

# ПРИНЦИПЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ СВАРОЧНЫМИ ПРОЦЕССАМИ

**И. А. ТАРАРЫЧКИН**

*Рассмотрены принципы построения систем регулирования технологических процессов, определены области их рационального применения. Даны сравнительные оценки различных систем регулирования.*

*The paper considers the principles of construction of systems for process parameters adjustment and outlines the areas of their rational application. Comparative estimates are given of different systems of adjustment.*

Обеспечение качества продукции при функционировании современных сварочных комплексов связано с использованием, как правило, нескольких систем автоматического регулирования (САР), позволяющих поддерживать на заданном уровне значения важнейших технологических характеристик (параметров) процесса. Дополнительные возможности по обеспечению гарантий качества продукции могут быть реализованы при использовании систем статистического регулирования (ССР) [1, 2]. Наиболее эффективным образом обеспечить сочетание указанных систем можно на основе учета особенностей их применения в задачах управления процессами.

Так, применение САР считается наиболее целесообразным при управлении быстротекущими процессами без непосредственного участия человека. В случае долговременных процессов, характеризующихся постепенным накоплением изменений в состоянии контролируемой системы, быстрдействие САР оказывается невостребованным, а их использование — неэффективным. В реальных условиях сварочного производства долговременные технологические процессы могут быть связаны, например, с электрошлаковой, дуговой сваркой в узкий зазор, термообработкой крупногабаритных конструкций.

В общем случае совместное функционирование САР и ССР следует организовать таким образом, чтобы выполнить условия для взаимного дополнения возможностей каждой из систем, обеспечивая

тем самым требуемый уровень гарантий качества продукции. В табл. 1 приведены сравнительные данные, определяющие область рационального применения различных систем регулирования, что необходимо учитывать при решении конкретных задач, связанных с управлением процессами.

Традиционная схема управления процессом производства с использованием методов статистического регулирования основана на формировании обратной связи в виде некоторой последовательности непрерывно или периодически осуществляемых корректирующих действий. Наличие построенной подобным образом обратной связи позволяет рассматривать процесс производства, организованный по указанной схеме как управляемый по отклонению (рис. 1).

Представленная схема функционирования обратной связи обусловлена необходимостью периодического отбора выборок и статистической обработкой результатов выполнения контрольных операций. Это означает, что традиционный метод статистического регулирования, основанный на использовании контрольных карт (карт Шухарта), в наибольшей степени соответствует условиям крупносерийного и массового производства [1].

В условиях единичного (мелкосерийного) производства необходимо контролировать текущее состояние процесса с применением карт контроля, методика построения которых изложена в [3]. Такая схема управления процессом с формированием обратной связи по возмущению показана на рис. 2.

**Таблица 1. Особенности построения и функционирования различных систем регулирования**

Наименование	САР	ССР
Объект, функционирование которого связано с необходимостью регулирования	Основное и вспомогательное технологическое оборудование	Производственные процессы и отдельные технологические операции
Характеристики, используемые при решении задач регулирования	Непосредственно определяемые (измеряемые) физические параметры и характеристики используемого оборудования и процессов	Статистики, вычисляемые по результатам анализа контрольных выборок
Характерные особенности контролируемых процессов	Быстротекущие, малоинерционные с возможными скачками контролируемых параметров	Продолжительные во времени, вялотекущие с постепенным изменением значений контролируемых характеристик
Характер контроля, осуществляемого за состоянием системы	Преимущественно непрерывный	Преимущественно дискретный, выполняемый в заранее установленные промежутки времени
Возможность участия человека (оператора)	Без непосредственного участия	Допускается участие в процедуре сбора и анализа данных. Предполагается участие в принятии решений

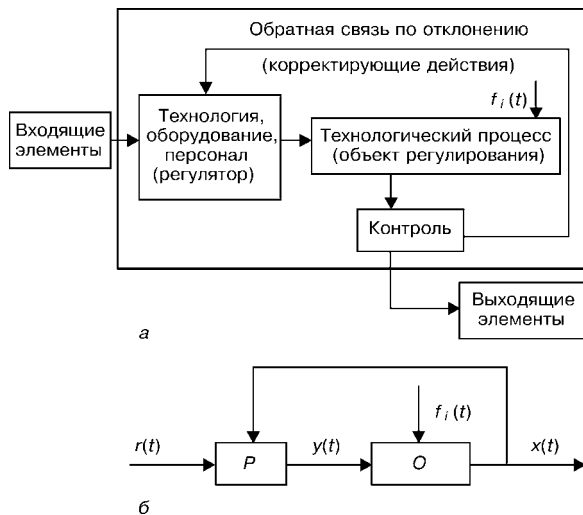


Рис. 1. Схема статистического регулирования производственного процесса (а) и эквивалентная схема управления по отклонению (б):  $f_i(t)$  – возмущающее воздействие; P – регулятор; O – объект регулирования

