

## Испытание контроллера газовой системы КГС-3

Основной целью испытания контроллера газовой системы КГС-3 является проверка его работоспособности в управлении технологической газовой системой, в которой решается задача подачи газовой смеси с фиксированным соотношением концентраций газов в вакуумную камеру плазменного напыления магнетронного типа систем газотермического напыления.

Внешний вид контроллера совместно с газовой системой, моделирующей систему подачи газов для установки газотермического напыления, представлен на рис.1.



Рис.1. Контроллер газовой системы КГС-3 и газовая система.

Газовая схема, с которой испытывается контроллер КГС-3, эквивалентна газовой схеме рис.2.

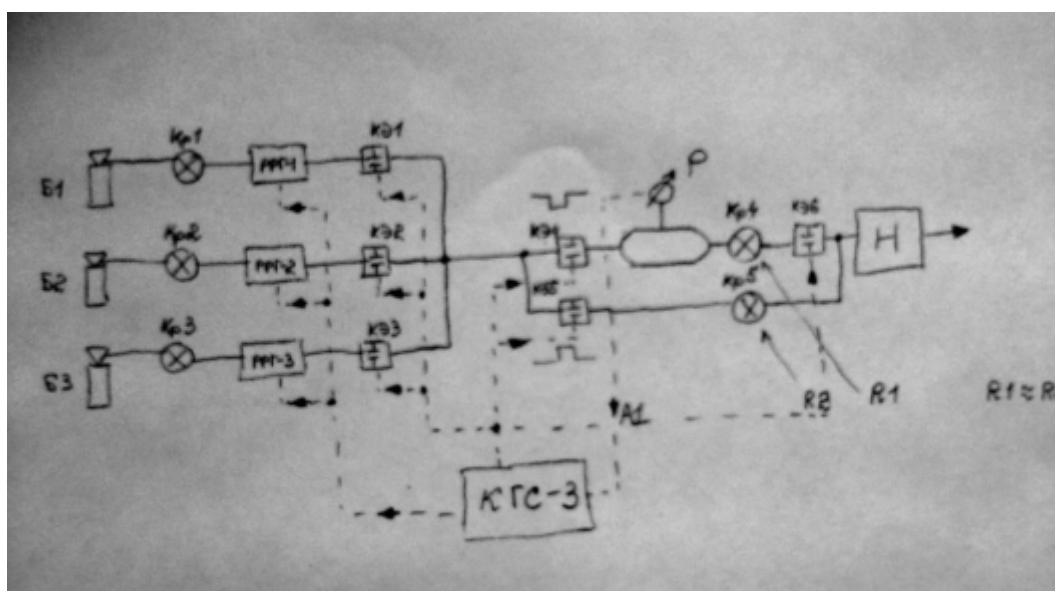


Рис.2. Газовая схема.

В газовую систему входит: две газовых панели, баллон объемом 1л, имитирующий вакуумную камеру плазменного напыления магнетронного типа, датчик давления АИР-10Н-ДИВ, форвакуумный насос НВР-4.5Д (рис.3).



Рис.3. Газовая система.

В первой газовой панели установлены три цифровых регулятора расхода газа РРГ-12 с диапазонами расходов  $D1 = 18$  л/ч,  $D2 = 9$  л/ч,  $D3 = 3.6$  л/ч и три электромагнитных клапана SMC XSA1-12V. Во второй газовой панели установлены три электромагнитных клапана SMC XSA1-12V и вакуумный натекатель. Ко второй газовой панели подсоединен форвакуумный насос НВР-4.5Д, баллон емкостью 1 л совместно с датчиком давления АИР-10Н-ДИВ и вакуумным натекателем.

Газовая система представляет собой газовый смеситель трех компонентов газа, работающий по методу динамического перемешивания газов с помощью цифровых регуляторов расхода газа и включает в себя основной канал с вакуумной камерой, в качестве которой служит баллон и байпасный канал. Вакуумные натекатели, включенные в основной канал и байпасный канал, настроены таким образом, что при откачке форвакуумным насосом имеют равные пневмосопротивления.

