

## ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ СИТУАЦИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТП ПРОИЗВОДСТВА ГУБЧАТОГО ТИТАНА

Ю.П. Кирин, С.Л. Краев

(ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»)

*Проанализированы известные подходы к решению проблемы построения системы идентификации ситуаций функционирования процессов восстановления и вакуумной сепарации губчатого титана. Предложена методология построения системы идентификации, основанная на извлечении информации о ситуациях функционирования из динамики позиционного управления процессами. Приведены модели динамики и системы конечных уравнений, описывающие ситуации функционирования процессов. Рассмотрена структура системы идентификации ситуаций функционирования ТП. Приведены практические результаты применения системы идентификации ситуаций функционирования в АСУТП производства губчатого титана.*

*Ключевые слова:* губчатый титан, технологические процессы, ситуации функционирования, идентификация.

Процессы восстановления тетрахлорида титана магнием и последующей вакуумной сепарации составляют основу промышленного производства губчатого титана. Процессы проводят в аппаратах восстановления и сепарации периодического действия [1].

Современные методы совершенствования производства губчатого титана базируются на эвристическом подходе: в производственных условиях экспериментально подбирают и реализуют режимы ведения ТП, обеспечивающие максимальную производительность аппаратов восстановления и сепарации и требуемое качество губчатого титана по остаточному содержанию хлора.

При этом необходимо осуществлять большое число операций, выполняемых с участием технолога — лица, принимающего решение (ЛПР). Так, например, особенность организации промышленного производства губчатого титана предполагает знание ситуаций функционирования (СФ) процессов восстановления и вакуумной сепарации: лимитирующих стадий процесса восстановления; положения зоны экзотермической реакции по высоте аппарата восстановления (АВ); условий передачи тепла из зоны экзотермической реакции в зоны нагрева АВ; стадий и момента окончания процесса вакуумной сепарации; режима охлаждения конденсатора аппарата сепарации (АС).

Определение СФ ТП и принятие оперативных управленческих решений в РВ действующего производства осуществляет ЛПР, используя свои знания, опыт, интуицию. Повышение эффективности действий ЛПР может быть достигнуто за счет информационной поддержки управления процессами восстановления и вакуумной сепарации путем разработки системы идентификации СФ процессов.

Проблема идентификации СФ ТП занимает одно из центральных мест при разработке систем управления. Каких-либо универсальных методов решения данной проблемы не предложено. В общем случае для получения информации о СФ в систему управления вводится дополнительная измерительная подсистема, в состав которой входят измерители и индикаторы, учитывающие СФ ТП. Результаты идентификации СФ используют для совершенствования управления ТП [2].

Такой подход существенно усложняет структуру системы управления, повышает затраты на ее разработку, внедрение и эксплуатацию. Аналогичные подходы использовались в производстве губчатого титана, где с самого начала организации промышленного производства предпринимались попытки идентифицировать СФ процессов восстановления и вакуумной сепарации применением специально разработанных средств и систем автоматизации. Так, необходимость контроля перемещения по высоте аппарата восстановления зоны экзотермической реакции потребовала создания многоспайных термопар и специального устройства для определения наиболее нагретого спая — так называемого «искателя максимальных температур» [3].

Для совершенствования технологических режимов процесса восстановления разработана система автоматизации, основанная на контроле и управлении материальным балансом процесса. Реактор непрерывно автоматически взвешивается высокочувствительным тензovesоизмерителем, по показаниям которого определяется количество загруженного в реактор восстановителя, количество и скорость подачи тетрахлорида титана, вес слитого хлорида магния, а также положение зоны экзотермической реакции по высоте аппарата [3].

Автором работы [4] предложен способ контроля уровня жидкого металла — восстановителя, основанный на измерении электромагнитного поля катушки индуктивности, расположенной на определенной высоте аппарата восстановления. Предполагалось, что измерение уровня позволит своевременно обнаруживать отклонения технологических режимов от оптимума и принимать необходимые управленческие решения для их корректировки.

В работе [5] предложен способ контроля длительности и момента окончания процесса вакуумной сепарации, основанный на измерении разности между текущим значением потребляемой электрической мощности и заданным значением мощности теплопотерь. Для реализации способа требуются специальный датчик мощности электроэнергии, чувствительность которого определяется через допустимую массу

примесей в товарной продукции и теплоту парообразования хлорида магния. При этом каждую зону нагрева аппарата сепарации оснащают измерительным прибором. Результаты измерения поступают в вычислительное устройство, которое определяет длительность и момент окончания процесса сепарации.

