

## **КЛАССИФИКАЦИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ СЛОЖНЫМИ ТЕХНИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ**

**Аннотация:** В статье рассматривается классификация неопределенностей, возникающих при функционировании технических объектов. В процессе классификации выделены внутренняя и внешняя неопределенности. Представлены частные случаи внутренней неопределенности (параметрическая, структурная и др.), дана их краткая характеристика и возможные причины возникновения. Приведена краткая характеристика внешней неопределенности.

**Ключевые слова:** неопределенность, передаточная функция, внешнее воздействие, преобразование Лапласа, устойчивость.

**Annotation:** The article considers the classification of uncertainties that arise during the operation of technical objects. In the classification process, internal and external uncertainties are identified. Special cases of internal uncertainty (parametric, structural, etc.) are presented, their brief description and possible causes are given. A brief description of the external uncertainty is given.

**Key words:** uncertainty, transfer function, external influence, Laplace transform, stability.

В реальных задачах объекты управления характеризуются наличием различного рода неопределенностей, которые не позволяют осуществить обеспечение поддержания оптимальных свойств объекта управления. Это, в

свою очередь, может привести к потере устойчивости объекта. Стоит выделить следующие основные типы, характеризующие внутреннюю степень неопределенности:

1. Параметрическая. Данный тип неопределенности отображает неполноту или неточность информации о параметрах математической модели объекта управления. Как правило, является известным некоторый диапазон, в пределах которого может осуществляться изменение рассматриваемого параметра, поэтому, можно утверждать, что в данном случае задана модель объекта с неопределенностью интервального типа.

К основным факторам [1], оказывающим влияние на появление неточности параметров в системе, можно отнести:

а) неточности, возникающие в процессе проектирования, которые, в основном, обусловлены использованием некоторых допущений, принимаемых при проектировании технических объектов;

б) неточности при проведении расчетов значений параметров при изготовлении заданного объекта (технологический аспект);

с) неточности параметров объекта, возникающие в процессе эксплуатации объекта, характеризующиеся внешними воздействиями.

Стоит отметить, что неизвестные параметры, характеризующие данную неопределенность, предполагаются либо постоянными, либо медленно изменяющимися в процессе функционирования объекта управления, т.е. квазистационарными [3].

Данный тип неопределенности объекта управления является наиболее изученным в теории управления. Таким образом, для него разработано множество методов управления, основанных на алгоритмах идентификации или адаптивной настройки закона управления [2, 4].

2. Помимо некоторого интервала, в пределах которого могут изменяться неизвестные параметры объекта, стоит отметить возможность наличия в математической модели неизвестных функционалов, отображающих зависимость координат векторов состояния, управления или параметров объекта.

В данном случае, наблюдается функциональная неопределенность, которую, в дальнейшем, можно преобразовать к параметрической. Пусть задана математическая модель объекта управления согласно формуле (1):

$$\dot{x} = Ax + B(u + \varphi(x, u, t)), \quad (1)$$

где  $x \in R^n$  – вектор состояний,  $u \in R^n$  – вектор управления,  $\varphi(x, u, t)$  – неизвестная функция, характеризующая данный тип неопределенности объекта управления.

Данный тип неопределенности возникает в результате различий [1] между математической моделью объекта управления и процессами, протекающими в самом объекте. Эти различия, как правило, возникают в результате:

а) Неточно заданных либо неизвестных условий, описывающих начальное состояние объекта управления;

б) математическая модель реального объекта всегда представляет собой аппроксимацию процессов, происходящих в процессе функционирования данного объекта.

3. Сигнальная неопределенность означает, что  $\theta$  является неизвестной функцией времени, т. е.  $\theta = \theta(t)$  внешнего (экзогенного) или внутреннего (эндогенного) происхождения;

4. Структурная. Данная неопределенность характеризуется наличием неполноты или неточности сведений о структуре математической модели объекта управления. Как правило, структурная неопределенность выражается в том, что динамический порядок реального объекта оказывается выше порядка его математической модели. В связи с этим модель является функционально неопределенной. Данную неопределенность можно представить следующим образом. Пусть объект управления задан в операторном виде как показано на формуле (2):

$$x(s) = \tilde{G}(s)u(s) + w(s), \quad (2)$$

где  $x(s) \in R^n$  – вектор состояний;  $u(s) \in R^n$  – вектор управления;  $w(s) \in R^n$  – вектор неконтролируемых внешних возмущений;  $s$  – переменная, характеризующая преобразование Лапласа;  $\tilde{G}(s)$  – матрица передаточных

функций размерности  $n \times n$ , причем возможны несколько вариантов представления  $\tilde{G}(s)$  [5]. Например, согласно формуле (3):

$$\tilde{G}(s) = G_0(s) + \Delta(s), \quad (3)$$

где  $G_0(s)$  – известная точно передаточная функция, составляющая матрицу  $\tilde{G}(s)$ , а  $\Delta(s)$  – матрица, характеризующая внутреннюю неопределенность системы. Таким образом, задан тип аддитивной структурной неопределенности.

Также матрицу  $\tilde{G}(s)$  можно представить в виде дроби, представленной в формуле (4):

$$\tilde{G}(s) = \frac{A(s) + \Delta_1(s)}{B(s) + \Delta_2(s)}. \quad (4)$$

В данном случае задана дробно-рациональная неопределенность.

Еще одним случаем является случай мультипликативной структурной неопределенности, согласно которому матрицу  $\tilde{G}(s)$  можно представить как в формуле (5):

$$\tilde{G}(s) = G_0(s)(E + \Delta(s)), \quad (5)$$

где  $E$  – единичная матрица размерности  $n \times n$ .

Стоит отметить, что, как и функциональная неопределенность, структурная неопределенность может быть сведена к параметрической.

5. Внешняя. Значительное влияние на поведение реальных систем управления оказывает окружающая среда, т. е. наличие неконтролируемых внешних факторов, к которым, в частности, можно отнести возмущающие воздействия.

В большинстве случаев точные значения внешних воздействий остаются неизвестными до начала работы объекта управления [3]. Поэтому, как правило, внешние воздействия на объект управления можно охарактеризовать высокой степенью неопределенности. Данный тип неопределенности можно описать либо с помощью стохастических оценок внешних возмущений, либо наличием границ, в рамках которых могут происходить изменения внешних неконтролируемых воздействий.

### **Использованные источники:**

1. Канушкин С.В. Управление робототехническими комплексами охранного мониторинга в условиях неопределенности // Правовая информатика. – 2019. – № 2. – С. 40-48.
2. Козлов В.Н., Куприянов В.Е., Шашихин В.Н. Теория автоматического управления: учеб. пособие / В.Н. Козлов. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 126 с.
3. Мирошник И.В., Никифоров В.О., Фрадков А.Л. Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами. – СПб.: Наука, 2000, – 549 с.
4. Стещенко Е.В. Методы синтеза систем управления динамическими объектами с неопределенностью // Вестник читинского государственного университета. – 2007. – № 4. – С. 60-62.
5. Целигоров Н.А., Целигорова Е.Н., Мафура Г.М. Математические модели неопределённостей систем управления и методы, используемые для их исследования // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 4-2(23). – С. 48-54.