

Рис. 1. Восстановление входного сигнала типа ступеньки

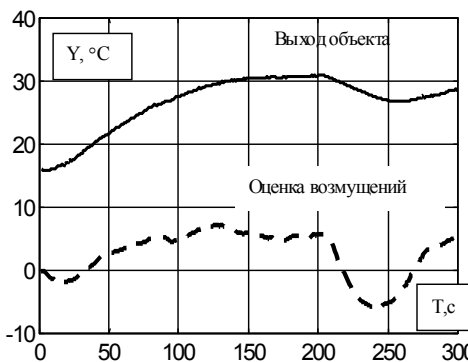


Рис. 2. Оценка возмущений на имитаторе объекта по экспериментальным данным

Для входного единичного воздействия с 20-й секунды восстановление на модели (20) представлено на рис. 1. При двух итерациях достигается удовлетворительная точность, а если априорно известна интервальная характеристика возмущений  $0 < v(t) < 10$ , то качество оценивания повышается.

Результат восстановления входного сигнала имитатора объекта на экспериментальных данных: вход – ступенчатое воздействие возмущенным потоком на нагревательный элемент с 200-й секунды, выход – температура нагревательного элемента, представлен на рис. 2. По результатам физического моделирования замечаем, что количество итераций не превышает двух, и точность восстановления возмущений считаем удовлетворительной.

### Выводы

Имеющиеся методы решения задач ВВС в реальном времени – на основе адаптивных или инвариантных наблюдателей, позиционного управления, совместного рекуррентного оценивания состояния и возмущений не обладают

модифицирующими свойствами при наличии априорных сведений о входных сигналах. Предложенный метод оценивания возмущений в реальном времени основывается на итерационном методе решения операторного уравнения. Практическая реализация итерационного цифрового фильтра ОВС сводится к построению фильтра, вычисления которого повторяются на каждом шаге оценивания с учетом нелинейных ограничений на возмущения. Сходимость нелинейного фильтра ОВС основывается на принципе сжимающихся отображений. Приведенные результаты математического и экспериментального моделирования подтверждают работоспособность и эффективность предложенного итерационного дискретного фильтра в задачах реального времени.

**Список литературы:** 1. Крутько П.Д. Обратные задачи динамики управляемых систем. Нелинейные системы. М.: Наука, 1988. 2. Василенко Г.И., Тараторкин

А.М. Восстановление изображений. М.: Радио и связь, 1986. 304 с. 3. Евланов Е.Г. Контроль динамических систем. М.: Наука, 1972. 424 с. 4. Цыпкин Я.З. Робастно-оптимальные дискретные системы управления // АИТ. 1999. № 3. С. 25–37. 5. Аведьян Э.Д., Цыпкин Я.З. Оптимальные методы обработки текущих измерений и накопленных данных. // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика, 1987. № 1. С. 140–150. 6. Клейман Е.Г. Идентификация входных сигналов в динамических системах // АИТ. 1999. № 12. С. 3–15. 7. Краснов М.Л. Интегральные уравнения. (Введение в теорию). М.: Наука, 1975. 301 с. 8. Костенко Ю.Т., Любчик Л.М. Системы управления с динамическими моделями. Харьков: Основа, 1996. 213 с. 9. Пухов Г.Е., Жук К.Д. Синтез многосвязанных систем управления по методу обратных операторов. К.: Наук. думка, 1966. 219 с. 10. Корноушко Е.К. Восстановление скалярного сигнала на входе дискретной линейной системы при допусковом задании ее параметров. // АИТ. 1993. № 1. С. 37–44. 11. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1979. 286 с. 12. Tuan P.-C., Fong L.-W. An IMM tracking algorithm with input estimation // Int. J. Syst. Sci. 1996. Vol. 27. No. 7. P. 629–639. 13. Стрейш В. Метод пространства состояний в теории дискретных линейных систем управления: Пер. с англ. / Под. ред. Я.З.Цыпкина. М.: Наука, 1985. 296 с.

Поступила в редколлегию 07.12.2000

**Кортунов Вячеслав Иванович**, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, докторант каф. 301 Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского "ХАИ". Научные интересы: системы управления объектами с неопределенностями. Адрес: Украина, 61085, Харьков, ул. Астрономическая, 35-з/89, тел. 44-23-49, 44-68-05.

