

## УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

УДК 62-533.6

С.В. Иносов, О.В. Бондарчук

*Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев*

### ВЛИЯНИЕ ПЕРЕКРЕСТНЫХ СВЯЗЕЙ В ОБЪЕКТЕ НА ДИНАМИКУ ДВУХКОНТУРНОГО АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

*Методами компьютерного моделирования динамики исследуется влияние перекрестных связей в объекте на устойчивость и качество регулирования.*

**Ключевые слова:** автоматическое регулирование, динамика, перекрестные связи, связанное регулирование

#### Постановка проблемы

В технологическом объекте могут автоматически регулироваться несколько технологических параметров отдельными регуляторами (рис. 1). При этом образуются несколько контуров регулирования по отклонению от задания (с отрицательной обратной связью). По установившейся практике расчет динамики регулирования и параметров настройки регуляторов выполняется в предположении, что контуры регулирования независимы. Однако, встречаются случаи, когда в объекте регулирования действуют сильные перекрестные связи (рис. 4). Можно предположить, что учет перекрестных связей повлияет на расчетный запас устойчивости и качество регулирования и потребует корректировки параметров настройки регуляторов. Однако проведенное моделирование динамики регулирования показало, что это предположение не оправдывается. Но было обнаружено другое явление, которое трудно ожидать априорно. Оказывается, наличие сильных перекрестных связей в объекте приводит к тому, что синфазные и противофазные изменения заданий отрабатываются с разным быстродействием. В данной статье описывается обнаруженное явление.

#### Анализ последних исследований и публикаций

В теории автоматического регулирования рассматриваются вопросы динамики многоконтурного регулирования, однако

**ВПЛИВ ПЕРЕХРЕСНИХ  
ЗВ'ЯЗКІВ У ОБ'ЄКТІ НА  
ДИНАМІКУ  
ДВОКОНТУРНОГО  
АВТОМАТИЧНОГО  
РЕГУЛЮВАННЯ**

*Методами комп'ютерного моделювання динаміки досліджується вплив перехресних зв'язків у об'єкті на стійкість і якість регулювання.*

**IMPACT CROSS COUPLING IN  
THE OBJECT ON THE  
DYNAMICS OF DOUBLE-  
CIRCUIT AUTOMATIC**

*By computer simulation of the dynamics we study the effect of cross-linking in the object on the stability and control quality.*

практические рекомендации по настройке регуляторов при наличии перекрестных связей в объекте отсутствуют [1-3].

#### Цель исследования

Предметом исследования являются два связанных контура регулирования двух технологических параметров, например, зональных температур (рис. 1, 2). Данная система относится к классу систем программного автоматического регулирования, так как основными внешними возмущениями являются изменения заданий по заданному графику в течение суток. Именно быстрые изменения заданий создают существенные переходные процессы в системе. Целью является исследование влияния перекрестных взаимодействий контуров регулирования через объект на устойчивость и качество переходных процессов. Метод исследования – компьютерное моделирование динамики переходных процессов.

#### Изложение основного материала

Если в технологическом объекте регулируются несколько технологических параметров (рис. 1), то контуры регулирования могут взаимодействовать между собой через перекрестные связи в объекте (рис. 4). Последние могут быть положительными (совпадающими по знаку с прямыми связями) или отрицательными.

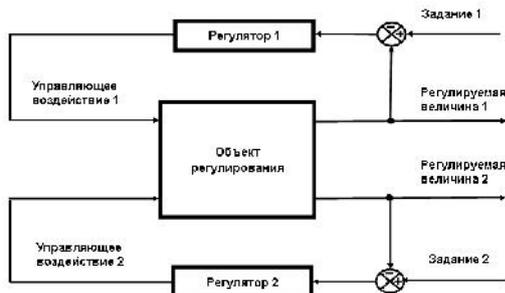


Рис. 1. Структурная схема взаимодействия контуров регулирования через технологический объект

В качестве примера на рис. 2 приведена функциональная схема двухконтурного зонального регулирования температуры в здании. В каждой зоне имеется локальный контур регулирования температуры. Контуров взаимодействуют через теплообмен между зонами. В данном примере перекрестные связи в объекте положительны (совпадают по знаку с основными связями). Увеличение нагрева в одной зоне вызывает увеличение температуры в этой же зоне. В качестве побочного эффекта также увеличивается температура в соседней зоне.

