

Д. А. Гринюк, доц., канд. техн. наук;  
И. Г. Сухорукова, ст. преп.; К.Д. Гедерт, студ.;  
П. Д. Петручук, студ. (БГТУ, г. Минск)

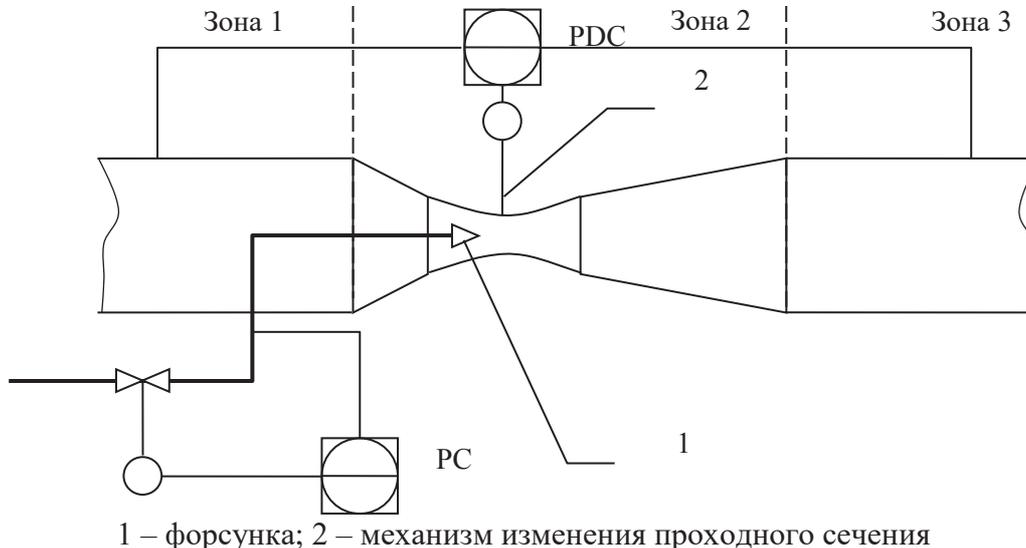
## ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ МОКРОГО СКРУББЕРА

Мокрыю очистку применяют для очистки газов от пыли и тумана. В качестве промывной жидкости обычно используют воду, реже – водные растворы соды, серной кислоты и других веществ.

Форсуночная труба Вентури (скруббер) (рис. 1.), в которой жидкость под небольшим давлением подается через распылитель, установленный параллельно газовому потоку, движущемуся с большой скоростью, часто используется для мокрой очистки.

Принцип действия аппарата основывается на интенсивном дроблении газовым потоком, движущимся с большой скоростью (обычно около 60...150 м/с, но может доходить и до 430 м/с), орошаемой жидкости из форсунки. Малые частицы жидкости связывают частицы пыли и некоторые газы. В последующих аппаратах происходит их удаление.

Для настройки системы автоматизации необходимо оценить динамику предполагаемых контуров регулирования.



**Рисунок 1 – Схема основных контуров управления мокрым скруббером**

В литературе [1] сказано о необходимости поддержания постоянного давления жидкости перед форсункой и перепада давления непосредственно на трубе Вентури. Это призвано обеспечить образование на форсунке капель жидкости с нужным эффективным размером.

Оба этих контура можно отнести к очень динамичным. Особенно контур поддержания давления. Если воспользоваться формулой из [2]:

$$T = \frac{LF\gamma}{gA\Delta p}, \quad (1)$$

где  $L$  – длина трубопровода;  $F$  – расход;  $\gamma$  – удельный вес;  $g$  – ускорение свободного падения;  $A$  – площадь поперечного сечения трубопровода;  $\Delta p$  – потери давления.

С учетом существующих вариантов параметров постоянная времени не превысит 0,05с.

Коэффициент передачи можно рассчитать по формуле

$$k = \frac{2F}{C_R^2}, \quad (2)$$

где  $C_R$  – гидравлическое сопротивление системы.

Стабилизацию давления жидкости производят с помощью клапанов с электрическим приводом, так как воду берут из водопроводной сети предприятия. Но могут быть варианты и с применением прямого управления частотой насоса.

В первом случае настройки регулятора контура стабилизации будут определяться динамикой исполнительного механизма, так как клапаны на воду обычно имеют постоянную времени от 6 секунд и выше. Уменьшение динамики не может быть рекомендовано из-за повышения вероятности гидроударов. Точное определение постоянной времени трубопровода в этом случае не так важно, тогда как коэффициент передачи будет оказывать значительное влияние.

