

## **Подсекция «АВТОМАТИЧЕСКИЕ, АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ»**

УДК 519.62

Е.В. Дубиковская, магистрант;  
Д.А. Гринюк, доц., канд. техн. наук;  
И.Г. Сухорукова, ст. преп.;  
Д.О. Арпентий, студент (БГТУ, г. Минск)

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМ РАЗОМКНУТЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ**

В самом простейшем случае существуют два подхода к системам управления: управление с обратной связью и управление с прямой связью или по-другому – замкнутые и разомкнутые. Первые системы широко используются в промышленности благодаря универсальности, точности и простоты реализации. Сама идея разомкнутого управления появилась относительно давно. Первое успешное применение 1925 года. Однако она не применялась широко в промышленных процессах до 1960-х годов. Это обусловлено началом применения микропроцессорной техники, и в первую очередь ПЛК.

В первую очередь необходимость в применении таких систем является наличие существенных динамических возмущений и инерционность объекта управления.

Есть варианты, когда разомкнутые системы применяются непосредственно, но более рационально их использование вместе с системами с обратной связью. Во многих примерах показана эффективность их применения исследовательских работах и книгах показаны значительные улучшения в производительности управления системой после применения управления с прямой связью [1-3].

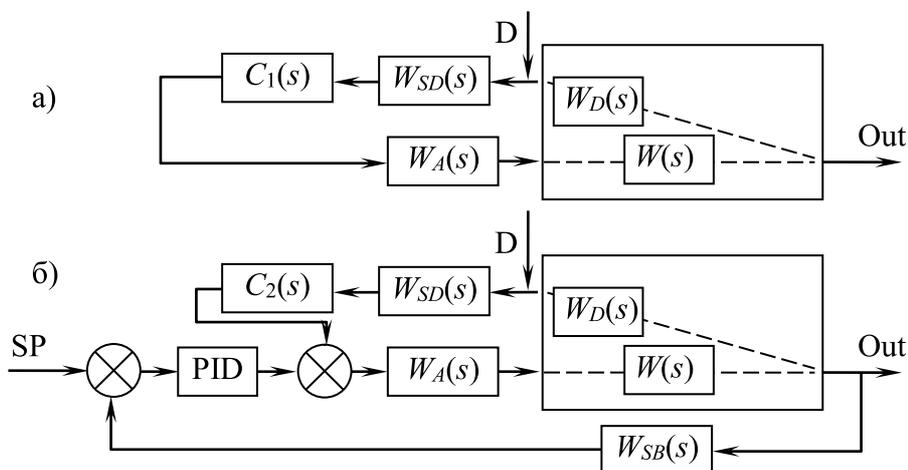
В зависимости от целей управления существуют два подхода для использования регуляторов разомкнутой системы (РРС): подавление помех и системы слежения. В последнем случае в качестве возмущения выступает постоянное изменение сигнала задания. Первый подход более всего характерен для химической технологии, так как многие объекты (реакторы, ректификационные технологии, сушилки и т.д.) подвержены существенным возмущениям. Без регулятора разомкнутой связи с подавлением помех в контуре управления система будет пытаться устранить ее влияние, когда она обнаружится на выходе. Чаще всего в химической технологии применяется сочетание систем замкнутого и разомкнутого управления (рис. 1, б)

Другой подход разомкнутого регулятора, нацеленный на улучшение характеристик отслеживания опорных сигналов, также широко

использовался в различных областях. Он помогает системам достигать идеальной характеристики слежения без изменения исходной замкнутой структуры.

РРС также широко применяются в технологических процессах, когда необходимо поддерживать соотношение между двумя технологическими потоками.

В литературе можно встретить различные критерии для принятия решения построения разомкнутой системы. На самом деле, в отличие от систем с ПИД-регулятором, которые имеют небольшие ограничения по эффективному использованию, регуляторы системы разомкнутого управления имеют больше ограничений. Наиболее часто выделяю следующие аспекты: динамика контура возмущения имеет большую инерционность, чем основной канал обратной связи; динамика контура возмущения имеет постоянно изменяющиеся коэффициенты передаточной функции; при синтезе, получается передаточная функция регулятора, которая не поддается реализации на микропроцессорной технике; наличие шумов в канале контроля возмущения при применении разомкнутого регулятора может привести к существенному снижению надежности исполнительного механизма; экономические затраты на реализацию (затраты на покупку датчика, монтаж, настройка регулятора и т.д.) несопоставимы с получаемой выгодой.



$C(s)$  – передаточная функция РРС;  $W_{SD}(s)$  – датчик контроля возмущения;  $D$  – сигнал возмущения;  $W_D(s)$  – передаточная функция по каналу возмущения;  $W(s)$  – передаточная функция основного канала;  $SP$  – сигнал задания;  $PID$  – передаточная функция регулятора обратной связи;  $W_A(s)$  – передаточная функция исполнительного механизма;  $W_{SB}(s)$  – передаточная функция датчика основного параметра;  $Out$  – основной выходной параметр

**Рисунок 1 – Структурные схемы разомкнутого управления**

Синтез идеального РРС для системы подавления возмущения не сложен, хотя существуют разные подходы. Основные проблемы возникают с цифровой реализуемостью. Обычно так получается вследствие

того, что запаздывание по каналу возмущения больше, чем по управлению или расчетный порядок полинома числителя передаточной функции больше чем знаменателя.

Эффективный РРС слежения всегда проектируется на основе обратной модели передаточной функции замкнутой системы с обеспечением минимизации фазового отклонения. Синтез таких регуляторов рекомендуется производить в дискретной области. Другим вариантом синтеза является использование линейного квадратичного оптимального управления. В отличие синтеза по фазовой ошибке, здесь производится минимизация квадратичного отклонения. Обычно такой подход используют для систем управления движением. Последний вариант имеет более плавную траекторию выходного параметра.

Кроме классических подходов теории управления развиваются системы использования РРС с применением нечетких, нейронных и гибридных систем [3-4]. Классические алгоритмы имеют некоторые ограничения. Например, трудно иметь дело с нелинейностями системы, неопределенностями модели установки и задержкой по времени. Поэтому, за исключением традиционных алгоритмов управления с прямой связью, существуют некоторые усовершенствованные схемы управления, которые сочетают концепцию прямой связи с некоторыми методами интеллектуального управления. Однако в большинстве источников трудно найти практическое подтверждение интеллектуальных алгоритмов с РРС. Обычно они ограничиваются имитационным моделированием. Следовательно, проблема реализации и экономические преимущества этих новых схем управления все еще должны быть апробированы на реальных объектах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматическое управление в химической промышленности. Под ред. Е.Г. Дудникова – М.: Химия, 1987. – 368 с.
2. Эффективное подавление помех в системах регулирования / Д. А. Гринюк [и др.] // Нефтехимия – 2021 : материалы IV Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке, Минск, 22–24 ноября 2021 г. – Минск : БГТУ, 2021. – С. 270-274
3. Industrial feedforward control technology: a review / Lu Liu [et al] // Journal of Intelligent Manufacturing, Springer, 2019vol. 30(8), pages 2819-2833,.
4. Chen, S. S. (1992). Intelligent control of semiconductor manufacturing processes. In Proceedings of IEEE international conference on fuzzy systems. IEEE, pp. 101–108.