

## УПРАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТАМИ С ВЗАИМОСВЯЗАННЫМИ ВЕЛИЧИНАМИ

**М. Н. М. Саиф, В. Г. Матвейкин, Б. С. Дмитриевский,  
А. В. Башкатова, А. А. Мамонтов**

*Кафедра «Информационные процессы и управление»,  
ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия; dmiboris@yandex.ru*

**Ключевые слова:** взаимосвязанные величины; задача управления; модель объекта; объект управления; система управления; сталеплавильная печь; сушилка.

**Аннотация:** Рассмотрены теоретические и методологические основы управления объектами с взаимосвязанными величинами, раскрыта специфика таких объектов и основные особенности задачи управления. На многосвязном объекте возникает множество управленческих задач, причем необходимо управлять не только техническими, но и экономическими показателями. На основе проведенного анализа и исследования данного объекта как объектов моделирования и автоматизации предложены способы совершенствования методов управления, позволяющие повысить качество управления процессом. В качестве примеров рассмотрены процессы сушки и процессы плавления в дуговой сталеплавильной печи.

---

### Введение

Большинство технологических систем представляет собой совокупность связанных материальными и энергетическими потоками технологических объектов с взаимосвязанными величинами. Физические перемещения потоков сопровождаются следующими тепловыми процессами: тепловыделением, теплообменом, теплопередачей. Примерами тепловых объектов являются теплообменники, химические реакторы, сушильные установки, печи, ректификационные колонны и др. Как правило, данные объекты входят в состав автоматизированных технологических установок большой мощности, и их не эффективная работа может приводить к значительным издержкам производства промышленной продукции и ухудшению ее качества.

Задачам разработки систем управления посвящено большое количество публикаций [1 – 4]. Однако поиск более совершенных методов и путей управления такими объектами представляет собой нетривиальную задачу, так как используется большое многообразие ресурсов, а скорость изменения влияния окружающей среды довольно высока [5]. Эффективность автоматизации в первую очередь зависит от того, насколько широко и глубоко она охватывает реальный технологический процесс.

### Формализация задачи управления

Задачу, возникающую при построении автоматизированных систем управления (АСУ) объектами с взаимосвязанными величинами, можно сформулировать следующим образом: на базе имеющихся технических средств автоматизации повысить эффективность управления данным объектом путем разработки систе-

мы управления, обеспечивающей достижение минимальных производственных затрат.

Рассмотрим следующие подходы к решению поставленной задачи:

- интуитивный,
- формализованный.

Каждый из них имеет отличительные особенности.

В первом случае на основании априорных представлений об объекте и логических рассуждений предлагается некоторый алгоритм управления и его реализация. Эффективность принятого решения опирается на интуицию разработчика и проверяется экспериментально на объекте.

Во втором случае первоначально делается попытка формализовать исходные представления об объекте и всей задаче управления. Далее либо математически строго, либо при помощи целого ряда дополнительных предположений предлагается алгоритм управления. Принятые решения до экспериментальной проверки на объекте проверяется в лабораторных условиях, опираясь на имеющиеся формальные представления об объекте. Анализируя оба подхода можно заключить, что первый путь проще, а второй в большей степени позволяет использовать достижения теории управления и более надежен. Однако для объекта с взаимосвязанными величинами эффективность первого подхода существенно ниже, поэтому важное значение приобретает формализованный подход, рассмотренный в работе.

Для решения сформулированной задачи управления на базе формализованного подхода необходимо:

1. Провести исходную формализацию задачи управления.
2. Разработать алгоритмы управления.
3. Подобрать рациональную структуру технических средств, реализующих АСУ.

Используя классический подход, систему управления рассматриваем состоящей из объекта управления и управляющей части. Под объектом управления понимаем всю установку или ее часть, управление которой предполагается автоматизировать. Объект управления однозначно выделяется принятой совокупностью наблюдаемых величин, управляющих воздействий и критериев управления (наряду с ограничениями). Под наблюдаемыми величинами понимаем показания измерительных приборов установки. Информация о наблюдаемых величинах поступает в управляющую часть системы.

Управляющие воздействия представляют переменные, характеризующие положения органов управления установкой. Изменения значений управляющих воздействий осуществляются на основании решений, принимаемых управляющей частью системы.

Под критерием управления понимаем некоторый показатель, определяющий качество работы системы, а под ограничениями – допустимые пределы изменения тех или иных переменных, характеризующих протекание технологического процесса, конструктивные возможности установки, номенклатурные признаки продукта и т.п. Переменные, характеризующие состояние объекта и входящие в выражения критерия управления и ограничений, будем называть выходными координатами объекта.