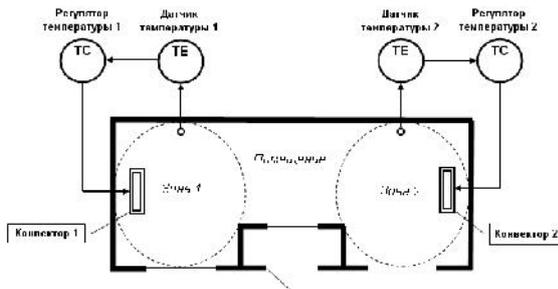


Рис. 2. Двухконтурное зональное регулирование температуры в здании

В качестве примера отрицательных перекрестных связей в объекте на рис. 3 приведена функциональная схема автоматизации процесса воздухоподготовки. Система предназначена для автоматического поддержания заданных значений влажности и температуры выходящего воздуха с использованием программного регулятора МТР-44.

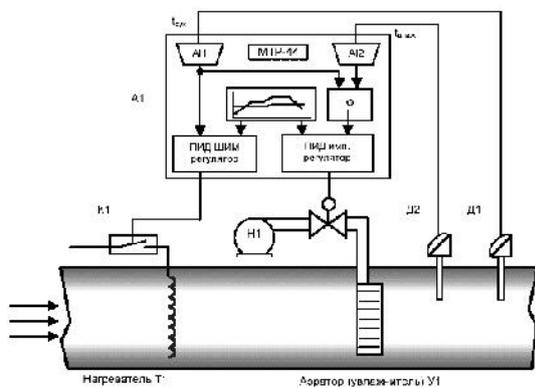


Рис. 3. Двухконтурное регулирование температуры и влажности приточного воздуха

Обозначения на схеме: Д1 - датчик температуры «сухой»; Д2 - датчик температуры «влажный»; А1 - терморегулятор МТР-44; К1 - контактор управления нагревателем; Т1 – электронагреватель; Н1 – насос подачи воды на увлажнитель; У1 – увлажнитель (аэрактор); АП1, АП2 – блоки предварительной обработки сигналов от датчиков;  $t_{\text{сух}}$  – сигнал от сухого датчика температуры;  $t_{\text{влаж}}$  – сигнал от влажного датчика температуры;  $\varphi$  – блок вычисления влажности воздуха.

Прямоугольник с графиками – это алгоритм программного изменения заданных температуры и влажности в течение суток. Тремя стрелками слева показан забор внешнего воздуха. Подготовленный воздух выходит справа. Используются типовые пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД) алгоритмы регулирования в обоих контурах. Нагреватель работает в режиме “включено-выключено”, поэтому средняя мощность нагрева управляется с помощью широтно-импульсного-модулятора (ШИМ). Аэрактор управляется в непрерывном режиме через регулирующий клапан.

Усиление нагрева вызывает повышение температуры, но снижение влажности. Усиление аэрации вызывает повышение влажности, но снижение температуры. То есть перекрестные связи в объекте регулирования отличаются по знаку от прямых связей.

Традиционно динамические свойства объекта регулирования задаются его передаточной функцией [1-3]. Особенностью исследуемых объектов является наличие сильных перекрестных связей между каналами регулирования. В связи с этим, динамические свойства объекта регулирования следует описывать матрицей передаточных функций:

$$W(p) = \begin{pmatrix} W_{11}(p) & W_{12}(p) \\ W_{21}(p) & W_{22}(p) \end{pmatrix}$$

Внутренняя структура прямых и перекрестных связей в объекте регулирования приведена на рис. 4.