Рассмотренные выше средства и системы автоматизации испытывались в составе автоматизированной системы управления «Титан» [6]. В процессе испытаний установлено, что предложенные технические средства достаточно сложны, не обеспечивают необходимую точность контроля технологических режимов, имеют низкую надежность работы, требуют значительных затрат на эксплуатацию. Поэтому указанные разработки не нашли практического применения для идентификации СФ процессов восстановления и вакуумной сепарации.

Известен способ улучшения режимов функционирования процесса восстановления, основанный на изменении аппаратного оформления процесса. Так, в работе [7] предложен способ снижения энергозатрат процесса восстановления путем передачи тепла из зоны экзотермической реакции в зоны нагрева аппарата восстановления с помощью теплообменника с межканальной транспирацией воздуха. Применение такого теплообменника существенно усложняет конструкцию аппарата восстановления. Это обстоятельство ограничивает использование данного способа в промышленном производстве губчатого титана.

Таким образом, анализ ранее выполненных работ показывает, что известные подходы не позволяют решить проблему идентификации СФ процессов восстановления и вакуумной сепарации. Поэтому большой интерес представляет построение системы идентификации СФ ТП с помощью существующих систем информационного обеспечения и управления, то есть без дополнительных затрат. Один из таких подходов состоит в извлечении информации о СФ из динамики позиционного управления температурой процессов.

Рассмотрим методологию построения системы идентификации СФ в позиционных системах управления температурой процессов восстановления и вакуумной сепарации губчатого титана.

Конструкции АВ и АС предусматривают разделение рабочего объема каждого аппарата на ряд зон нагрева (АС), зон нагрева и зону экзотермической реакции (АВ). Характерная особенность таких систем как объектов управления состоит в поддержании позиционными регуляторами в каждой зоне нагрева (зоне реакции) определенной температуры с требуемой точностью [1]. Температура зон нагрева АВ и АС регулируется притоком тепловой энергии, поступающей от нагревателей, а температура зоны экзотермической реакции — оттоком тепловой энергии посредством создаваемого вентилятором воздушного охлаждения. Системы позиционного регулирования температуры процессов восстановления и сепарации

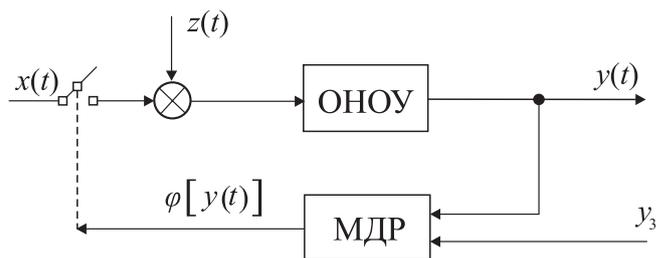


Рис. 1. Типовая структурная схема позиционного регулирования температуры процесса восстановления (сепарации)

работают в режиме автоколебаний, параметры которых зависят от условий функционирования восстановления и сепарации и изменяются при изменении возмущающих воздействий: выделяемого тепла экзотермической реакции восстановления тетрахлорида титана магнием, потребляемого тепла на вакуумную очистку губчатого титана от примесей магния и хлорида магния. При этом параметры автоколебаний могут использоваться в качестве идентификационных признаков для определения СФ ТП. Такой подход существенно упрощает структуру систем управления, согласуется с принципом полного использования информации в оптимальных системах и представляется наиболее целесообразным для разработки системы идентификации СФ ТП.

Управление процессами восстановления и сепарации состоит из ряда типовых нестационарных нелинейных (позиционных) систем регулирования технологических параметров [8].

Каждая из таких систем регулирования состоит из обобщенного нестационарного объекта управления (ОНОУ), на вход которого подается неконтролируемое возмущение  $z(t)$ , и многоканального двухпозиционного регулятора (МДР) (рис. 1).

Под ОНОУ подразумевают зону нагрева, зону реакции АВ или зону нагрева АС; под  $z(t)$  — изменение тепловых потерь зоны нагрева, изменение тепла зоны экзотермической реакции АВ, изменение потребляемого тепла зоны нагрева АС. МДР изменением регулирующего воздействия  $\varphi[y(t)]$  — включением/выключением входной величины  $x(t)$  (мощности нагрева зоны или мощности охлаждения зоны реакции) поддерживает выходную величину  $y(t)$  (температуру) ОНОУ на заданном уровне  $u_3$ .