Для уточнения общей задачи, возникающей при построении АСУ, предполагаем, что автоматизируется управление действующей установкой и имеется набор готовых технических средств для реализации тех и иных функций управления.

Выделим четыре основных этапа, связанные с исходной формализацией задачи.

1. Содержательное описание установки и существующей системы управления.
2. Формулирование цели управления, выделение объекта управления.

3. Составление структурной схема объекта управления, декомпозиция задачи управления.

4. Составление априорной математической модели.

По мере увеличения знаний об объекте управления возвращаемся к предшествующим этапам, исправляем принятые раньше решения, вновь повторяем пройденные этапы и т.д.

### **Синтез алгоритма управления**

При решении задачи управления необходимо сформировать некоторую абстрактную схему на основании анализа реального процесса. При этом принимается большое количество интуитивных решений. Значительная часть таких решений определяется стремлением разумно упростить описание объекта и задачи управления, выделить главное и отбросить второстепенные подробности. В противном случае математические модели становятся слишком громоздкими, а точность решения задачи при этом практически не увеличивается.

Формализацию задачи синтеза алгоритма управления начинаем с формулирования цели управления. Для этого записываем аналитическое выражение критерия управления, определив при этом временной (расчетный) интервал, для которого формулируется задача, и выписываем все ограничения.

Чаще всего критерий управления не формируется заказчиком, хотя предложение автоматизировать установку обычно подразумевает стремление к улучшению производственных экономических показателей (себестоимости, прибыли, производительности и т.д.). В этих условиях строгое формирование самостоятельной задачи для данной установки может быть осуществлено путем анализа и последующей формализации задач планирования и оперативного управления всем цехом, а возможно, и более широким участком производства. Если подобная работа не проводится, то разработка критерия управления сводится к формализации существующих стимулов, принятых для соответствующих работников различных групп управления. В этом случае перед формулированием цели управления для системы особенно важно принять, какие функции управления возьмет на себя автоматизированная система. Следует помнить, что при разработке АСУ изменяется существующая система управления.

Сложной задачей является выбор расчетного временного интервала, который определяется как характеристиками объекта управления, так и общим видом принятого критерия. При синтезе систем автоматического регулирования (САР) для простых объектов управления это время выбирается бесконечно большим. В тех случаях, когда управление на предшествующих интервалах мало влияет на поведение объекта в последующее время, заменяем критерий управления некоторым текущим показателем, характеризующим работу системы в каждый данный интервал или в каждый данный момент времени.

Для рассматриваемого объекта такие решения недопустимы. При увеличении расчетного времени усложняется математическое описание объекта. В то же время значительное уменьшение расчетного времени приводит к существенным потерям, так как принимаемые на данном интервале решения по управлению могут оказаться не лучшими. Рациональным расчетным временем является интервал, соответствующий межремонтному пробегу установки. Иногда и такой расчетный интервал может быть сокращен. Например, для некоторых периодических процессов в качестве расчетного интервала может быть принято время рабочего цикла, если можно пренебречь влиянием данного цикла на последующие. После того как сформулирована цель управления, для четкого выделения объекта из всей совокупности управляющих воздействий и наблюдаемых переменных, относя-

щихся к установке в целом, выделяем переменные, которые будут рассматриваться в формулируемой задаче.

Выбираемые управляющие воздействия должны существенно влиять на цель управления. Можно использовать принятое ранее решение о том, чьи функции будет выполнять разрабатываемая АСУ. В этом случае выбираются те управляющие воздействия и соответствующие наблюдаемые переменные, которыми пользуется оператор в существующей системе. При этом возможно целесообразное изменение перечня наблюдаемых переменных.

При выделении объекта управления важным для принятия того или иного решения является оценка экономической эффективности АСУ, выполненная на основании имеющихся общих данных об объекте. Эффект, который ожидается от системы управления, сопоставляется с оценкой стоимости соответствующих технических средств и их эксплуатации. По мере углубления знаний об объекте управления необходимо провести дополнительные исследования эффективности принятых решений.

Под возмущающими воздействиями будем понимать координаты, характеризующие влияние внешней среды на объект управления, не зависящие от состояния объекта и изменяющиеся независимо от функционирования управляющей части системы. К возмущающим воздействиям также отнесем внутренние неуправляемые изменения объекта.

Промежуточными координатами будем называть переменные, зависящие от управляющих или возмущающих воздействий и влияющие на выходные и наблюдаемые координаты. Промежуточные координаты связывают между собой элементы структурной схемы.

В отличие от управляющих воздействий, наблюдаемых и выходных координат, выделение которых проводится на стадии формализации исходной задачи управления, определение промежуточных координат и возмущающих воздействий проводится на стадии составления структурной схемы и во многом является отражением понимания существа технологического процесса. Именно поэтому структурная схема уточняется по мере увеличения знаний об объекте.