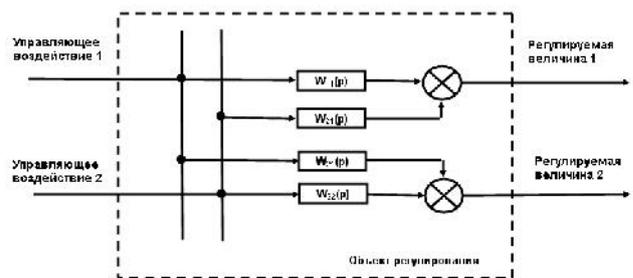


Рис. 4. Внутренняя структура прямых и перекрестных связей в объекте регулирования

Входами являются управляющие воздействия, например, мощности нагрева. Выходами являются регулируемые величины, например, зональные температуры. Прямые связи соответствуют диагональным элементам матрицы  $[W_{11}(p), W_{22}(p)]$ , остальные элементы  $[W_{12}(p), W_{21}(p)]$  соответствуют перекрестным связям. Типовая передаточная функция связи  $W_{ij}(p)$  в объекте объекта имеет вид:

$$W_{ij}(p) = \frac{K_{ij}e^{-pT_3}}{(T_1 + 1)(T_2p + 1)}$$

Принятые численные значения параметров:  $T_1 = 1$  – основная постоянная времени (принята за единицу за счет масштабирования);  $T_2 = 0.3$  (вторая постоянная времени);  $K_{11} = K_{22} = 1$  – статические коэффициенты передачи прямых связей (приняты за единицу за счет масштабирования);  $K_{12} = K_{21} = \pm 0.5$  (статические коэффициенты передачи перекрестных

связей, исследуются положительный и отрицательный варианты),  $T_3 = 0.04$  – время запаздывания.

В качестве алгоритма регулирования принят типовой ПИ-регулятор с передаточной функцией:

$$W_{pi}(p) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_i} p\right)$$

Параметры настройки регулятора:  $K_p = 0.6$  – коэффициент пропорциональности;  $T_i = 1.0$  – постоянная времени интегрирования. Численные значения выбраны из условия максимального быстродействия для данного объекта.

Исследование динамики регулирования проводилось путем моделирования в реальном времени в среде программного средства VisSim. Результаты приведены на рис. 5, 6.

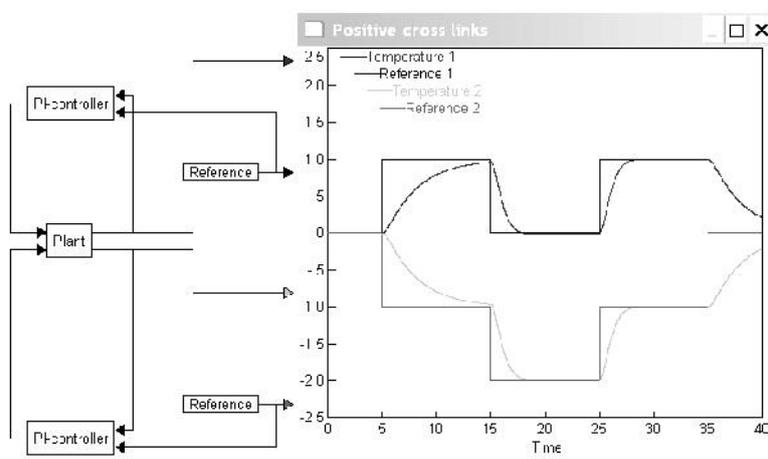


Рис. 5. Динамика отработки скачков задания при положительных перекрестных связях в объекте