Таким образом, при включении  $x(t)$  на входе ОНОУ действует разность  $x(t) - z(t)$ , при выключении  $x(t)$  поведение ОНОУ определяется возмущающим воздействием  $z(t)$ . Система регулирования при этом работает в режиме автоколебаний.

Изменение возмущающего воздействия  $z(t)$  накладывает своеобразный отпечаток на динамику позиционного управления ТП, которая характеризуется автоколебаниями сложной формы с переменными параметрами. При этом, параметры автоколебаний температуры используются в качестве идентификационных признаков для определения СФ процессов восстановления и вакуумной сепарации.

Текущие СФ ТП описываются с помощью упрощенных математических моделей динамики. В качестве информации для отслеживания СФ в моделях динамики используется изменение (непреднамеренное или преднамеренное) возмущающих воздействий  $z(t)$ .

Для оценки динамических свойств реального ОНОУ его можно с приемлемой для практики точностью представить эквивалентными нестационарными объектами без самовыравнивания и с самовыравниванием, описываемыми соответствующими дифференциальными уравнениями:

$$\frac{d[y(t)]}{dt} = K_0 \cdot [x(t-\tau) - z(t)]; \quad (1)$$

$$T_0 \cdot \frac{d[y(t)]}{dt} + y(t) = K_0 \cdot [x(t-\tau) - z(t)], \quad (2)$$

где  $K_0$  — коэффициент усиления объектов;  $T_0$  — постоянная времени объекта с самовыравниванием;  $\tau$  — время запаздывания объектов. Следует заметить, что  $K_0, T_0, \tau, x$  — известные постоянные величины (заданы либо найдены в результате предварительно проведенной идентификации).

Таким образом, считаем, что априорно известны структуры операторов ОНОУ, представленные дифференциальными уравнениями (1, 2).

При этом нестационарность обусловлена тем, что  $z(t)$  в дифференциальных уравнениях (1, 2) является некоторой неизвестной функцией времени. Задача идентификации СФ ТП состоит в определении этой переменной.

Автоколебательные режимы в позиционных системах управления описываются системами конечных уравнений, устанавливающими взаимосвязь параметров автоколебаний с переменной  $z(t)$  дифференциальных уравнений для ОНОУ без самовыравнивания

$$\Delta y_{(+)}(z) = \Delta y_0 + \tau \cdot K_0 \cdot [x - z(t)]; \quad (3)$$

$$\Delta y_{(-)}(z) = \Delta y_0 + \tau \cdot K_0 \cdot z(t); \quad (4)$$

$$T_{on}(z) = \tau + \frac{2\Delta y_0 + \tau \cdot K_0 \cdot z(t)}{K_0 \cdot [x - z(t)]}; \quad (5)$$

$$T_{off}(z) = \tau + \frac{2\Delta y_0 + \tau \cdot K_0 \cdot [x - z(t)]}{K_0 \cdot z(t)}; \quad (6)$$

и для ОНОУ с самовыравниванием

$$\Delta y_{(+)}(z) = K_0 \cdot [x - z(t)] \cdot \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\tau}{T_0}\right) \right] + \Delta y_0 \cdot \exp\left(-\frac{\tau}{T_0}\right); \quad (7)$$

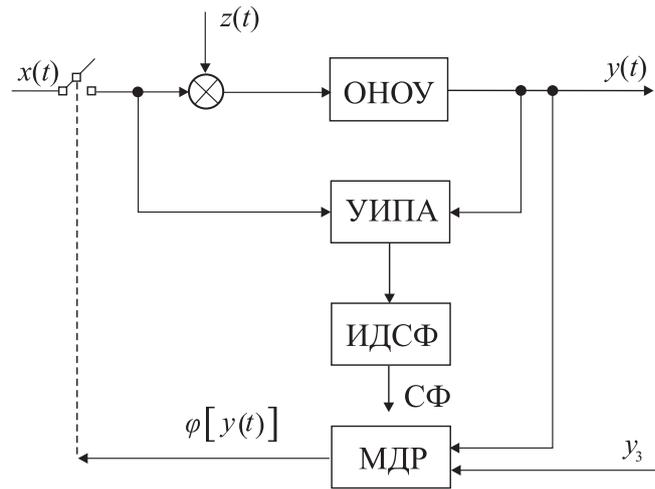


Рис. 2. Структурная схема идентификации СФ процесса восстановления (сепарации)