Использование байпасного канала, у которого пневмосопротивление равно по величине пневмосопротивлению основного канала, позволяет подавать предварительно сформированную газовую смесь в вакуумную камеру без нежелательных скачков давления в камере с помощью соответствующей коммутации электромагнитных клапанов. Эти скачки обусловлены процессами при установлении задания расхода газа в РРГ в начальный момент времени, когда происходят колебания расхода газа. Влияние этих колебаний можно устранить, пропуская газовую смесь через байпасный канал.

При испытаниях контроллер работает в режиме автоматического поддержания давления воздуха в баллоне величиной 20 кПа, имитируя газовую смесь, путем регулирования расхода воздуха тремя регуляторами РРГ-12 с использованием сигнала обратной связи от датчика давления АИР-10Н-ДИВ. Воздушная смесь имитирует постоянный состав газовой смеси с  $C1 = 58.8$  %,  $C2 = 29.41$  %,  $C3 = 11.79$  %,  $Q_m = 22$  и  $30$  л/ч, где  $C1,2,3$  – соответствующие объемные концентрации компонентов газовой смеси,  $Q_m$  –

максимальный расход газовой смеси. Контроллер управляет регуляторами РРГ-12 так, что при регулировании потока газовой смеси сохраняет соотношения между концентрациями C1,2,3 постоянными.

Контроллер позволяет незначительно изменять величины концентраций компонентов смеси относительно выше приведенного базового состава C1, C2, C3 и соответствующих им D1, D2, D3 для Qm = 22 л/ч при условии фиксации величины одной из концентраций согласно таблице.

Таблица

C1(%)	C2(%)	C3(%)	dC(%)
58.80	29.41	11.79	0 база
58.80	27.41	13.79	±2 C1=const
58.80	31.41	9.79	±2 C1=const
62.80	29.41	7.79	±4 C2=const
54.80	29.41	15.79	±4 C2=const
68.80	19.41	11.79	±10 C3=const
48.80	39.41	11.79	±10 C3=const

Давлению воздуха величиной 20 кПа соответствует сигнал с датчика давления АИР-10Н-ДИВ величиной  $U_d = 2.26$  В на нагрузочном резисторе с сопротивлением 498 Ом, а атмосферному давлению соответствует  $U_d = 3.30$  В.

Для поддержания давления в баллоне величиной 20 кПа в контроллере используется метод ПИД-регулирования с напряжением задания для датчика давления  $U_{зад} = 2.26$  В. Коэффициенты ПИД-регулятора  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  подбираются экспериментально, где  $K_p$  – пропорциональный,  $K_i$  – интегральный,  $K_d$  – дифференциальный коэффициенты. Для данной газовой системы оптимальными являются значения  $K_p = 12.5$ ,  $K_i = 5$ ,  $K_d = 0$ .

Переходные процессы от вакуума до давления 20 кПа в баллоне для различных коэффициентов  $K_p$ ,  $K_i$  при включении ПИД-регулятора в контроллере представлены на рис.4 и рис.5 соответственно.

