

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ КАСКАДНОЙ САР УРОВНЯ pH ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

**Бурда И.В., студ.; Жукова Н.В., доц., к.т.н., доц.**

*(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)*

Общий анализ проблемы и постановка задачи исследований. Технологическая схема химической водоочистки в условиях ТЭЦ-ПВС Донецкого металлургического завода производится реагентным способом. Этот метод наиболее широко используют для нейтрализации кислых сточных вод. Поскольку в кислых и щелочных производственных сточных водах практически всегда присутствуют ионы металлов, то дозу реагента определяют с учетом выделения в осадок солей тяжелых металлов. В качестве реагентов используется гашеная  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и негашеная  $\text{CaO}$  известь. Известь для нейтрализации применяют в виде известкового молока 5%-й концентрации. Время контакта сточных вод и реагента для кислых сточных вод, содержащих растворенные ионы тяжелых металлов, должно быть не менее 15 мин [2].

Исходя из требований, предъявляемых к уровню  $\text{pH} = 11$  ед, можно сделать вывод, что при очистке стремятся сделать воду более щелочной. Для регулирования процессов нейтрализации хорошо себя зарекомендовали непрерывные ПИ – или ПИД – регуляторы. Для обеспечения устойчивого регулирования  $\text{pH}$  применяют специальные системы с двумя регулирующими клапанами [1]. Клапан для грубого регулирования с большим условным диаметром настроен на максимальный диапазон изменения выходного сигнала регулятора. И клапан, служащий для точного регулирования, рассчитан на меньшую пропускную способность и настроен на незначительные отклонения уровня  $\text{pH}$  от заданного значения. Таким образом, при незначительном отклонении  $\text{pH}$  регулирование ведется клапаном внутреннего контура, если отклонения превышают заданную погрешность, то клапаном внешнего контура с большей пропускной способностью.

Однако такая концепция построения требует конструктивной перестройки системы подведения исходной воды по линии трубопровода и врезки дополнительных клапанов различной пропускной способности. Поэтому при построении идеологии управления технологическим процессом химической водоочистки в условиях ТЭЦ-ПВС Донецкого металлургического завода принято решение точность регулирования уровня  $\text{pH}$  обеспечить за счет применения каскадных схем регулирования с регулятором соотношения потоков при общей нагрузке и коррекции коэффициентов по третьему параметру [1]. При этом заданный коэффициент соотношения устанавливается внешним регулятором уровня  $\text{pH}$ , так что расход исходной воды определяется как функция  $F_{\text{вода}} = \gamma(\text{pH}) * F_{\text{изв.молоко}}$ . Это означает, что ведущим нерегулируемым потоком является расход известкового молока, а ведомым регулируемым – расход исходной воды. Коэффициент соотношения потоков исходной воды и известкового молока  $\gamma(\text{pH})$  не является постоянным, а изменяется в процессе регулирования уровня  $\text{pH}$  в зависимости от текущего сигнала обратной связи от датчика  $\text{pH}$ . Таким образом, задающее воздействие на внутренний регулятор исходной воды определяется текущим значением выхода регулятора  $\text{pH}$ , пропорциональному коэффициенту соотношения  $\gamma(\text{pH})$ , и потоком известкового молока.

Структурная схема каскадной САР приведена на рис.1. Структура САР двухконтурная с принципом управления по отклонению. Внешний контур – контур регулирования уровня  $\text{pH}$ , внутренний контур – регулятор расхода исходной воды в соотношении с расходом реагента известкового молока.