При использовании управления расходом жидкости насосов необходимо, в первую очередь, произвести оценку механических постоянных двигателя и подвижных частей. Контур стабилизации перепада давления обладает существенными нелинейностями. В первую очередь из-за механизмов изменения проходного сечения. Встречаются варианты «пережатия» или изменения положения клина, который может передвигаться по трубе. Обычно отработку управляющих воздействий осуществляют с помощью электроприводов достаточно большой мощности. Постоянная времени исполнительного механизма уже будет больше 20...30 с.

Вторая нелинейность обусловлена тем, что движение газа по трубе подчиняется уравнению в частных производных Навье-Стокса. Ввиду того, что, как и для первого контура, основная динамика системы стабилизации будет определяться быстродействием исполнительного механизма, то можно произвести приблизительную оценку динамики путем разбиения на зоны с разным динамическим режимом.

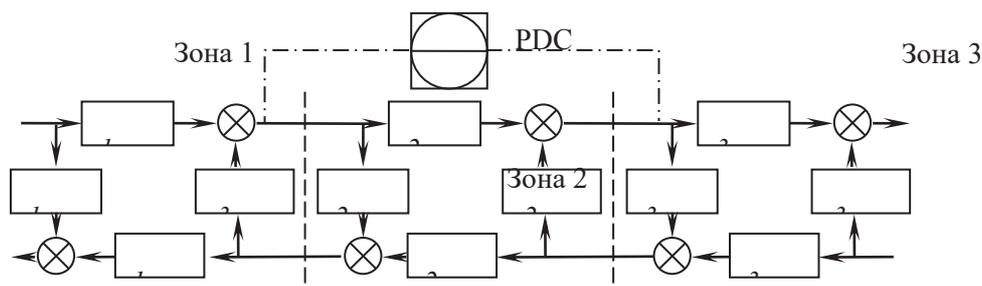


Рисунок 2 – Структурна схема динамики трубы Вентури

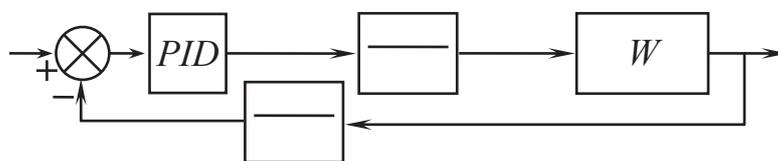
Расчет передаточных функций каждой из зон можно провести по формулам:

$$W_{F1,F0} = \frac{1}{T_F s + 1}; \quad W_{P0,F0} = \frac{T_1 s}{T_F s + 1}; \quad (3)$$

$$W_{P1,P0} = \frac{k_3}{T_P s + 1}; \quad W_{P1,F1} = k_4 \frac{T_2 s + 1}{T_P s + 1}; \quad (4)$$

где  $s$  – оператор передаточной функции в преобразовании Лапласа.

Для обоих контуров регулирования структура моделирования будет как на рис. 3 [4]. Про постоянную времени  $T_{act}$  сказано выше. Постоянная времени датчиков давления обычно лежит в диапазоне от 0,01 до 1,5 с. У датчика перепада давления обычно выше.



$SP$  – требуемое значение;  $x$  – параметр на выходе объекта;  $u$  – сигнал с регулятора;  $T_{act}$  и  $T_s$  – постоянная времени исполнительного механизма и датчика;  $W$  – динамика объекта

Рисунок 3 – Структура системы управления

### ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматическое управление в химической промышленности : Учебное пособие / [Е.Г. Дудников и др.]; Под ред. Е.Г. Дудникова – М.: Химия, 1987. – 368 с.
2. Шински Ф. Системы автоматического регулирования химико-технологических процессов. Пер. с англ. под ред. Н. И. Гельперина.– М.: Химия, 1974. – 336 с.
3. Построение динамической модели гидравлического тракта / Д. А. Гринюк [и др.] // Материалы 86-й научно-технической конференции, Минск, 31 января – 12 февраля 2022 г. – Минск: БГТУ, 2022. – С. 354-356.
4. Анализ эффективности ПИД-регуляторов с двумя степенями свободы с помощью интегральных критериев / Д. А. Гринюк [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 3, Физ.-мат. науки и информатика. 2018. № 2. С. 82–88.