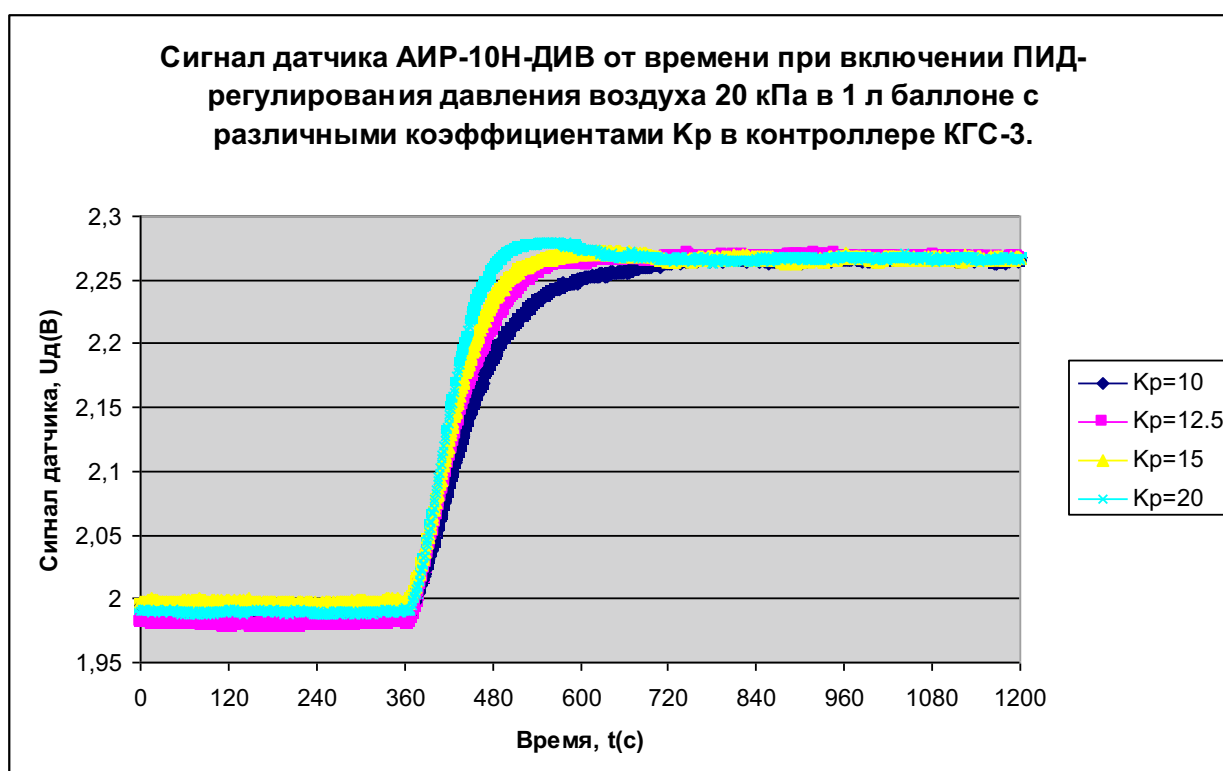


Рис.4. Включение ПИД-регулятора при различных  $K_p$ .