Рассмотрим предпосылки, которыми необходимо руководствоваться при определении возмущающих воздействий, выборе промежуточных координат и выделении отдельных элементов структурной схемы.

1. Рассматривая последовательно все материальные и энергетические потоки, проходящие через установку, можно определять существенные характеристики этих потоков, как соответствующие координаты объекта.

2. Деление объекта управления на элементы структурной схемы по реальным аппаратам.

3. Определение в качестве промежуточных тех переменных, с помощью которых легче представить физическую сущность рассматриваемого процесса и от величины которых существенно зависят выходные переменные. Выделение таких координат приводит к ряду существенных упрощений. Взаимное влияние многих координат может оказаться несущественным и поэтому не учитываться; отдельные координаты могут быть исключены из рассмотрения, как не оказывающие влияния на величину критерия; критерий управления может разделиться на несколько частей и управляющие воздействия, действующие на каждую из этих частей, могут не оказывать влияния на остальные. Произойдет декомпозиция задачи управления, то есть деление ее на ряд более простых, не связанных между собой задач.

Эффективным способом декомпозиции задачи управления является выделение режимных координат. Этот способ применим в тех случаях, когда среди промежуточных координат могут быть выделены такие, при которых часть управляющих и возмущающих воздействий влияет на выходные переменные объекта

не непосредственно, а только через некоторые из выделенных промежуточных координат. При этом можно построить локальные САР, обеспечивающие стабилизацию этих промежуточных координат, независимо от значений других управляющих и промежуточных координат.

Таким образом, переходя к решению задачи управления не в пространстве всех управляющих и возмущающих воздействий, а в пространстве режимных координат и тех возмущений, которые воздействуют на выходные переменные помимо режимных координат, сокращается число переменных и, соответственно, облегчается решение. Это будет тем существенней, чем большее количество возмущений и управлений из числа действующих на объект проявляет свое действие через режимные координаты. Такую задачу, в отличие от исходной, будем называть задачей управления режимом.

Для того чтобы качество управления не ухудшилось в результате деления исходной задачи на задачи регулирования и управления режимом, должны быть выполнены следующие условия.

1. Системы автоматического регулирования режимных координат должны обеспечивать компенсацию возмущающих воздействий. При этом каждая режимная координата должна быть наблюдаемой переменной.

2. Управляющие воздействия, используемые для регулирования режимных координат, должны влиять на выходные переменные только через режимные координаты.

### **Управление процессом сушки**

К настоящему времени сушилки крайне недостаточно изучены как объекты управления. Причинами этого являются сложность процессов тепло-, массообмена, происходящих в сушилках, нестационарности коэффициентов; изменение формы, размеров и структуры частиц высушиваемого материала; недостаточность экспериментальных данных о кинетике сушки и аэродинамике аппаратов (особенно при сушке распылением и в кипящем слое); сложность геометрии некоторых типов сушилок.

Для построения систем управления необходимы динамические характеристики сушилок, которые могут быть получены аналитическим и экспериментальным методом. К аналитическому методу относятся:

1. Решение общих уравнений процесса для какого-либо конкретного способа сушки с наложением краевых условий, соответствующих данному типу сушилки, и экспериментальным определением коэффициентов уравнений или зависимостей этих коэффициентов от вида и физико-химических свойств высушиваемого материала и сушильного агента и конструкции аппарата. В результате получаем полную математическую модель автоматизируемой сушилки.

2. Решение уравнения кинетики сушки с опытным нахождением коэффициента скорости сушки для конкретных условий (исследуемых материала и сушилки).

3. Составление и решение балансовых уравнений в малых отклонениях для данной конструкции сушилки – при небольших отклонениях от номинального (или любого расчетного) режима с последующей линеаризацией уравнений и всех сложных зависимостей, входящих в них, которую обычно проводят разложением в ряд Тейлора. В итоге получают линеаризованное математическое описание, вполне пригодное для анализа работы объекта при режимах близких к расчетному.

4. Составление структурных схем объекта с аппроксимацией сушилки одним или несколькими типовыми звеньями.

К экспериментальному методу относятся:

1. Методы активного эксперимента – определение кривых разгона, нахождение частотных характеристик, определение импульсных характеристик, статистический планируемый эксперимент.

2. Методы пассивного эксперимента – статистическая обработка данных нормальной эксплуатации.

Полученное математическое описание используется для расчета коэффициентов усиления по всем каналам связей между входными и выходными параметрами, в расчете статики и динамики сушилок, для оптимизации их работы.

