

## ОПИСАНИЕ ЗВЕНЬЕВ СЛОЖНОСТРУКТУРИРОВАННОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ МОДЕЛИ

Цуканов М.А.<sup>1</sup>, Еременко Ю.И.<sup>2</sup>

(Старооскольский технологический институт им. А.А.  
Угарова (филиал) НИТУ «МИСиС», Москва)

*В статье рассматривается применение нечеткой модели для описания основных звеньев сложноструктурированной производственной системы при решении задачи планирования на этапах проверки и корректировки производственного расписания. В качестве тематики развития исследований высказывается гипотеза о возможности обучения нечеткой модели на основе иммунно-сетевого алгоритма.*

Ключевые слова: планирование, составление расписания, моделирование, мультиагентные системы, нечеткая логика, иммунные сети,.

### 1. Введение

Основной целью оперативного планирования и управления производством является составление согласованных производственных планов цехов предприятия и обеспечение их выполнения. Задача существенно усложняется для производств, характеризующихся широкой номенклатурой выпускаемой продукции, многообразием оборудования, многостадийностью технологических процессов, многовариантностью технологи-

---

<sup>1</sup> Цуканов Михаил Александрович, кандидат технических наук, старший преподаватель (tsukanov\_m\_a@mail.ru).

<sup>2</sup> Еременко Юрий Иванович доктор технических наук, профессор.

ских маршрутов и, как следствие, сложными перекрестными материально-транспортными связями [4].

Технологическая координация - составная часть оперативного управления (ОУ), обеспечивающая согласование работы отдельных звеньев управляемой системы в условиях конкретных технологических и организационно-технологических ситуаций и выполнение производственной программы по количеству, качеству и номенклатуре продукции.

Основой ТК является контактный график (КГ) - производственное расписание, регламентирующее работу основного технологического оборудования. Проблема ТК сложноструктурированными производствами заключается в необходимости оперативной корректировки КГ в случае рассогласования текущей производственной ситуации относительно запланированной, что предполагает перебор возможных вариантов очередности выполнения заказов сменно-суточного задания (ССЗ), по соответствующим технологическим маршрутам.

## ***2. Декомпозиция задачи составления производственного расписания***

Рассмотрим декомпозицию задачи оперативного управления и технологической координации производства на следующие подзадачи [5] (рис 1):

- слежение за работой отдельных агрегатов;
- составление и оптимизация производственного расписания;
- проверка возможности реализации построенного расписания в условиях реального производства;
- корректировка производственного расписания в режиме on-line в случае возникновения рассогласования фактической и запланированной производственных ситуаций;
- проверка возможности реализации скорректированного расписания.