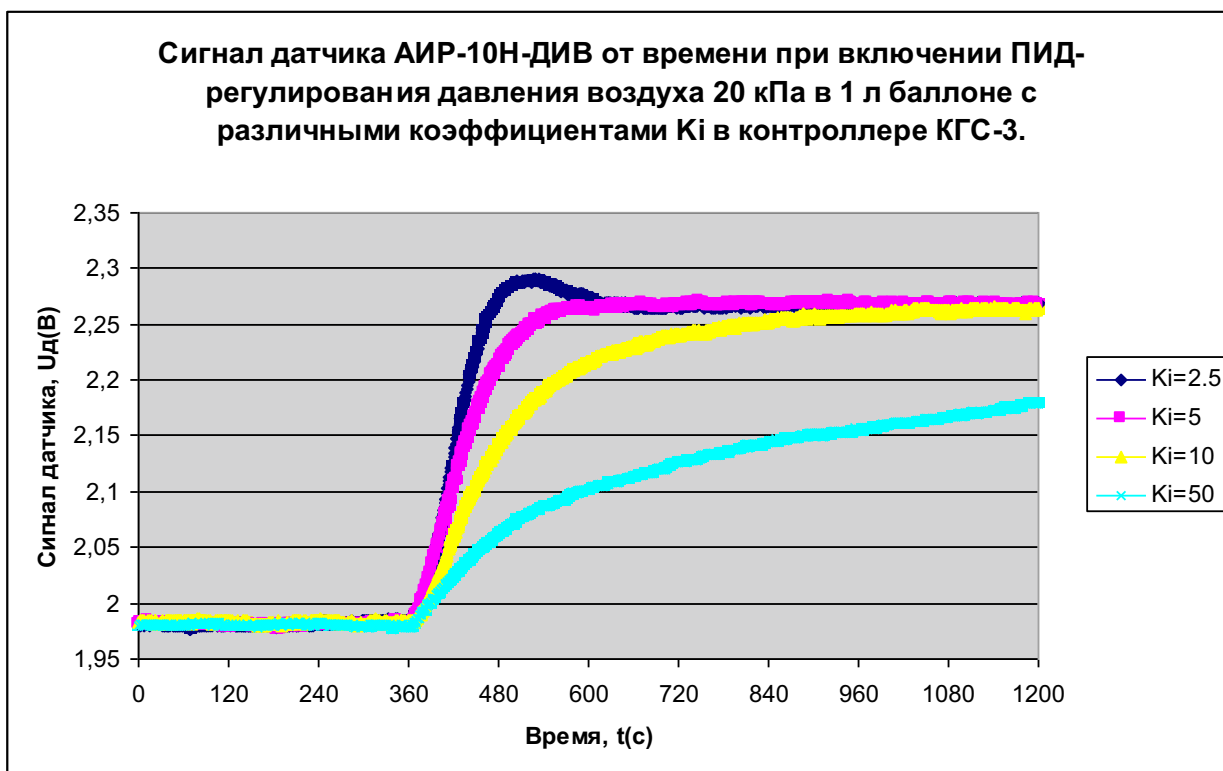


Рис.5. Включение ПИД-регулятора при различных  $K_i$ .

При выборе ПИД-коэффициентов следует отметить, что  $K_i$  не должен принимать нулевое значение. В этом случае ПИД-регулятор не работает.

Для  $K_d$  лучше выбрать нулевое значение, т.к. при флуктуации сигнала датчика давления начинает резко изменяться задание расхода газовой смеси, что приводит к нежелательным колебаниям давления в регулируемой газовой системе.

На рис.6 представлена регистрация сигнала датчика давления АИР-10Н-ДИВ от времени на панели контроллера. Первый импульсу представляет переходы от вакуума в баллоне к регулируемому давлению 20 кПа и обратно при включении и выключении ПИД-регулятора в контроллере. Второму импульсу соответствует напуск атмосферы в баллон и откачка воздуха до вакуума без включения ПИД-регулятора.



Рис.6. Сигнал датчика давления АИР-10Н-ДИВ от времени. В одном делении по оси времени 1 мин при длине всей шкалы 32 мин.

Контроллер может управляться от внешнего ПК. При этом передается управление заданием расхода газовой смеси  $S$  заданного состава  $C1, C2, C3$ , режимами работы электромагнитных клапанов  $KЭ1...KЭ6$  и кнопкой «Старт/Стоп». Управление происходит по протоколу MODBUS RTU при скорости обмена 19200 бит/с, 8N1, с сетевым адресом контроллера 4. Задание расхода  $S$  представляет число в диапазоне от 2 до 100 с шагом 1, что соответствует от 2 до 100 %. Это число в виде машинного слова следует записать в регистр с адресом 14. Состояние электромагнитных клапанов и кнопки «Старт/Стоп» записывается в виде машинного слова в регистр с адресом 15. Нулевому биту соответствует состояние кнопки «Старт/Стоп», 1 – Старт, 0 – Стоп. Битам с 2 по 7 соответствует состояние  $KЭ1...KЭ6$ , 1 – открыт, 0 – закрыт клапан.

## **Выводы**

1. В процессе испытаний неполадок в работе контроллера КГС-3 не обнаружено. Контроллер управлял газовой системой в течение нескольких суток непрерывно, не менее 8 часов в сутки.
2. Во всех предусмотренных режимах работы контроллера: «Ручной», «Авто», «Авто +», управление от ПК, контроллер работает исправно.
3. Для каждой газовой системы следует подбирать коэффициенты ПИД-регулирования экспериментальным путем. Достаточно подобрать  $K_p$  и  $K_i$ , а  $K_d$  сделать нулевым. Коэффициент  $K_i$  не может быть нулевым.
4. Для каждой газовой системы экспериментально подбирается длина временной шкалы графика ПИД-регулирования и масштаб оси напряжения датчика давления в пределах от 0 до 10 В.
5. При заданных значениях базового рецепта газовой смеси и диапазонов регулирования РРГ возможна незначительная коррекция состава газовой смеси. Подбор газовой смеси следует осуществлять заранее и можно выполнить в режиме работы контроллера «Ручной». После этого следует использовать РРГ с надлежащими диапазонами регулирования расходов газов  $D1, D2, D3$ . Проверка правильного выбора  $D1, D2, D3$  по заданным параметрам  $C1, C2, C3, Q_m$  осуществляется внутренней компьютерной программой контроллера КГС-3.
6. Контроллер КГС-3 может управлять газовой системой как автономно, так и в режиме внешнего управления от ПК или микроконтроллера, входя в состав общей технологической системы.

Князев В.И.  
 Ведущий инженер-исследователь ООО «ЭЛТОЧПРИБОР»

04.03.2015