Рассмотрим математические модели, описывающие процесс сушки в аппаратах с фонтанирующим слоем. Сушилка представляет собой конический аппарат, внутрь которого засыпаются частицы влажного материала. Снизу подается горячий воздух со скоростью, при которой он пробивает слой и образует фонтан (струи). Влажные частицы могут подаваться как в фонтан, так и в слой и в нем высушиваются. Выгрузка проводится из нижней части аппарата. Сушка в основном происходит в фонтане и частично в слое (влажность частиц в слое считаем одинаковой). Ниже приведены математические модели для разных вариантов сушки:

– непрерывная сушка, подача частиц в слой, сушка в фонтане и слое:

$$\begin{aligned} \frac{dW_1}{dt} &= -KW_1; \\ \frac{dW_2}{dt} &= \frac{N_1(W_1 - W_2) + N_0(W_H - W_2)}{N_2} - K_0W_2; \end{aligned} \quad (1)$$

– периодическая сушка, сушка в фонтане:

$$\begin{aligned} \frac{dW_1}{dt} &= -KW_1; \\ \frac{dW_2}{dt} &= \frac{N_1}{N_2}(W_1 - W_2); \end{aligned} \quad (2)$$

– непрерывная сушка, подача частиц в слой, сушка в фонтане:

$$\begin{aligned} \frac{dW_1}{dt} &= -KW_1; \\ \frac{dW_2}{dt} &= \frac{N_1(W_1 - W_2) + N_0(W_H - W_2)}{N_2}; \end{aligned} \quad (3)$$

– непрерывная сушка, подача частиц в фонтан, сушка в фонтане и слое:

$$\begin{aligned} \frac{dW_1}{dt} &= -K \frac{N_1W_1 + N_0W_H}{N_1 + N_0}; \\ \frac{dW_2}{dt} &= \frac{N_1 + N_0}{N_2}(W_1 - W_2) - K_0W_2; \end{aligned} \quad (4)$$

– непрерывная сушка, подача частиц в фонтан, сушка в фонтане:

$$\begin{aligned} \frac{dW_1}{dt} &= -K \frac{N_1W_1 + N_0W_H}{N_1 + N_0}; \\ \frac{dW_2}{dt} &= \frac{(N_1 + N_0)(W_1 - W_2)}{N_2}; \end{aligned} \quad (5)$$

– периодическая сушка, сушка в фонтане и слое:

$$\begin{aligned} \frac{dW_1}{dt} &= -KW_1; \\ \frac{dW_2}{dt} &= \frac{N_1}{N_2}(W_1 - W_2) - K_0W_2. \end{aligned} \quad (6)$$

Здесь  $W_H, W_1, W_2$  – влажностесодержащие частицы начальное, в фонтане и слое;  $N_1, N_2, N_0, N_{\text{вых}}$  – количество частиц, вовлекаемых в фонтан из слоя, в слое,

подающихся (выгружаемых  $N_{\text{ВЫХ}}$ ) в аппарат, где  $N_{\text{ВЫХ}} = N_0$ ;  $K, K_0$  – коэффициент скорости сушки в фонтане и слое.

Поставим задачу: найти управляющее воздействие для процесса сушки в аппарате с фонтанирующим слоем, при котором достигается экстремум критерия оптимальности. В качестве критерия оптимальности выбрано: минимальное время, при котором влажность продукта достигает заданного значения; минимальное значение влажности продукта, которое достигается за заданное время; минимальное значение среднеквадратического отклонения влажности продукта от заданного значения за заданное время.

В качестве примера рассмотрим метод оптимизации по одному параметру. Блок-схема алгоритма представлена на рис. 1.