УДК 519.71

Е.И. КУЧЕРЕНКО

## К ВОПРОСУ О НЕПРОТИВОРЕЧИВОСТИ ПРИНИМАЕМЫХ РЕШЕНИЙ В НЕЧЕТКИХ УСЛОВИЯХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ АНАЛИЗА

Рассматриваются задачи выявления и устранения непротиворечивости при реализации процессов управления. Формулируется постановка задачи, предлагается комплекс утверждений, которые определяют формальные условия существования противоречивости в процессах в терминах пространства состояний нечетких сетевых моделей.

### 1. Введение

Процессы управления сложных технологических объектов характеризуются существенной нечеткостью, сложным параллельно-последовательным асинхронным взаимодействием. Использование знаний

субъективных экспертов, баз знаний и машин логического вывода в составе систем управления этими объектами вызывает необходимость разработки эффективных средств анализа и решения ряда проблем, к которым следует также отнести анализ непротиворечивости принимаемых решений [2]. Присутствие среди возможных противоречивых решений по управлению технологическим объектом может привести к отказам, сбоям объекта, а также к непредсказуемым ситуациям [1].

## 2. Постановка задачи

Рассмотрим проблемы, связанные с выявлением, локализацией и устранением противоречивости решений по управлению объектами в условиях существенной нечеткости процессов управления. При проектировании и эксплуатации систем рассматриваемая проблема часто является определяющей, вопросам ее анализа в исследованиях уделяется значительное внимание [2]. Однако проблема до сих пор не имеет эффективных решений, позволяющих получить практические результаты для реальных систем.

Различают понятия внешней  $\{Npt_S'\}, s \in S'$  и внутренней  $\{Npt_S''\}, s \in S''$  противоречивости [2].

**Определение 1.** Внешней противоречивостью  $\{Npt_S'\}, s \in S'$  будем называть ситуацию, когда факты, которым должны соответствовать решения, определяются с привлечением дополнительной информации.

**Определение 2.** Внутренней противоречивостью  $\{Npt_S''\}, s \in S''$  будем называть ситуацию, когда факты, которым должны соответствовать решения, определяются без привлечения дополнительной информации.

Исходя из сущности понятий, приведенных в определениях 1 и 2, сформулируем утверждение.

**Утверждение 1.** Внешняя  $\{Npt_S'\}, s \in S'$  и внутренняя  $\{Npt_S''\}, s \in S''$  противоречивости в условиях существенно нечетких процессов управления дополняют друг друга и рассматриваются как компоненты противоречивости  $\{Npt_S\}, s \in S$ , причем

$$\{Npt_S\} = \{Npt_S'\} \cup \{Npt_S''\}, S = S' \cup S''. \quad (1)$$

Доказательство утверждения 1 основано на анализе сущности компонента  $\{Npt_S'\}, \{Npt_S''\}$  и предметной области.

**Следствие.** В дальнейшем, если это не будет вызывать затруднений или неопределенности, мы будем рассматривать противоречивость в смысле (1).

Тогда на множестве нечетких процессов  $\{\tilde{\Pi}_i\}, i \in I$  математическая постановка решения задачи может быть представлена так:

$$\forall \tilde{\Pi}_i \in \{\tilde{\Pi}_i\} \mid \{Npt_S\} = \emptyset; i \in I, s \in S. \quad (2)$$

## 3. Исследование подходов к решению проблемы выявления и анализа противоречивости

Нечеткие процессы управления и их взаимодействия опишем нечеткой сетевой моделью (НСМ), построенной с использованием положений развитого аппарата теории расширенных интерпретированных сетей Петри [3] и теории нечетких множеств [4].

**Определение 3.** Пространством состояний НСМ  $\tilde{S}(f)$  будем называть множество возможных маркировок

$$\{\tilde{M}(f)_v\} \times \{\tilde{M}(f)_w\} \times \{\tilde{M}(f)_k\}, v \in V, w \in W, k \in Q, \quad (3)$$

где  $\tilde{M}(f) = \{\tilde{M}(\tilde{p}_j): Z_{\tilde{p}_j}(k)\}$  – вектор нечеткого текущего маркирования позиций  $\tilde{p}_j \in \tilde{P}$ ;  $\tilde{M}(\tilde{p}_j)$  – маркирование позиции  $\tilde{p}_j \in \tilde{P}$ ,  $j \in J$

НСМ  $\tilde{S}(f)$ ;  $\tilde{M}(f)_0 = \{\tilde{M}(\tilde{p}_j): Z_{\tilde{p}_j}(k)\}$  – вектор нечеткого начального