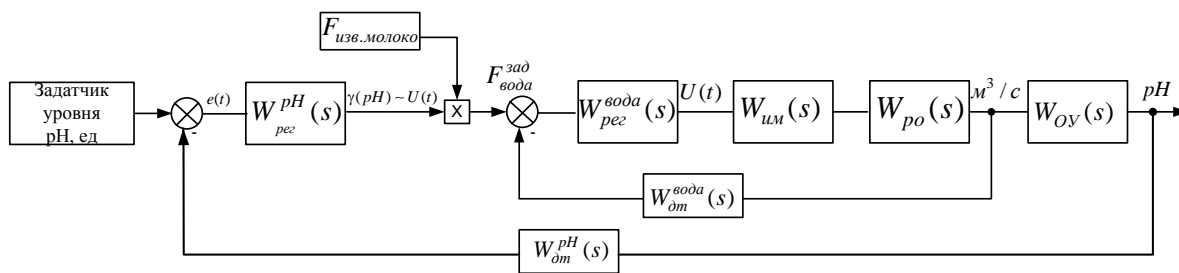


Рисунок 1 – Структурная схема САР уровнем рН

На схеме присутствуют следующие обозначения:

$W_{рез}^{pH}(s)$  - передаточная функция регулятора уровня рН;

$W_{рез}^{вода}(s)$  - передаточная функция регулятора исходной воды;

$W_{им}(s)$  - передаточная функция исполнительного механизма (ИМ);

$W_{по}(s)$  - передаточная функция регулирующего органа (РО);

$W_{дат}^{pH}(s)$  - передаточная функция датчика рН.

$W_{дат}^{вода}(s)$  - передаточная функция датчика расхода воды.

Звено  $W_{рез}^{pH}(s)$  описывает регулятор рН, на выходе которого формируется управляющий сигнал напряжения  $U(t)$ , пропорциональный коэффициенту соотношения  $\gamma(pH)$ , при подаче которого на умножитель со значением расхода известкового молока  $F_{изв.молоко}$ , формируется сигнал задания расхода исходной воды для регулятора исходной воды.

Звено  $W_{рез}^{вода}(s)$  описывает регулятор расхода исходной воды, на выходе которого формируется управляющий сигнал напряжения  $U(t)$  на исполнительный механизм, описываемый звеном  $W_{им}(s)$ , который приводит в движение регулируемый клапан на потоке исходной воды, обеспечивая тем самым необходимый текущий расход.

Звенья  $W_{дат}^{pH}(s)$ ,  $W_{дат}^{вода}(s)$  согласовывают цепи задания и обратных связей по уровню рН и расходу исходной воды.

Далее следуют элементы модели объекта управления  $W_{оу}^{pH}(s)$ , отражающие динамику процесса нейтрализации кислой исходной промышленной воды. Выходной переменной является уровень рН.

Докажем работоспособность предлагаемого способа управления методами математического моделирования и проанализируем динамику переходных процессов САР на предмет возможности применения таких структур управления в практических условиях.

Методика решения задачи. Общей особенностью регулирования рН является нелинейность их статических характеристик [1], связанная с нелинейной зависимостью рН от расхода реагентов. На рис.2 показана кривая титрования, характеризующая зависимость рН от расхода реагента.

Из рис.2 следует, что диапазон изменения уровня рН составляет от 3...14 ед. Для различных заданных значений рН на этой кривой можно выделить три характерных участка: первый (средний), относящийся почти к нейтральным средам, близок к линейному и характеризуется большим коэффициентом усиления. Второй и третий участки, относятся к сильно щелочным или кислым средам, обладают наибольшей кривизной. Анализируя рис. 1, можно сделать вывод, что рабочая точка, в районе которой можно формализовать процесс нейтрализации находится ближе к третьему участку, но еще в линейной зоне. Данное обстоятельство позволит достаточно точно описать процесс нейтрализации дифференциальным уравнением первого порядка с запаздыванием [1].