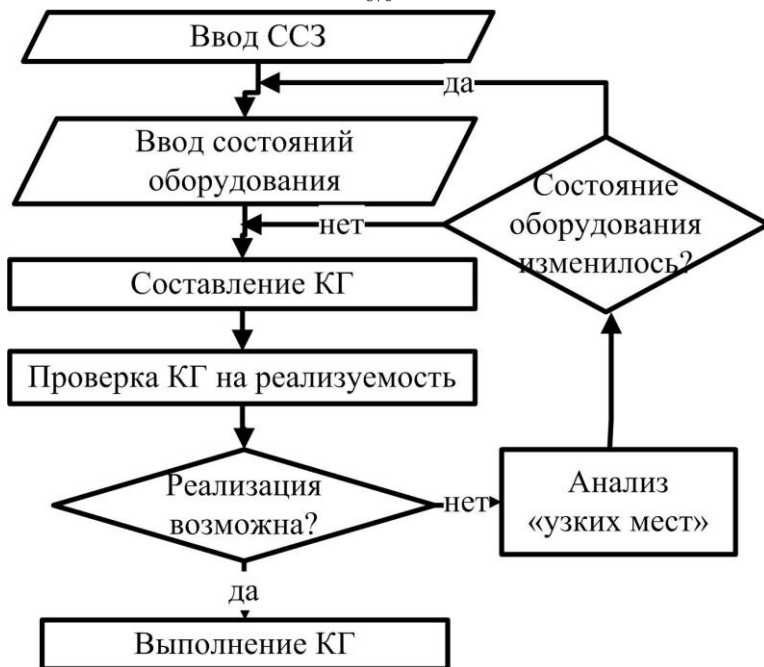


Рис. 1. Обобщенная блок-схема решения задачи ОУ и ТК

Основой эффективного решения основной проблемы технологической координации, связанной с проверкой реализации составленного расписания, является реализация модели производственной системы, представленной последовательностью отдельных технологических агрегатов, которые выполняют ряд операций, дискретных по своему характеру — со своим началом и окончанием, с получением выходных результатов или конечной продукции в каждой операции. Декомпозиция таких систем на составляющие их компоненты и элементы, дискретные по своему смыслу, имеет конечное число указанных составляющих. В динамике работу системы можно представить непрерывно-дискретной простым переходом к ее анализу в ограниченных временных интервалах.

Примерами таких производств являются металлургическое, пищевое, фармацевтическое, химическое и некоторые другие. Помимо перечисленных трудностей задачу оперативного управления такими производствами усложняет совмещение в рамках одной технологической схемы как непрерывных, так и дискретных технологических процессов.

Непрерывную работу этих производств всегда можно представить последовательностью отдельных технологических операций, дискретных по своему характеру — со своим началом и окончанием, с получением выходных результатов или конечной продукции в каждой операции. Декомпозиция таких систем на составляющие их компоненты и элементы, дискретные по своему смыслу, имеет конечное число указанных составляющих. В динамике работу системы можно представить непрерывно-дискретной простым переходом к ее анализу в ограниченных временных интервалах. Поэтому свойство непрерывно-дискретного характера структуры системы в подавляющем большинстве случаев соответствует технологическому, организационному, экономическому смыслу реальных объектов моделирования [2].

Часть сторон функционирования системы (например, организационные решения, информационные потоки) дискретна по своей природе, другие — условно, по своему технологическому, экономическому или иному смыслу [4].

### **3. Анализ подходов моделирования звеньев производственной системы**

#### **3.1. КЛАССИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ**

Несмотря на то, что непрерывно-дискретная система имеет много общего с дискретными параллельными и распределенными системами, она не может быть сведена к чисто дискретным моделям, так как динамика ее непрерывных компонент достаточно сложна. С другой стороны, описание ее в рамках классической теории динамических систем затруднительно, так как в ней могут возникать события, в результате которых мгновенно

венно меняется глобальное поведение и структура системы. При этом одно событие может порождать другие, а сам дискретный процесс, результатом которого является выбор нового поведения, описывается нетривиальным дискретным алгоритмом, который в общем случае можно представить графом мгновенных переходов [1].

Невозможность представления непрерывно-дискретной системы чисто дискретными или чисто динамическими моделями позволяет выделить эти системы в отдельный класс систем, поведение которых описывается бесконечной последовательностью сменяющих друг друга длительных непрерывных и мгновенных дискретных поведений.

Н. П. Бусленко [1] рассматривает непрерывно-дискретные системы как обобщающий (самый общий и самый сложный) класс сложных систем и называет такие системы агрегативными. Понятие агрегата вместе с разработанными для него моделирующими алгоритмами использовалось при создании систем автоматического моделирования для сложных систем управления в 70-х годах. Модель агрегата может быть использована как модель всей непрерывно-дискретной системы или ее элемента. В последнем случае система представляется сетью агрегатов с фиксированными каналами связей.

Моделирование поведения агрегата и агрегативной системы заключается в построении последовательности переходов из одного особого состояния в другое. Такой подход к моделированию, предложенный Н.П. Бусленко и основанный на принципе "особых состояний", фактически являлся первой попыткой учета дискретности в методах исследования непрерывно-дискретных систем.

Другой формализм описания поведения непрерывно-дискретных систем был предложен В.М.Глушковым в 1973 году [2]. Формализм включает в себя математическую модель непрерывно-дискретной системы, язык спецификации, а также набор процедур и функций реализации моделирующего алгоритма.