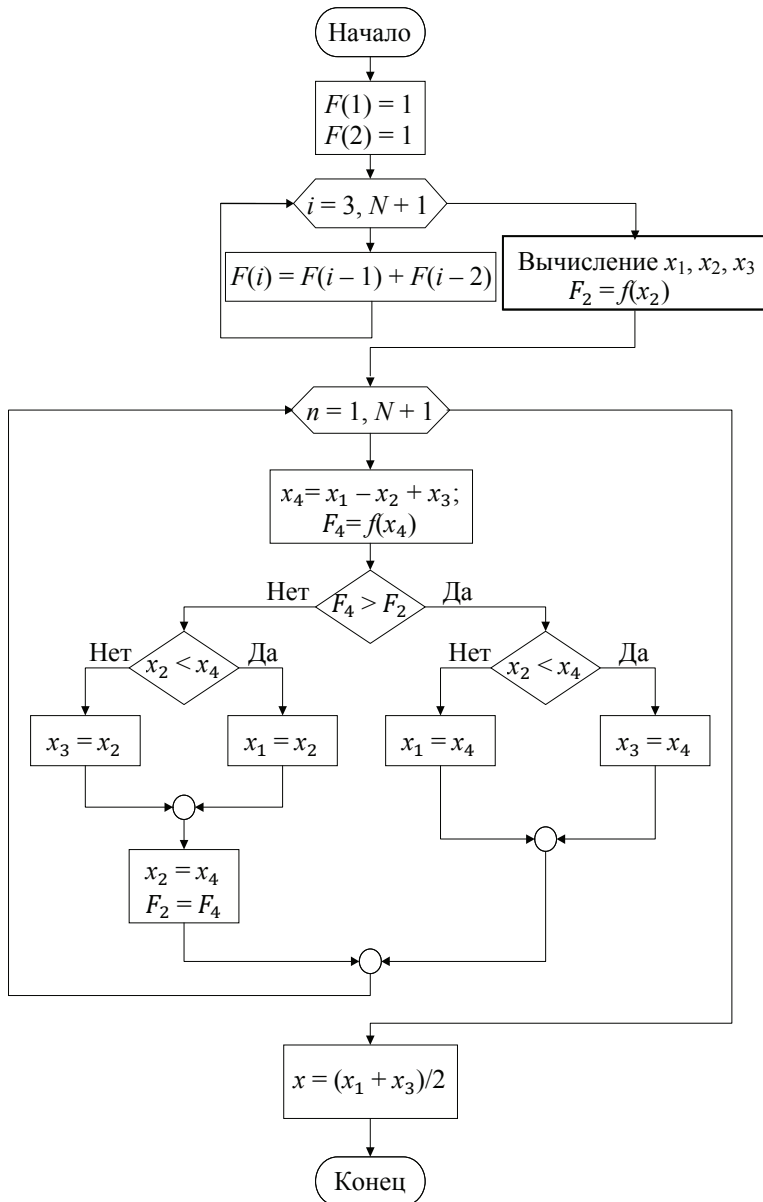


Рис. 1. Блок-схема алгоритма оптимизации

В результате работы программы для модели № 1 при  $N_0 = 150$ ;  $N_1 = 100$ ;  $N_2 = 120$ ;  $K_0 = 0,3$ ;  $W_n = 500$ ;  $W_k = 300$  получено оптимальное значение  $K = 5$ .

### **Управление процессом плавления в дуговой сталеплавильной печи**

Основным и самым сложным процессом в работе дуговой сталеплавильной печи (ДСП) является поддержание устойчивого горения дуги при соблюдении определенного электрического режима (заданных значений силы тока и напряжения) [6, 7]. Качество выплавляемого металла напрямую зависит от вводимой мощности и длины дуги. Практика промышленного использования ДСП показывает, что регулирование электрического режима или выделяемой в дуге мощности возможно двумя путями: изменением напряжения печного трансформатора и изменением длины межэлектродного промежутка – длины дуги. Так как частые коммутации силовых цепей нежелательны, то к оперативному регулированию воздействию относят изменение положения электрода, определяющего длину дуги. При этом изменяющиеся параметры – сила тока, напряжение, активная мощность и сопротивление дуги – могут быть использованы как параметры регулирования. Однако лучшие результаты предоставляет регулятор, использующий дифференциальный параметр, представляющий собой разность тока и напряжения. Такой подход к регуляторам зарекомендовал себя повсеместно и широко используется в различных проектах АСУ печей, как малой вместимости, так и крупных.

Изменение дугового пространства позволяет регулятору поддерживать заданную водимую мощность, однако для каждого этапа плавки значение этого параметра должно быть разным в силу характерных особенностей тепловой работы сталеплавильной печи. Смену ступени трансформатора и установление тока в нужное положение осуществляет сталевар, что может привести к ошибкам управления. Предотвращение ошибок возможно при исключении человека в принятии решения смены электрического режима. Данная задача имеет несколько путей решения, однако самым простым и надежным является программный.