$$\Delta y_{(-)}(z) = K_0 \cdot z(t) \cdot \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\tau}{T_0}\right) \right] + \Delta y_0 \cdot \exp\left(-\frac{\tau}{T_0}\right); \quad (8)$$

$$T_{on}(z) = \tau + T_0 \cdot \ln \frac{K_0 \cdot x - [K_0 \cdot z(t) - \Delta y_0] \cdot \exp\left(-\frac{\tau}{T_0}\right)}{K_0 \cdot [x - z(t)] - \Delta y_0}; \quad (9)$$

$$T_{off}(z) = \tau + T_0 \cdot \ln \frac{K_0 \cdot x - \{K_0 \cdot [x - z(t)] - \Delta y_0\} \cdot \exp\left(-\frac{\tau}{T_0}\right)}{K_0 \cdot z(t) - \Delta y_0}. \quad (10)$$

где  $\Delta y_{(+)}(z), \Delta y_{(-)}(z)$  — соответственно амплитуды положительного и отрицательного отклонений выходной величины от  $y_3$ ;  $T_{on}(z), T_{off}(z)$  — значения времени включения/выключения входной величины;  $2\Delta y_0$  — зона нечувствительности МДР.

При заданных значениях  $K_0, T_0, \tau, x, 2\Delta y_0$  системы уравнений (3–10) представляют функциональные зависимости изменения параметров автоколебаний от  $z(t)$ . Указанные зависимости позволяют отслеживать текущие СФ по результатам измерения параметров автоколебаний температуры и служат основой для построения алгоритмов идентификации СФ ТП. Таким образом, задача идентификации СФ сводится к измерению и анализу параметров автоколебаний температуры в позиционной системе управления.

Система идентификации встраивается непосредственно в контур позиционного управления ТП. Для этого необходимо представленную на рис. 1 структурную схему дополнить устройством измерения параметров автоколебаний (УИПА) и оценивающим устройством — идентификатором СФ (ИДСФ) с заложенными в него алгоритмами идентификации СФ ТП (рис. 2). УИПА в процессе

функционирования ОНОУ измеряет на его входе значения параметров автоколебаний  $T_{on}(z)$  и  $T_{off}(z)$ , а на выходе — значения параметров автоколебаний  $\Delta y_{(+)}(z)$ ,  $\Delta y_{(-)}(z)$ . ИДСФ, используя результаты измерений параметров автоколебаний температуры, определяет текущие СФ процессов восстановления и вакуумной сепарации.

Впервые представленная на рис. 2 система идентификации СФ была реализована на Березниковском титано-магниево-комбинате (ныне филиал АВИС-МА ОАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА») в двухуровневой АСУ, предназначенной для управления длительностью процесса сепарации и тепловым режимом конденсатора [9]. В такой АСУ функции МДР выполняли машины централизованного контроля, функции УИПА и ИДСФ — управляющие вычислительные машины. С помощью системы идентификации СФ осуществлялась поддержка решений ЛПР при определении длительности процесса сепарации и режима охлаждения конденсатором. Внедрение двухуровневой АСУ позволило сократить длительность процессов и улучшить качество губчатого титана.

Основу современных систем автоматизации производства губчатого титана составляют АРМ операторов процесса восстановления и вакуумной сепарации, построенные на базе микропроцессорных контроллеров и компьютеров. Здесь функции УИПА, ИДСФ и МДР выполняют микропроцессорные контроллеры, то есть система идентификации СФ реализуется без дополнительных измерительных подсистем в составе существующих АРМ и используется в системах ситуационного управления процессами восстановления и вакуумной сепарации для поддержки принимаемых ЛПР управленческих решений [10]. В результате внедрения систем ситуационного управления снижены энергозатраты на проведение процессов.

**Кирич Юрий Петрович** — канд. техн. наук, доцент, **Краев Сергей Львович** — ст. преподаватель кафедры «Автоматизация технологических процессов» ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» Березниковский филиал.  
Контактный телефон (3424)-26-90-9024-77-64.  
E-mail: ksl63@mail.ru

### Корпорация Componentality Oy (Финляндия) представила технологию FlexRoad в России

Компания Componentality Oy (Финляндия), занимающаяся разработкой решений в области автомобильной электроники, объединила усилия с Конструкторским бюро современных технологий Санкт-Петербургского Университета ИТМО (КБСТ ИТМО) для демонстрации технологии FlexRoad в Санкт-Петербурге.