маркирования позиций  $\tilde{p}_j \in \tilde{P}$ ;  $\tilde{M}(f)_k = \{\tilde{M}(\tilde{p}_j): Z_{\tilde{p}_j}(k)\}$  – вектор нечеткого конечного (терминального) маркирования позиций  $\tilde{p}_j \in \tilde{P}$ ;

$Z_{\tilde{p}_j}(k)$  – функция принадлежности маркирования  $\tilde{p}_j$  позиции НСМ множеству (3);  $k$  – некоторая переменная, определяющая значение функции  $Z_{\tilde{p}_j}(k)$ .

**Утверждение 2.** Решение задачи (1) основывается на моделировании процессов и анализе пространства состояний НСМ  $\tilde{S}(f)$  (3).

Доказательство утверждения 2 непосредственно следует из определения противоречивости 1 и 2 и пространства состояний НСМ  $\tilde{S}(f)$ .

## 4. Формализация и анализ противоречивости в пространстве состояний НСМ

В качестве исходных данных, как следует из изложенного выше, следует принять следующее:

- множество начальных состояний системы  $\{\tilde{A}_{0l}''\}, l \in L$ ;
- множество ожидаемых решений системы  $\{\tilde{A}_r'\}, r \in R$ ;
- множество фактических решений системы  $\{\tilde{A}_u''\}, u \in U$ ;

– множество функций принадлежности  $i$ -му процессу  $\left\{ \mu_{\tilde{P}_i}(k) \right\}$ .

**Утверждение 3.** Если при заданных  $A_{0l}'' \in \left\{ \tilde{A}_{0l}'' \right\}$ , для каждого из них справедливо

$$\forall \tilde{A}'_{r_1} \in \left\{ \tilde{A}'_{r_1} \right\}, \forall \tilde{A}''_{u_1} \in \left\{ \tilde{A}''_{u_1} \right\} \mid \tilde{A}'_{r_1} = \tilde{A}''_{u_1}, r_1 \in R_1, u_1 \in U_1, \\ R_1 \subset R, U_1 \subset U \quad (4)$$

и

$$\forall \tilde{A}'_{r_1} \in \left\{ \tilde{A}'_{r_1} \right\}, \forall \tilde{A}''_{u_1} \in \left\{ \tilde{A}''_{u_1} \right\} \mid \mu_{\tilde{A}'_{r_1}}(k_0) \geq \mu_{\tilde{A}''_{u_1}}(k_0), r_1 \in R_1, \\ u_1 \in U_1, R_1 \subset R, U_1 \subset U, \quad (5)$$

где  $R_1$  – подмножество ожидаемых решений системы при заданном векторе  $A_{0l}''$ ;  $U_1$  – подмножество фактических решений системы при заданном векторе  $A_{0l}''$ ;  $\mu_{\tilde{A}'_{r_1}}(k_0) \vee \mu_{\tilde{A}''_{u_1}}(k_0)$  – функция принадлежности множеству соответственно фактических или ожидаемых решений, тогда система характеризуется непротиворечивостью принимаемых решений.

Доказательство утверждения 3 непосредственно следует из (1) и (2).

Сформулируем утверждения, определяющие основные положения, связанные с интерпретацией компонент исходных данных.

**Утверждение 4.** Множество начальных состояний  $\left\{ \tilde{A}_{0l}'' \right\}, l \in L$  интерпретируется в пространстве состояний НСМ множеством векторов начальной маркировки  $\left\{ \tilde{M}(f)_{0w} \right\}, w \in W$ , причем  $|L| \neq |W|$ .

**Утверждение 5.** Множество ожидаемых решений  $\left\{ \tilde{A}'_r \right\}, r \in R$  интерпретируется в пространстве состояний НСМ подмножеством ненулевых компонент ожидаемых векторов маркирования позиций  $\left\{ \tilde{M}(f)'_q \right\} \cup \left\{ \tilde{M}(f)'_{kq} \right\}$  НСМ:

$$\left\{ \tilde{M}(f)'_q \right\} \cup \left\{ \tilde{M}(f)'_{kq} \right\} = \left\{ \left\| \tilde{M}(\tilde{p}_j) : Z_{\tilde{p}_j}(k) \right\| \right\}, q \in Q, \quad (6)$$

где  $\left\{ \tilde{M}(f)'_q \right\}$  – множество ожидаемых векторов текущего маркирования позиций  $\tilde{p}_j \in \left\{ p_i(out) \right\}$ ;  $\left\{ \tilde{M}(f)'_{kq} \right\}$  – множество ожидаемых векторов конечного маркирования позиций НСМ  $\tilde{p}_j \in \left\{ \tilde{p}_i(out)s \right\}$ ;  $\left\{ \tilde{p}_i(out)s \right\}$  – множество конечных (терминальных) позиций НСМ.