В противоположность агрегативному подходу, моделирующий алгоритм В. М.Глушкова базируется на дискретном событийном подходе к моделированию сложных систем. Под

моделированием поведения непрерывно-дискретной системы понимается построение множества последовательностей событий, приводящих к смене ее поведения и структуры, причисляя к событию начальное состояние системы. Глобальное поведение моделируется с помощью специального процесса-монитора, который продвигает системное время в соответствии с календарем планирования событий или в соответствии с анализом времени наступления события, которое планируется по условию. Процесс моделирования заканчивается, когда календарь событий оказывается пустым.

Гибридное направление исследования непрерывно-дискретных систем возникло в начале 90-х годов на базе современной методологии спецификации и верификации сложных дискретных систем и систем реального времени, разработанной в теории реактивных систем [7]. Основатели гибридного направления, вводя в базовую дискретную модель реактивной системы некоторые характеристики непрерывного поведения, определяют, таким образом, новый класс сложных систем, который они называют "гибридной реактивной системой" [8].

Исследование поведения гибридной системы сводится к статическому качественному анализу поведенческих свойств, без использования поточечного численного моделирования глобального поведения системы.

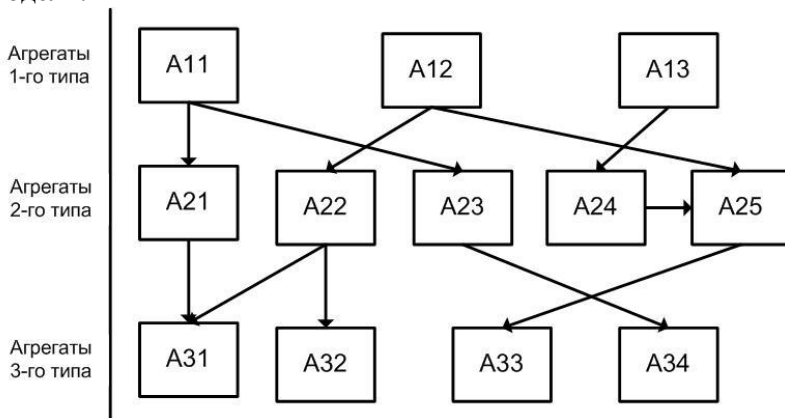
Из анализа различных подходов к исследованию непрерывно-дискретных систем следует, что на сегодняшний день не существует подхода к моделированию и анализу этого класса сложных систем, в котором бы равноправно и логично сосуществовали методы исследования дискретной и непрерывной компоненты.

### *3.2. НЕЧЕТКАЯ ЛОГИКА КАК ОСНОВА МОДЕЛИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ*

Учитывая тот факт, что в реальных производственных системах не всегда возможно точное описание процесса за счет неполноты и недостоверности информации, часто для описания

процессов используют методы искусственного интеллекта, в частности нечеткие модели.

Рассмотрим возможность представления каждого компонента сложной производственной системы (рис. 2) в виде нечеткой модели.



*Рис. 2. Пример связей сложноструктурированного производства*

Для задачи планирования наибольшую важность имеет параметр времени работы каждого технологического агрегата в процессе выполнения текущего расписания. Таким образом, работу каждого производственного звена представим как ряд взаимосвязанных этапов в реальном времени. На основе этого, каждый агрегат реальной производственной системы представим в виде нечеткой модели, характеризуемой следующими параметрами:

Входные параметры – временные интервалы  $T$  (1) работы производственного агрегата, в течение которых он находится в определенном состоянии  $S$  (2).

$$(1) \quad T = \begin{Bmatrix} t_{11} & t_{12} \\ t_{21} & t_{22} \\ \dots & \\ t_{n1} & t_{n2} \end{Bmatrix};$$

где  $t_{n1}$ ,  $t_{n2}$  - время начала и окончания этапа работы технологического агрегата,  $n$  – количество состояний  $s$  в ходе работы агрегата.

$$(2) \quad S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\};$$

где  $s_n$  - состояние агрегата на  $n$  этапе работы агрегата.

Приведенные интервалы  $T$  характеризуют максимально возможное время нахождения агрегата в состоянии. В реальных условиях длительность состояния может отличаться ввиду специфики производственного процесса.

Для лингвистической оценки входных параметров используем три термина, характеризующих степень принадлежности к состоянию на каждом этапе в зависимости от длительности работы агрегата – «high», «middle», «low».