Разработанная специалистами компании Componentality Oy технология передачи данных между движущимися объектами FlexRoad основана на использовании стандарта DSRC 802.11p (разновидности Wi-Fi для быстро движущегося транспорта) и mesh сети.

Внедрение данной технологии позволит качественно изменить интеллектуальность современных транспортных систем: реализовать предупреждение опасности столкновения автомобилей, оптимизацию дорожного движения, мгновенную оплату парковки, оплату проезда на платных дорогах без ворот и снижения скорости потока и др. Благодаря внедрению разработанной технологии в городе может появиться единая система беспроводной передачи данных с возможностью подключения к ней муниципального и коммерческого транспорта, а также предоставления широкого круга сервисов. Как система связи она во многом дублирует сотовую, но более надежна, адаптивна, дает возможность локальной обработки данных, при этом не конструирует, а дополняет другие коммуникационные технологии.

Предложенные подходы могут быть применены для разработки систем идентификации СФ ТП в различных отраслях промышленности.

### Список литературы

1. *Тарасов А. В.* Металлургия титана. М.: ИКЦ «Академкнига». 2003.
2. *Сергин М. Ю.* Современное состояние и возможные пути решения проблем построения систем управления ТП//Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2004. № 1.
3. *Тимченко Б. С.* Экспериментально-статистическая оптимизация, контроль и автоматизация металлургии. М.: Цветметинформация. 1968.
4. *Иодко В. Э.* Моделирование гидродинамических явлений в аппарате магнетермического получения титана. //Семинар по прикладной магнитной гидродинамике (тезисы докладов). Пермь: АН СССР, Уральский науч.-ный центр, отдел физики полимеров. 1978. Ч. 1.
5. *Захаров Ю. А., Поплаво В. Г., Огурцов С. В. и др.* Прогнозирование и оптимизация длительности процесса вакуумной сепарации по энергозатратам //Цветные металлы. 1978. № 12.
6. *Скорик В. Ф., Бирюков В. Б., Дегтярик Н. В. и др.* Автоматизированная система управления процессом производства губчатого титана «Титан» //Цветная металлургия. 1984. № 1.
7. *Затонский А. В.* Передача тепла из зоны реакции в зону подогрева аппарата восстановления титана //Наука в решении проблем Верхнекамского промышленного региона: Сб. науч. тр. Березники: БФ ПГТУ. 1998. Вып. 1.
8. *Кирич Ю. П., Затонский А. В., Беккер В. Ф., Краев С. Л.* Идентификация технологических процессов производства губчатого титана // Проблемы управления. 2008. №4.
9. *Кирич Ю. П., Черепанов А. И., Протасов Ю. А. и др.* Принципы построения двухуровневой АСУ процесса сепарации губчатого титана //Цветная металлургия. 1983. № 13.
10. *Кирич Ю. П., Краев С. Л.* Ситуационное управление процессами производства губчатого титана // Промышленные АСУ и контроллеры. 2011. №11.

С целью наглядной демонстрации возможностей FlexRoad® в декабре 2012 г. в районе проведения презентации на Васильевском острове была построена локальная тестовая зона беспроводной автомобильной сети. Были показаны следующие примеры применения технологии:

- «умный светофор» — переключение сигнала светофора для приоритетного проезда специального и общественного транспорта;
- «умная остановка» — информационное табло для пассажиров, отображающее время ожидания общественного транспорта;
- «предотвращение столкновений» — функция предупреждения водителей о столкновении транспортных средств.

По мнению разработчиков, технология FlexRoad сумеет перевернуть все представления о возможностях автомобиля, поскольку он будет связан с каждым светофором, дорожным знаком и всеми машинами, при этом мгновенно передавая другим информацию о своем положении. Таким образом, внедрение FlexRoad способствует глобальному изменению современных транспортных систем, так и всеобщей безопасности.

Адаптацией технологии в России занимаются специалисты Национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики (НИУ ИТМО) и Конструкторского бюро современных технологий (КБСТ ИТМО).

<http://www.componentality.com> [www.kbst-itmo.ru](http://www.kbst-itmo.ru)