следующему алгоритму: 1) на основе алгоритма исключения КС, рассмотренного ранее, формируют совокупность допустимых КС. Данный процесс происходит на этапе проектирования, а далее, на этапе функционирования, используя процедуру устранения неопределённостей структуры МС, необходимо контролировать формирование КС, которые обладают неопределённостью и блокировать их, чтобы они не

образовывались; 2) на втором этапе, когда происходит устранение неопределённости цели, применяют алгоритм коррекции КС, состоящий из нескольких пунктов; 3) основываясь на алгоритме устранения неопределённости целей (рисунок), на этапе прогнозирования формируем конечное множество достижимых целей; 4) на этапе прогнозирования, используя тот же алгоритм (рисунок) необходимо выбрать требуемое управление, а также заменить недостижимую цель (слабо достижимую) на достижимую.

На заключительном этапе применяется алгоритм анализа типов неопределённости параметров:

1. Устранение систематических и случайных погрешностей изменённых параметров;
2. Ограничение области определения для прогнозных значений, если они не имеют точных значений;
3. Решение задачи, используя формулу $\delta = h(u, \chi)$;
4. Применение нечетких множеств первого рода, чтобы формализовать неопределённости экспертных оценок.

Благодаря данной методике можно добиться снижения влияние неопределённости при решении задач моделирования МС.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Неопределённости могут возникнуть в любом типе сложных систем, влияя на весь процесс моделирования. Устранение неопределённостей должно производиться на каждом этапе моделирования и функционирования сложных систем. Были рассмотрены различные классификации неопределённостей: по видам и условиям возникновения, по этапам жизненного цикла, неопределённости цели, по типам параметрической неопределённости, по типам эпистемологической неопределённости. Рассмотренные алгоритмы показывают,

как снизить влияние неопределённости целей, как устранить неопределённость компонентной структуры и параметров модели, а также была рассмотрена методика компенсации неопределённости. Подводя итоги всему вышесказанному, можно сделать вывод, что описанная методика позволяет снизить влияние неопределённостей различных типов. Для нивелирования неопределённости целей необходимо использовать синтезированный алгоритм, заменяя недостижимые цели на достижимые, а в случае возникновения слабо определённых целей использовать коррекцию КС. Рассматривая компонентную структуру снижение влияние неопределённостей возможна за счёт использования индекса целостности и показателя совместимости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Алиев Т.А., Шахбазов Э.К., Мамедов В.М. F-модель надежности // Известия НАН Азербайджана, серия физико-технических и математических наук, том XXII №2–3, с. 329.
- [2] Айзерман М.А., Браверман Э.М., Розоноэр Л.И. «Метод потенциальных функций в теории обучения машин». Наука, 1970. 356 с.
- [3] Берка К. Измерения: понятия, теория, проблемы / К. Берка. М.: Прогресс, 1987. 320 с.
- [4] Ветров Д.П., Кропотов Д.А. «Алгоритмы выбора моделей и синтеза коллективных решений в задачах классификации, основанные на принципе устойчивости» УРСС, 2006. 410 с.
- [5] Киясбейли Ш.А., Мамедов В.М., Шишонов Н.А. Некоторые вопросы применения теории размытых множеств к задачам надежности В кн. Надежность АСУ ТП. Киев: Наукова думка, 1981. с. 59–61.
- [6] Прокопчина С.В., Федичкин А.И. Применение байесовских интеллектуальных технологий (БИТ) для оценки интегральных показателей // СПб. Сборник докладов Международной конференции по мягким вычислениям и измерениям SCM-2006, 27-29 июня 2006, с. 20-22.
- [7] Прокопчина С.В. О подходе к измерению показателей социогуманитарных потенциалов с использованием байесовских интеллектуальных технологий // Государственный аудит. Право. Экономика. 2013. №3. С. 73-82.