Выход нечеткой модели - вероятность нахождения агрегата в одном из состояний  $S$  в определенный момент времени. выходные термины описывают принадлежность к определенному состоянию  $S$ .

В качестве примера рассмотрим нечеткую модель дуговой сталеплавильной печи (ДСП). Возьмем ее упрощенную модель, характеризующую следующими состояниями:

$$(3) \quad S = \{\text{загрузка}, \text{работа}, \text{разгрузка}\};$$

и входными переменными, в качестве которых взято максимальное время (мин.) нахождения ДСП в каждом состоянии:

$$t_{11} - t_{12} = \{0 - 10\},$$

$$t_{21} - t_{22} = \{10 - 50\},$$

$$t_{13} - t_{32} = \{50 - 60\}.$$

Построим лингвистические оценки каждого из входных параметров в *fis*-редакторе пакета Matlab (рис. 3-5).



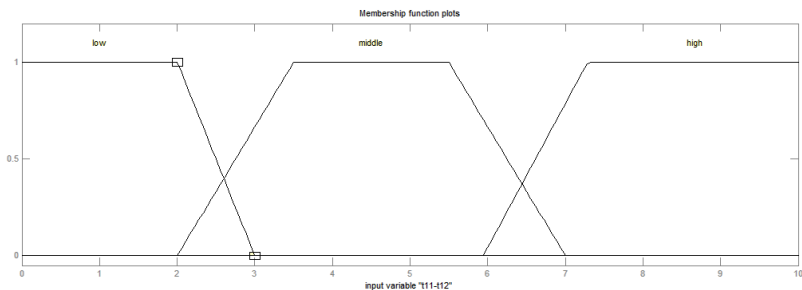


Рис. 3. Лингвистические оценки для входной переменной  $t11-t12$

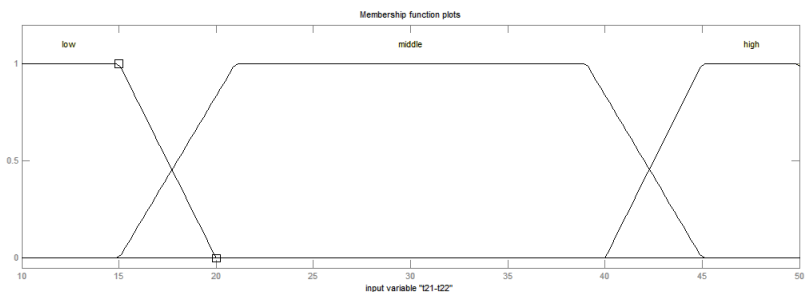


Рис. 4. Лингвистические оценки для входной переменной  $t11-t12$

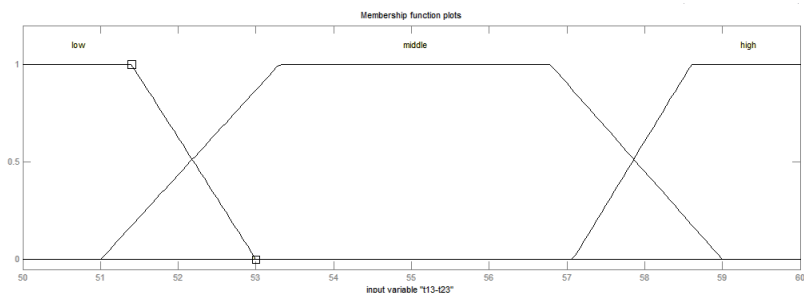
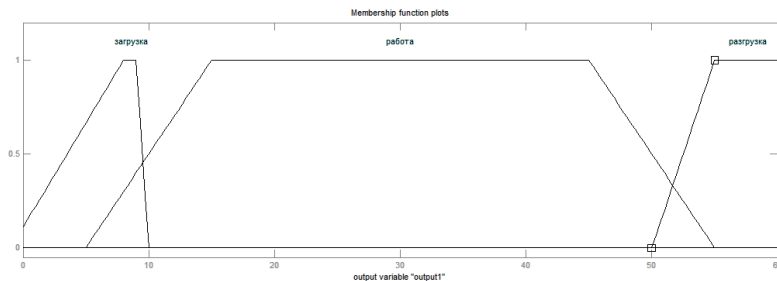


Рис. 5. Лингвистические оценки для входной переменной  $t11-t12$

Оценим выход как вероятность нахождения агрегата в конкретный момент времени в одном состоянии из ряда (3) используя нечеткую модель Мандани [6] (рис. 6).