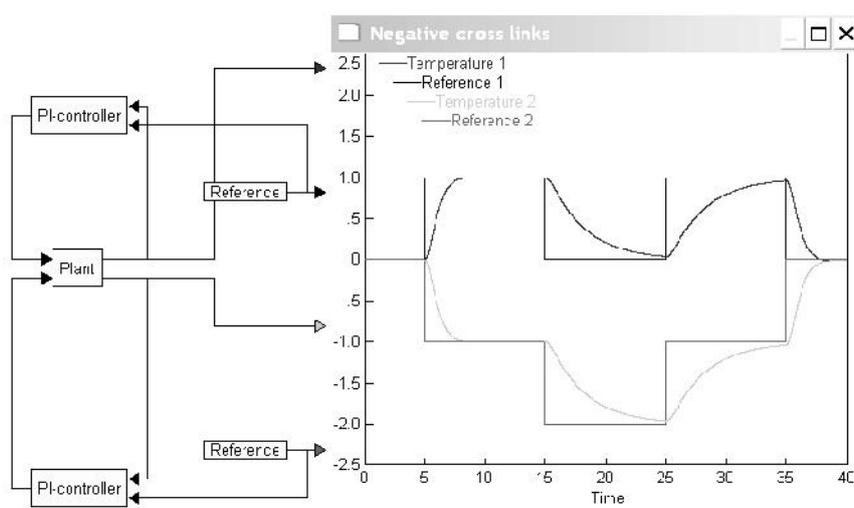


Рис. 6. Динамика отработки скачков задания при отрицательных перекрестных связях в объекте

Обозначения на рисунках: Plant – объект регулирования, PI-controller – ПИ-регулятор, Reference – задание. На осциллограммах единичными скачками представлены изменения заданий в контурах (Reference 1, Reference 2). Плавными линиями представлены изменения соответствующих регулируемых величин (Temperature 1, Temperature 2).

Из осциллограмм очевидно, что время переходного процесса существенно зависит от того, изменяются ли задания в одном направлении (синфазно), или в противоположных направлениях (противофазно).

Наличие перекрестных положительных связей в объекте не ухудшает качество регулирования при синфазных изменениях заданий. Но при противофазных изменениях заданий существенно ухудшается быстродействие и возрастает время регулирования.

Наличие перекрестных отрицательных связей в объекте не ухудшает качество регулирования при противофазных изменениях заданий. Но при синфазных изменениях заданий существенно ухудшается быстродействие и возрастает время регулирования).

Произвольные изменения заданий во времени можно представить как сумму синфазной и противофазной составляющей, которые будут обрабатываться с разным быстродействием, соответственно вышеизложенным закономерностям.

### Выводы

Наличие даже значительных перекрестных связей в объекте регулирования не приводит к потере устойчивости двухконтурного регулирования.

Наличие даже значительных перекрестных связей в объекте регулирования не требует корректировки параметров настройки регуляторов.

Наличие даже значительных перекрестных положительных связей в объекте не ухудшает качество регулирования при синфазных изменениях заданий (но при противофазных изменениях заданий существенно ухудшается быстродействие и возрастает время регулирования).

Наличие даже значительных перекрестных отрицательных связей в объекте не ухудшает качество регулирования при противофазных изменениях заданий (но для синфазных изменений заданий существенно ухудшается быстродействие и возрастает время регулирования).

Произвольные изменения заданий во времени можно представить как сумму синфазной и противофазной составляющей, которые будут обрабатываться с разным быстродействием, соответственно вышеизложенным закономерностям.

### Список литературы

1. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування: підручник для ВУЗів. – К.: Либідь, 1997.
2. Самоткін Б.Б. Курс лекцій з теорії автоматичного керування: – Житомир, ЖІТІ, 1997.
3. Стеклов В.К. Проектування систем автоматичного керування: Навчальний посібник для ВУЗів, 1995.

Статья поступила в редколлегию 15.12.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. М.В. Мыслович, зав. научным отделом, Институт электродинамики НАН Украины.