**Утверждение 6.** Множество фактических решений  $\left\{ \tilde{A}''_u \right\}, u \in U$  интерпретируется в пространстве состояний НСМ подмножеством фактических векторов конечного маркирования позиций  $\left\{ \tilde{M}(f)''_q \right\} \cup \left\{ \tilde{M}(f)''_{kq} \right\}$  НСМ:

$$\left\{ \tilde{M}(f)''_q \right\} \cup \left\{ \tilde{M}(f)''_{kq} \right\} = \left\{ \left\| \tilde{M}(\tilde{p}_j) : Z_{\tilde{p}_j}(k) \right\| \right\}, q \in Q, \quad (7)$$

где  $\left\{ \tilde{M}(f)''_q \right\}$  – множество фактических векторов текущего маркирования позиций  $\tilde{p}_j \in \left\{ \tilde{p}_i(out) \right\}$ ;  $\left\{ \tilde{M}(f)''_{kq} \right\}$  – множество фактических векторов конечного маркирования позиций НСМ  $\tilde{p}_j \in \left\{ \tilde{p}_i(out)s \right\}$ ;  $\left\{ \tilde{p}_i(out)s \right\}$  – множество конечных (терминальных) позиций НСМ.

Доказательство утверждений 4–6 основывается на постановке рассматриваемой задачи (2) и интерпретации НСМ.

Решение задачи (2) с учетом (3)–(5) и принятой интерпретации (6), (7) может быть определено в виде следующего утверждения.

**Утверждение 7.** Система характеризуется непротиворечивостью принимаемых целевых (терминальных) решений  $\left\{ Npt_{k_s} \right\} \subset \left\{ Npt_s \right\}$ , если в пространстве состояний НСМ, моделирующей процессы, при заданных векторах  $\tilde{M}(f)_{0w} \in \left\{ \tilde{M}(f)_{0w} \right\}$ , для каждого из них справедливо:

$$\forall \tilde{M}(f)_{kq}' \in \left\{ \tilde{M}(f)_{kq}' \right\}, \forall \tilde{M}(f)_{kq}'' \in \left\{ \tilde{M}(f)_{kq}'' \right\} \parallel \tilde{M}(f)_{kq}' = \tilde{M}(f)_{kq}'', \quad (8)$$

$$\forall \tilde{M}(f)'_{kq} \in \left\{ \tilde{M}(f)'_{kq} \right\}, \forall \tilde{M}(f)''_{kq} \in \left\{ \tilde{M}(f)''_{kq} \right\} \mid Z_{\tilde{p}_j}'(k_0) \geq Z_{\tilde{p}_j}''(k_0),$$

где  $\tilde{p}_j \in \left\{ \tilde{p}_i(out)s \right\}$ .

**Утверждение 8.** Система характеризуется непротиворечивостью принимаемых промежуточных решений  $\left\{ Npt_{is} \right\} \subset \left\{ Npt_s \right\}$ , если в пространстве состояний НСМ, моделирующей процессы, при заданных векторах  $\tilde{M}(f)_{0w} \in \left\{ \tilde{M}(f)_{0w} \right\}$ , для каждого из них справедливо:

$$\forall \tilde{M}(f)_{k_q}' \in \left\{ \tilde{M}(f)_{k_q}' \right\}, \forall \tilde{M}(f)_{k_q}'' \in \left\{ \tilde{M}(f)_{k_q}'' \right\} \left\| \tilde{M}(f)_{k_q}' = \tilde{M}(f)_{k_q}'' \right., \quad (9)$$

$$\forall \tilde{M}(f)_{k_q}' \in \left\{ \tilde{M}(f)_{k_q}' \right\}, \forall \tilde{M}(f)_{k_q}'' \in \left\{ \tilde{M}(f)_{k_q}'' \right\} \left| Z_{\tilde{p}_j}''(k_0) \geq Z_{\tilde{p}_j}'(k_0) \right.,$$

где  $\tilde{p}_j \in \{ \tilde{p}_i(out) \}$ .