Рассматривая возможности схемы управления производственным процессом по возмущению (рис. 2), следует отметить ее отличия от традиционной схемы, с управлением по отклонению (рис. 1). Главной отличительной особенностью последней является более высокий уровень сложности и предположительно более высокий уровень эксплуатационных затрат. Преимущества предлагаемой схемы заключаются в том, что при ее реализации обратная связь осуществляется в виде предупреждающих действий, что обеспечивает приоритетность предупреждающих действий по отношению к корректирующим. Сравнительные данные в отношении областей рационального применения различ-

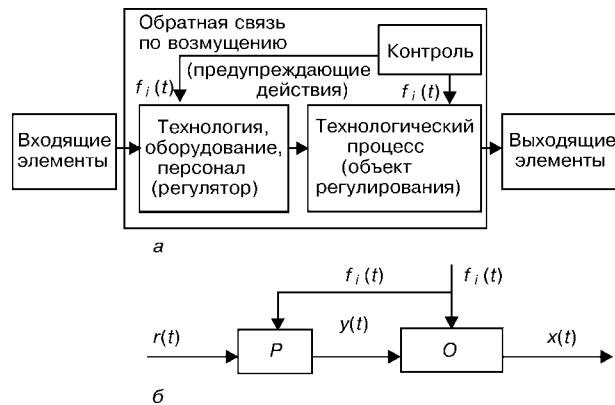


Рис. 2. Схема статистического регулирования производственного процесса (а) и эквивалентная схема управления по возмущению (б) (обозначения те же, что и на рис. 1)

ных схем статистического регулирования технологических процессов представлены в табл. 2.

Предложенный подход позволяет также сформулировать схему управления процессом комбинированного типа, характеризующуюся наличием системы обратных связей, устанавливаемых как по отклонению, так и по возмущению (рис. 3). Функционирование такой схемы связано с необходимостью сочетания в процессе производства как корректирующих, так и предупреждающих действий.

Для анализа возможности использования комбинированной ССР рассмотрим в качестве примера случай дуговой сварки в узкий зазор по схеме один слой за проход продольного шва толстостенной цилиндрической обечайки. В этом случае задача обеспечения качества формирования многопроходного шва может быть решена на базе следующего подхода. Контроль и документирование параметров режима многомерного процесса сварки целесо-

Таблица 2. Методологические подходы к решению задач статистического регулирования

Наименование	Подходы, основанные на использовании метода контрольных карт	Подходы, основанные на контроле состояния процесса с использованием карт контроля
Рациональная область применения методов статистического регулирования	Крупносерийное и массовое производство штучной и нештучной продукции. Время производства единицы продукции невелико. Затраты на производство единицы продукции невелики. Контроль качества отдельных единиц продукции технических сложностей не вызывает. Исправление обнаруженных дефектов сложностей не вызывает	Единичное и мелкосерийное производство. Время производства единицы продукции значительно. Затраты на производство единицы продукции значительны. Контроль качества готовой продукции технически сложен и трудоемок. Исправление дефектов является сложной технической задачей и связано с дополнительными финансовыми затратами
Методологические особенности реализуемого подхода	Состояние процесса оценивается по результатам контроля характеристик продукции. Считается, что выборка из совокупности единиц продукции, прошедших анализируемый процесс, содержит информацию о его состоянии. Эта информация может быть выявлена, проанализирована и использована при решении задач регулирования	Состояние процесса оценивается непосредственно, в реальном масштабе времени. Считается, что требуемый уровень качества продукции может быть обеспечен только соответствующей технологией. Наблюдаемые отклонения характеристик качества продукции обусловлены случайными и систематическими отклонениями параметров процесса, а возникающие несоответствия обусловлены нарушениями нормальных условий его протекания
Мероприятия, осуществляемые на этапе подготовки производства	Предварительная оценка точности и стабильности процесса	Предварительная оценка точности и стабильности процесса Прогнозная оценка состояния процесса Оценка взаимного соответствия квалификации процесса и используемого оборудования
Мероприятия, осуществляемые в процессе производства	Действия преимущественно <i>корректирующего</i> характера	Действия преимущественно <i>предупреждающего</i> характера