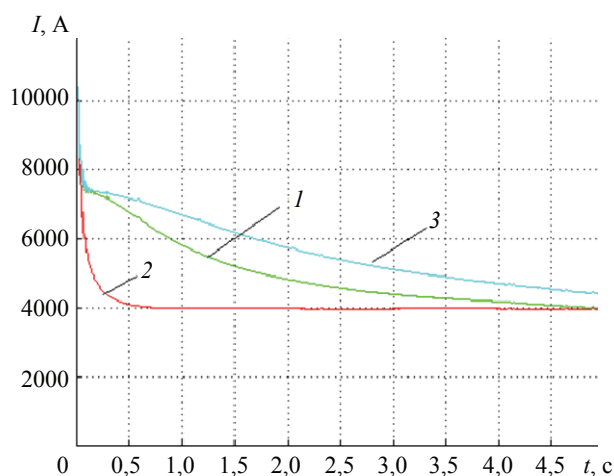
Программным способом можно менять и некоторые характерные особенности плавки, зависящие от электрического режима. Так, в процессе плавления часто происходят короткие замыкания, характерно нестабильное горение дуги и ее обрывы, что приводит к частому возникновению ошибок рассогласования и, как итог, смене положения электрода. В момент окисления горение дуги становится стабильным, ошибки рассогласования уменьшаются. Эти особенности отражаются в зоне нечувствительности регулятора, которая позволяет сократить количество запусков привода электрода при незначительных ошибках рассогласования для каждого из этапов плавки. Традиционные законы регулирования не дают на сегодняшний день заданного качества регулирования на всем процессе выплавки. Система управления должна слабо реагировать на незначительные изменения, но отрабатывать быстрые смены режима (короткие замыкания, обрыв дуги).

Поставленную задачу управления можно решить с помощью одноконтурной САР. Система состоит из объекта регулирования, блока формирования задания, блока формирования ошибки, регулятора, блока формирования задания исполнительному механизму, частотного преобразователя и исполнительного механизма. Одним из наиболее универсальных регуляторов, получивших широкое распространение, является пропорциональный закон регулирования.

Результаты имитационного исследования системы управления представлены на рис. 2.

Выделим три характерных участка. Первый участок отражает момент розжига дуги. По технологии процесса розжига осуществляется в момент касания электродом шихты, сопровождаемого коротким замыканием. Резкое повышение зна-





**Рис. 2. График изменения значений тока дуги  $I$  в одноконтурной САР для начальных стадий расплавления при разных коэффициентах пропорциональности  $k$ :  
 $1 - k = 1$ ;  $2 - k = 10$ ;  $3 - k = 0,5$**

чения тока обеспечивает возникновение столба нестабильной дуги при неблагоприятных условиях окружающей среды и незначительной эмиссионной способности материалов. Второй участок отвечает за переход установки в заданный режим. Как видно из графика кривая 2 имеет меньше время регулирования (менее 0,5 с), однако в начальные моменты розжига резкое изменение длины дуги нежелательно, так как столб дуги не сформировался. Такое влияние системы может привести к обрыву дуги и необходимости повторного розжига. Кривая 3 не отвечает требованиям, предъявляемым к качеству регулирования.

Одним из возможных путей решения выявленной проблемы является применение нового подхода к регулированию с помощью регуляторов, использующих статические характеристики разной формы, например, параболической и линейной на разных стадиях расплавления, что обеспечивает более точное управление процессом. Учет особенностей технологии позволяет использование программного типа управления.

Система включает в себя объект управления, блоки формирования задания, расчета «ошибки», программного управления (выбор типа характеристики, определение задания управления) в зависимости от режима работы печи, системы интеллектуального розжига, формирования задания частотному преобразователю, частотный преобразователь и исполнительные механизмы. Основной задачей блока интеллектуального розжига является создание устойчивого столба дуги, которая заключается в разделении процесса розжига на несколько этапов от момента короткого замыкания до устойчивого горения. При этом формирование сигналов управления происходит на основании переходных процессов, характеризующих состояния дуги в независимости от заданного электрического режима.

Разработанная система управления имеет блочную многоуровневую систему. Условно систему можно разделить на три основных уровня:

- нижний, включающий в себя датчики температуры, датчики положения, концевые выключатели, а также исполнительные механизмы (двигатели, электроклапаны и др.);
- средний, включающий в себя логические контроллеры, программируемые реле, панели оператора, модули ввода и вывода информации;
- верхний, обеспечивающий дистанционный контроль технологических процессов.

Средний уровень включает в себя несколько щитов управления, обеспечивающих как автономную работу блоков АСУ, так и совместную под управлением центрального контроллера. Каждый блок системы отвечает за определенную часть комплекса технологического процесса.

Щит регулятора мощности и центрального пульта управления электропечи – основной пульт, в котором размещены все основные технологические контроллеры, а также органы управления, индикации и визуализации АСУ, сбора и хранения параметров плавки. Пульт включает в себя головной контроллер системы СПК110 ОВЕН, обеспечивающий совместную работу блоков системы, визуализацию, сбор и хранение технологических параметров плавки; контроллеры ПЛК-110 ОВЕН, отвечающий за работу регулятора мощности дуги, и ПР-200, обеспечивающий управление гидравлической и пневматической системами механизмов электропечи.

Щит контроля и управления высоковольтным выключателем и печного трансформатора, осуществляющий контроль расхода активной и реактивной энергии, управление переключением ступеней напряжения печного трансформатора, контроль состояния трансформатора, поддержание микроклимата печного трансформатора и трансформаторного помещения.