*Рис. 6. Выход нечеткой модели для состояний ДСП*

База правил реализует преобразование входной лингвистической оценки, характеризующей время работ ДСП, в вероятность нахождения агрегата в определенном технологическом состоянии. Пример типового правила для базы, описывающей работу ДСП:

(4)      If T="Low" then S="Загрузка";

Описание основных производственных звеньев сложно-структурированной системы в виде нечетких моделей позволяет отразить все этапы производственного цикла каждого технологического агрегата с учетом реальных производственных факторов, реализованных правилами (4), на основе которых реализуется преобразование лингвистической оценки в принадлежность к реальному состоянию производственного оборудования.

#### **4. Заключение**

Построение нечетких моделей в условиях реального производства позволяет достаточно точно описывать большинство производственных объектов, которые контролируются человеком-оператором, который на основании своих знаний и опыта ведет процесс управления. Идентификация, то есть определение текущего состояния объекта, осуществляется им интуитивно

исходя из текущего времени работы, и он не может быть абсолютно уверен в своей субъективной оценке.

Однако, технология производства может меняться, что в свою очередь требует обучения нечеткой модели или ее пере-идентификации. В работах Ю. И. Кудинова [3] исследуются возможности генетического алгоритма в рамках этой задачи. В работе [5] формирование производственного расписания реализуется на основе применения иммунно-сетевого алгоритма. Логичным продолжением исследования является анализ применимости иммунной методологии к задаче обучения нечеткой модели в условиях изменения технологии производства.

### ***Литература***

1. БУСЛЕНКО Н. П. *Моделирование сложных систем*. М., - Наука, 1968.-355 с.
2. ГЛУШКОВ В. М. *Логическое проектирование дискретных устройств* / АН УССР, Ин-т кибернетики им. В.М.Глушкова. - Киев : Наук. думка, 1987. - 263 с.
3. КУДИНОВ Ю.И., КУДИНОВ И.Ю., БАЙКОВ С.В. *Идентификация и обучение в нечетких системах* // Вести высших учебных заведений Черноземья, Липецк:-2010.– 1(19).
4. ЛИТВИНЦЕВ П. И. *Методы организации вычислений в диалоговых системах планирования*: Канд. диссертация. – М.: Выч. Центр АН СССР. 1981. – 190.
5. Л.М. БОЕВА, М.А. ЦУКАНОВ *Мультиагентная система поддержки принятия решений по технологической координации производств с многовариантными технологическими маршрутами* // Системы управления и информационные технологии, Воронеж:-2012.– 2(48).
6. ШТОВБА С.Д. *Проектирование нечетких систем средствами MATLAB* / С. Штовба. – М: Горячая линия–Телеком, 2007. – 288 с.
7. ALUR R., COURCOUBETIS C., HENZINGER T., HO P-T.: *Hybrid automata: an algorithmic approach to the specification and analysis of hybrid systems. In Workshop on Theory of Hy-*

*brid Systems*, Lyndby, Denmark, June 1993. LNCS 736, Springer-Verlag.

8. NICOLLIN X., OLIVERO A., SIFALIS Y., YOVINE S.: *An Approach to the Description and Analysis of Hybrid Systems*.

## **COMPLEX STRUCTURED SYSTEM ELEMENTS DESCRIPTION BASED ON FUZZY MODEL**

**Tsoukanov Mikhail**, Institute “National University of Science and Technology “MISiS”, Stary Oskol, Candidate of sciences, assistant professor (*tsukanov\_m\_a@mail.ru*).

**Eremenko Yuri**, “National University of Science and Technology “MISiS”, Stary Oskol, Doctor of Science, professor.

*Abstract: The article discusses using of fuzzy model for complex structured system elements description in the manufactory planning on scheduling checking and correcting stage. As the subject of development studies hypothesize about the possibility of learning fuzzy model based on immune-network algorithm.*

**Keywords:** planning, scheduling, simulation, multi-agent systems, fuzzy logic, immune network..