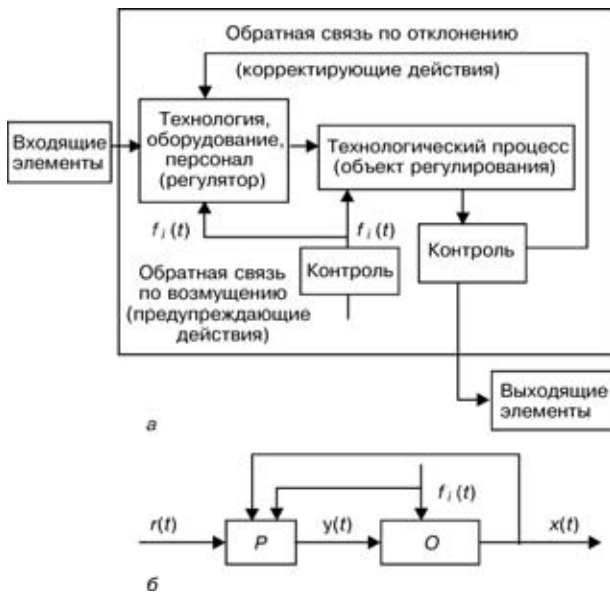


Рис. 3. Схема статистического регулирования производственного процесса (а) и эквивалентная схема комбинированного управления по отклонению и возмущению (б) (обозначения те же, что и на рис. 1)

образно осуществлять с использованием карт контроля состояния [3]. Контроль качества и документирование процесса формирования шва следует выполнять с использованием метода контрольных карт по результатам анализа макрошрифтов зоны проплавления, изготавливаемых после сварки каждого слоя, в соответствии с методикой [4].

Анализируя структуру комбинированной схемы управления процессом, следует отметить ее более высокий уровень сложности, что, по-видимому, будет связано и с ростом эксплуатационных затрат.

Однако в последнем случае уровень контроля над состоянием процесса особенно высок, а достижение гарантий обеспечения качества продукции здесь может быть наивысшим.

Более высокий уровень эксплуатационных затрат при статистическом регулировании процессов в соответствии со схемой третьего типа (рис. 3) может быть экономически оправдан для соответствующей области рационального применения, когда продукция дорогостоящая, а выполнение мероприятий, связанных с исправлением дефектов, представляет собой сложную техническую задачу.

При решении задач обеспечения качества продукции с использованием ССР обозначенные подходы позволяют организовать процесс производства в виде функционирующей системы гибких обратных связей, устанавливаемых в зависимости от типа производства, особенностей технологии и конструкции изделия, а также исходя из сформулированных требований к качеству и с учетом факторов экономического характера. Особенности реализации различных вариантов статистического регулирования сварочных процессов при решении задач обеспечения качества продукции приведены в табл. 3.

Представленные рекомендации в отношении применимости тех или иных методов могут быть использованы при разработке рациональных схем и построении систем статистического регулирования в условиях реального производства. Следует также иметь в виду, что в различных ситуациях характер требований, предъявляемых к контролю состояния, управлению и документированию хода процесса, может существенно варьироваться в зависимости от назначения конструкции, масштабов

Таблица 3. Сравнительные характеристики различных вариантов статистического регулирования технологического процесса

Наименование	Схема управления процессом		
	С регулированием по отклонению	С регулированием по возмущению	Комбинированная, с регулированием по отклонению и возмущению
Задача, решаемая в процессе статистического регулирования	Поддержание налаженного состояния процесса, при котором наблюдаемые отклонения контролируемых характеристик качества продукции $X_1^*, X_2^*, \dots, X_k^*$ носят случайный характер, а действие систематических причин, приводящих к их изменению, не наблюдается	Поддержание такого состояния, при котором контролируемые характеристики процесса $X_1, X_2, \dots, X_r$ находятся на уровне, обеспечивающем выполнение сформулированных требований к точности	Поддержание процесса в налаженном состоянии при соблюдении всех требований к точности
Контролируемые параметры	Характеристики качества продукции	Характеристики точности процесса	Характеристики качества продукции и точности процесса
Статистики, вычисляемые по результатам анализа выборки	Среднее арифметическое значение $\bar{x}_i$ , среднеквадратическое отклонение $S_i$ , размах $R_i$ ( $i = 1, 2, \dots, k$ )	Комплексный критерий точности $g_{Sj}$ ; критерий относительной точности $g_{Ej}$ ( $j = 1, 2, \dots, r$ )	Критерии $\bar{x}_i, S_i, R_i, g_{Sj}, g_{Ej}$ ( $i = 1, 2, \dots, k, j = 1, 2, \dots, r$ )
Способ документирования	С использованием контрольных карт	С использованием карт контроля	С использованием контрольных карт и карт контроля
Решение, принимаемое по результатам контроля	Процесс налаженный или разлаженный	Точность процесса обеспечивается или не обеспечивается	Процесс налаженный или разлаженный, точность обеспечивается или нет
Характер действий, осуществляемых в процессе регулирования	Корректирующие по содержанию, в форме корректировки параметров режима или подналадки оборудования, направленные на возврат процесса в налаженное состояние	Предупреждающие по содержанию, в форме корректировки характеристик, влияющих на точность, или подналадки оборудования, направленные на восстановление нарушенной точности	Корректирующие и предупреждающие в любой форме, направленные как на восстановление точности, так и на возврат процесса в налаженное состояние