Щит контроля теплообмена, обеспечивающий контроль системы охлаждения электропечи с возможностью расширения функционала по управлению внешними теплообменниками. Аппаратно реализован с использованием программируемого логического контроллера ПЛК 73 ОВЕН.

Внешний пульт управления, осуществляющий оперативное управление электропечью с площадки сталевара. В состав щита внесены наиболее часто используемые органы управления.

Блок сбора дополнительной информации о работе системы, необходимой для обеспечения работы сервисных функций печи, таких как повторное включение высоковольтного выключателя, после срабатывания токовой защиты и автоматического перепуска электродов. Представлен счетчиками импульсов СИ30 ОВЕН.

Верхний уровень системы представлен SCADA-системами.

Особое внимание при разработке системы управления уделено отражению текущей информации о технологических параметрах печи в удобной для оператора форме. Разработанное автоматизированное рабочее место оператора представлено основным экраном визуализации, включающим в себя фреймы информации состояния печи, а также экраны системных настроек, позволяющих проводить изменение параметров процесса без вмешательства в программное обеспечение. Фреймы основного экрана предоставляют детальную информацию о параметрах горения дуги, положениях механизмов печи, значениях вводимой и расхода активной мощностей, состоянии теплообмена и др.

## **Заключение**

Предложено исследование объектов с взаимосвязанными величинами как целостной системы, осуществляющей многообразие взаимосвязанных функций, находящейся в определенных взаимоотношениях с окружающей средой и подвергающейся последовательным изменениям под влиянием внешних и внутренних факторов.

Разработаны принципы управления технологическими объектами с взаимосвязанными величинами. Для эффективного управления необходимо построение многоуровневой системы, отражающей особенности соответствующего уровня.

Разработано алгоритмическое и программное обеспечения системы оценки состояний и принятия решений по управлению, с помощью которого в режиме реального времени можно получить информацию о ходе производственного процесса, наличии ресурсов.

Разработанная система управления позволяет повысить эффективность функционирования технологического процесса за счет своевременного принятия управленческих решений.

#### *Список литературы*

1. Джамбеков, А. М. Оптимальное управление процессом каталитического риформинга бензиновых фракций / А. М. Джамбеков, И. А. Щербатов // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2017. – Т. 23, № 4. – С. 557 – 571. doi: 10.17277/vestnik.2017.04.pp.557-571

2. Метод моделирования многосвязной цифровой системы управления процессом синтеза аммиака / В. С. Кудряшов [и др.] // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2017. – Т. 23, № 4. – С. 572 – 580. doi: 10.17277/vestnik.2017.04.pp.572-580

3. Конкина, В. В. Постановка задачи оптимального управления реверсивным режимом нанесения гальванического покрытия в ванне со многими анодами / В. В. Конкина, Д. С. Соловьев, Ю. В. Литовка // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2015. – Т. 21, № 2. – С. 248 – 256. doi: 10.17277/vestnik.2015.02.pp.248-256

4. Чернышов, Н. Г. Синтез энергосберегающего управления / Н. Г. Чернышов, С. И. Дворецкий // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2015. – Т. 21, № 1. – С. 7 – 15. doi: 10.17277/vestnik.2015.01.pp.007-015

5. Попов, Н. С. К методике конструирования экспертной системы оценки промышленной безопасности / Н. С. Попов, Н. В. Лузгачева, М. Т. Чан // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2013. – Т. 19, № 1. – С. 43 – 51.

6. Воробьев, В. П. Автоматизация дуговых электропечей / В. П. Воробьев, А. В. Сивцов, С. Г. Возжеников // Черные металлы. – 1999. – № 5. – С. 12 – 14.

7. Андрианова, А. Я. О свойствах электрических цепей с дугами и вопросы управления ДСП / А. Я. Андрианова, В. М. Эдемский // Электрометаллургия. – 2002. – № 10. – С. 29 – 32.

---

## **Control of Objects with Interrelated Values**

**M. H. M. Saif, V. G. Matveykin, B. S. Dmitrievsky,  
A. V. Bashkatova, A. A. Mamontov**

*Department of Information Processes and Control,  
TSTU, Tambov, Russia; dmiboris@yandex.ru*

**Keywords:** interrelated quantities; control problem; object model; control object; control system; steel furnace; Dryer.

**Abstract:** The paper discusses the theoretical and methodological foundations of controlling objects with interrelated quantities, reveals the specifics of such objects and the main features of the control problem. A set of control problems arise at a multiply connected object and it is necessary to control not only technical, but also economic indicators. On the basis of the analysis and research of the object under study as the

object of modeling and automation, we proposed ways to update control methods to improve the quality of process control. The solution of the problem under study is to use modern methods for constructing an appropriate automated control system. The drying processes and melting processes in an electric arc furnace are considered as examples.