**Утверждение 9.** Система характеризуется непротиворечивостью принимаемых решений  $\{Npts\}$ , если в пространстве состояний НСМ, моделирующей процессы, при заданных векторах  $\tilde{M}(f)_{0_w} \in \{ \tilde{M}(f)_{0_w} \}$ , для каждого из них справедливы условия (8), (9).

В качестве примера рассмотрим НСМ, моделирующую фрагмент нечетких процессов, для которого необходимо определить свойство непротиворечивости.

Пусть задано:  $\tilde{M}(f)_0 = (1, 0, 1, 1, 0, 0, \dots, 0)$ ;

$$\tilde{M}(f)'_k = (0, 0, 0, \dots, 0, 1, 1);$$

$$\tilde{M}(f)''_k = (0, 0, 0, \dots, 1, 1, 1);$$

$$\tilde{M}(f)' = (0, 1, 1, 0, \dots, 0);$$

$$\tilde{M}(f)'' = (0, 1, 1, 0, \dots, 0);$$

$$\forall \tilde{M}_{(\tilde{p}_j)} \in \tilde{M}(f)'_k \cup \tilde{M}(f)''_k \left| Z_{\tilde{p}_j}(k_0) = 0,75; \right.$$

$$\forall \tilde{M}_{(\tilde{p}_j)} \in \tilde{M}(f)'_k \cup \tilde{M}(f)''_k \left| Z_{\tilde{p}_j}(k_0) = 0,85. \right.$$

НСМ моделирует фрагмент нечетких процессов системы, который в соответствии с (9) обладает свойством промежуточной непротиворечивости и не обладает, согласно (8), свойством целевой терминальной непротиворечивости. Таким образом, НСМ не обладает свойством непротиворечивости.

Анализ свойств непротиворечивости принимаемых решений с использованием НСМ дает возможность пользователю на основе формальных подходов определить их и принять необходимые решения о модификации процессов управления. Такой подход положен в основу решения практических задач построения эффективных технологических комплексов в условиях существенно нечеткой среды развития процессов.

## Выводы

1. На основе анализа условий и особенностей функционирования существенно нечетких процессов в сложных технологических комплексах обосновано и сформулировано представление о непротиворечивости принимаемых решений.

2. Предложен комплекс утверждений, позволяющих интерпретировать состояние нечетких процессов в терминах пространства НСМ.

3. Предложен подход к формализации процесса выявления непротиворечивости принятия решений в пространстве состояний НСМ.

4. Определены формальные условия непротиворечивости при взаимодействии процессов в нечеткой среде.

5. Подход может быть положен в основу построения эффективных инструментальных средств анализа процессов управления в сложных технологических комплексах.

**Список литературы:** 1. Ямпольский Л.С., Лавров О.А. Штучний інтелект у плануванні та управлінні виробництвом. К.: Вища шк., 1995. 255с. 2. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений /А.Н. Борисов, А.В. Алексеев, Г.В. Меркурьева и др. М.: Радио и связь, 1989. 304с. 3. Мурата Т. Сети Петри: Свойства, анализ, приложения//ТИИЭР, т.77. №4, апрель 1989. С.41-85. 4. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств: Пер. с франц. М.: Радио и связь, 1982. 432с.

**Кучеренко Евгений Иванович**, канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник кафедры искусственного интеллекта ХТУРЭ. Адрес: Украина, 61204, Харьков, пр. Победы, 78, кв. 168, тел. 38-77-03, 40-93-37.

УДК 621.317.71:681.586.37

Н.Д. КОШЕВОЙ, С.М. КУСТ

## УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ

### ПОСТОЯННЫХ ТОКОВ

Предлагаются два устройства для измерения постоянных токов, обладающие рядом преимуществ по сравнению с существующими. Они могут найти широкое применение в различных измерительных системах, системах управления, контроля и диагностики.

Известны датчики тока серий ДИТ и ДТХ, которые серийно выпускаются промышленностью России [1, 2]. Они имеют следующие недостатки:

- сложность электронной схемы, обусловленная компенсацией температурного дрейфа;

- низкая технологичность, обусловленная изготовлением и использованием кольцевого магнитопровода с зазором и установкой в этот зазор специального магниточувствительного датчика Холла;

- высокая цена.