**Таблица 4. Характеристика различных уровней контроля за состоянием процесса**

Параметр, контролируемый в ходе управления процессом	Уровень контроля				
	1	2	3	4	5
Отклонение электрода от оси зазора	АД1	А	А	А	А
Вылет электрода	А	А	А	А	А
Скорость сварки	АД1	А	А	А	А
Сварочный ток	А	А	А	А	А
Напряжение на дуге	АД1	АД1	АД1	А	А
Текущая ширина зазора	СД2	СД2	СД2	СД2	С
Проплавление боковой стенки зазора	СД2	СД2	—	—	—
Температура подогрева:					
предварительного	СД2	С	—	—	—
сопутствующего	СД2	СД2	С	—	—
Температура отдыха	СД2	С	С	—	—

**Примечание.** Контролируемый параметр поддерживается на заданном уровне: А — с использованием соответствующего оборудования, оснащенного САР; АД1 — с использованием САР (документирование выполняется с применением регистрирующих приборов или карт контроля состояния); С — контролируемый параметр поддерживается на заданном уровне с применением ССР; СД2 — с использованием ССР (документирование выполняется с применением контрольных карт или карт контроля состояния).

производства, специфики выполняемых работ, установленных требований к качеству и т. п. Так, уровень требований в отношении контроля и управления состоянием процесса производства ответственных крупногабаритных сварных конструкций, предназначенных для работы в сложных условиях, может быть предельно высоким. В то же время при исправлении технологических дефектов требования к контролю за состоянием процесса могут быть ослаблены, поскольку ремонтные работы и используемые при этом технологии оказываются менее сложными. Уровень контроля за состоянием процесса может быть заметно ослаблен и в случае исправления эксплуатационных повреждений, когда целью ремонта является продление сроков эксплуатации конструкции, частично отработавшей свой ресурс [5].

В табл. 4 представлены рекомендации в отношении пяти уровней контроля за состоянием процесса сварки продольного шва толстостенной цилиндрической обечайки, отличающихся степенью сложности, количеством контролируемых параметров и достигаемым уровнем гарантий качества.

Результаты проведенного анализа позволяют сделать вывод о том, что адаптационные возможности существующих методов управления процес-

сами весьма широки, а имеющийся инструментарий при условии его рационального применения позволяет эффективно решать задачи обеспечения качества продукции. В целом выбор уровня контроля за состоянием процесса и соответствующего сочетания систем регулирования следует осуществлять в каждом конкретном случае отдельно с учетом всего комплекса требований по обеспечению качества, имеющегося технологического оборудования, масштабов производства, экономического и других факторов.

Отметим, что представленные классификационные схемы (рис. 1–3) и рассмотренные принципы организации соответствующего функционирования технологических систем можно рассматривать как инструмент технической диагностики. При этом диагностирование и распознавание состояния систем выполняется с применением статистических методов и соответствующих алгоритмов обработки данных.

Используемые для решения диагностических задач статистики  $x_i, S_i, R_i, gS_j, gE_j$  (табл. 3) являются весьма информативными, поскольку характеризуются меньшей изменчивостью по сравнению с теми выборочными характеристиками, которые используются для их определения. Вследствие статистической устойчивости эти критерии могут быть успешно использованы не только при решении задач распознавания текущего состояния, но и при прогнозировании надежности технологических систем.

1. *Статистические методы контроля качества продукции* / Л. Ноулер, Дж. Хауэлл, Б. Голд и др. — М.: Изд-во стандартов, 1984. — 104 с.
2. *Контроль качества сварки* / Под ред. В. Н. Волченко. — М.: Машиностроение, 1975. — 328 с.
3. *Тарарычкин И. А.* Статистическое регулирование сварочных технологических процессов с использованием метода построения карт контроля состояния // Автомат. сварка. — 2001. — № 10. — С. 33–36.
4. *Пат. 45863 України, МПК В23 К 9/00, 28/00.* Спосіб контролю якості формування багатопрохідного шва і пристрій для його здійснення / І. О. Тараричкін, Д. А. Оселедько. — Опубл. 15.04.02, Бюл. № 4.
5. *Тарарычкин И. А., Ткаченко А. Н.* Исправление дефектов в металле большой толщины с использованием технологии дуговой сварки в узкий зазор // Автомат. сварка. — 2002. — № 4. — С. 52–53.

Восточно-укр. нац. ун-т,  
Луганск

Поступила в редакцию  
11.04.2002