### References

1. Dzhambekov A.M., Shcherbatov I.A. [Optimal control of the catalytic reforming process of gasoline fractions], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2017, vol. 23, no. 4, pp. 557-571, doi: 10.17277/vestnik.2017.04.pp.557-571 (In Russ., abstract in Eng.)
2. Kudryashov V.S., Tikhomirov S.G., Ryazantsev S.V., Ivanov A.V., Kozenko I.A. [Simulation method of a multiply-connected digital system for controlling ammonia synthesis], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2017, vol. 23, no. 4, pp. 572-580, doi: 10.17277/vestnik.2017.04.pp.572-580 (In Russ., abstract in Eng.)
3. Konkina V.V., Solov'yev D.S., Litovka Yu.V. [Statement of the problem of optimal control of the reversible mode of electroplating in a bath with many anodes], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2015, vol. 21, no. 2, pp. 248-256, doi: 10.17277/vestnik.2015.02.pp.248-256 (In Russ., abstract in Eng.)
4. Chernyshov N.G., Dvoretzkiy S.I. [Synthesis of energy-saving control], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2015, vol. 21, no. 1, pp. 7-15, doi: 10.17277/vestnik.2015.01.pp.007-015 (In Russ., abstract in Eng.)
5. Popov N.S., Luzgacheva N.V., Chan M.T. [To the method of constructing an expert system for assessing industrial safety], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2013, vol. 19, no. 1, pp. 43-51. (In Russ., abstract in Eng.)
6. Vorob'yev V.P., Sivtsov A.V., Vozhenikov S.G. [Automation of electric arc furnaces], *Chernyye metally* [Ferrous metals], 1999, no. 5, pp. 12-14. (In Russ.)
7. Andrianova A.Ya., Edemskiy V.M. [On the properties of electric circuits with arcs and the problems of chipboard control], *Elektrometallurgiya* [Electrometallurgy], 2002, no. 10, pp. 29-32. (In Russ.)

---

## Verwalten von Objekten mit zusammenhängenden Werten

**Zusammenfassung:** In der Arbeit werden die theoretischen und methodischen Grundlagen der Verwaltung von Objekten mit zusammenhängenden Größen diskutiert, die Besonderheiten solcher Objekte und die Hauptmerkmale der Verwaltungsaufgabe werden aufgedeckt. An einem mehrfach zusammenhängenden Objekt ergibt sich eine Vielzahl von Verwaltungsaufgaben, und es gilt, nicht nur technische, sondern auch wirtschaftliche Kennzahlen zu verwalten. Auf der Grundlage der durchgeführten Analyse und Erforschung dieses Objekts als Objektes der Modellierung und Automatisierung wurden Möglichkeiten zur Verbesserung der Managementmethoden vorgeschlagen, mit denen die Qualität der Prozesssteuerung verbessert werden kann. Die Lösung der gestellten Aufgaben ist die Verwendung moderner Methoden zum Aufbau eines geeigneten automatisierten Steuerungssystems. Als Beispiele sind die Trocknungsprozesse und Schmelzprozesse in einem Lichtbogenstahlschmelzofen betrachtet.

## Gestion des objets avec des valeurs interconnectées

**Résumé:** Sont examinées les bases théoriques et méthodologiques de la gestion des objets avec des valeurs interconnectées, est montrée la spécificité de ces objets et les principales caractéristiques de la tâche de la gestion. Il existe de nombreuses tâches de gestion sur un site à plusieurs liens, et il est nécessaire de gérer non seulement les performances techniques, mais aussi celles économiques. A la base de l'analyse et de l'étude de l'objet donnésont proposés des moyens d'améliorationdes méthodes de la gestion pour augmenter la qualité de la gestion des processus. La solution consiste à utiliser des méthodes modernes pour construire un système de contrôle automatisé approprié. À titre d'exemple, sont considérésles processus du séchage et ceux de fusion dans le four à fusion à l'arc.

---

**Авторы:** *Саиф Марван Номан Мохаммед* – аспирант кафедры «Информационные процессы и управление»; *Матвейкин Валерий Григорьевич* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационные процессы и управление»; *Дмитриевский Борис Сергеевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Информационные процессы и управление»; *Башкатова Александра Владимировна* – аспирант кафедры «Информационные процессы и управление»; *Мамонтов Андрей Александрович* – магистрант, ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.

**Рецензент:** *Литовка Юрий Владимирович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Системы автоматизированной поддержки принятия решений», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.