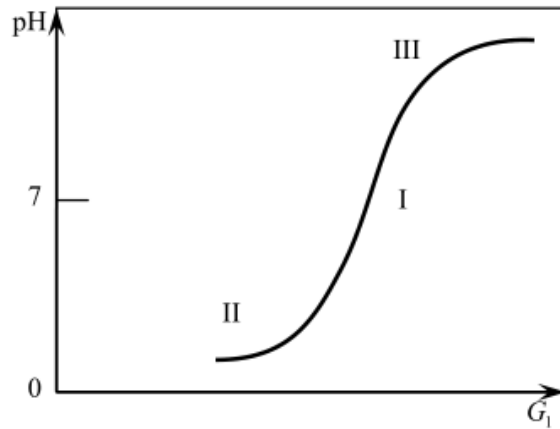


Рисунок 2 – Зависимость величины pH от расхода реагента

При анализе технологической схемы очистки было установлено, что подача реагента (известкового молока) подается дозатором ДИМБА-40 с постоянной производительностью 40 м<sup>3</sup>/час [2, 3]. Расход исходной воды, которую необходимо нейтрализовать, составляет 250 м<sup>3</sup>/час. Математическая модель объекта управления может быть представлена в виде передаточной функции по каналу управления «уровень pH – расход исходной воды» с запаздыванием:

$$W_{pH}(s) = \frac{\Delta pH(s)}{\Delta F_{вода}(s)} = \frac{K_0}{(T_0 s + 1)} e^{-s\tau}, \quad (1)$$

где  $K_0 = \frac{11}{0.06} \left[ \frac{e\partial}{M^3/c} \right]$ ;  $T_0 = 100$  с;  $\tau = 40$  с. Выбор постоянной времени объекта обусловлено временем контакта сточных вод и реагента для кислых сточных вод, которое должно быть не менее 15 мин.

Схема моделирования каскадной двухконтурной САР уровня pH приведена на рис.3. По ней были получены и проанализированы переходные процессы в системе.

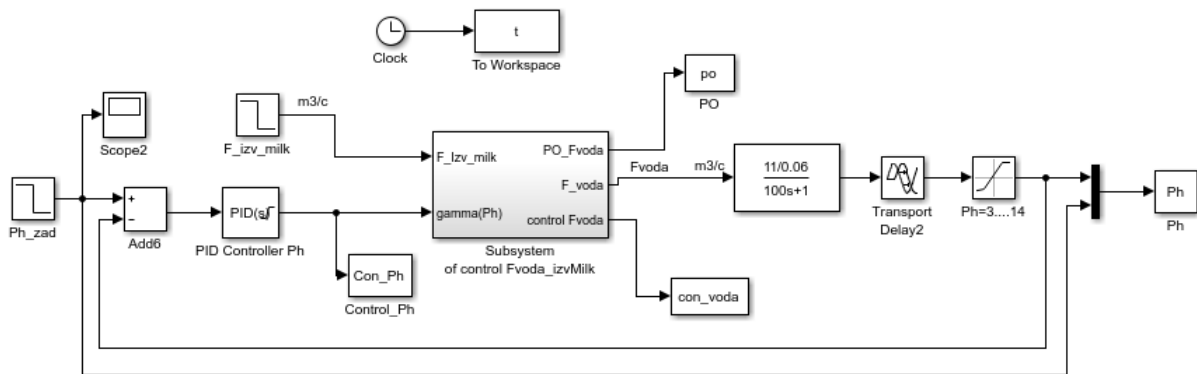


Рисунок 3 – Схема моделирования каскадной двухконтурной САР уровня pH

Переходная характеристика уровня pH приведена на рис. 4. На графике изображен не только переходной процесс pH, но и сигнал задающего воздействия.

Из графика рис.4 видно, что система соответствует требованиям качества регулирования: время регулирования составляет  $t_p = 20$  мин, перерегулирование отсутствует,  $\sigma = 0\%$ . Проанализируем реакцию САР на возможное изменение расхода реагента известкового молока. Изменения расхода реагента принято моделировать в виде ступенчатого сигнала. На практике в реальных условиях функционирования САР резкие нагрузки не допустимы, однако ступенчатые сигналы полезны с точки зрения тестирования синтезированных регуляторов на отработку возможных возмущений. Допустим, в момент

времени 1200 с расход реагента изменился с  $40 \text{ м}^3/\text{с}$  до  $35 \text{ м}^3/\text{с}$  (рис. 5). Это говорит о том, что очищенная вода станет более нейтральной, о чем подтверждает уровень рН, уменьшающийся до 10 ед. Из графика рис. 5 видно, что система обрабатывает возмущение по подаче реагента за 20 мин, что соответствует требованиям, предъявляемым к объектам данного класса.

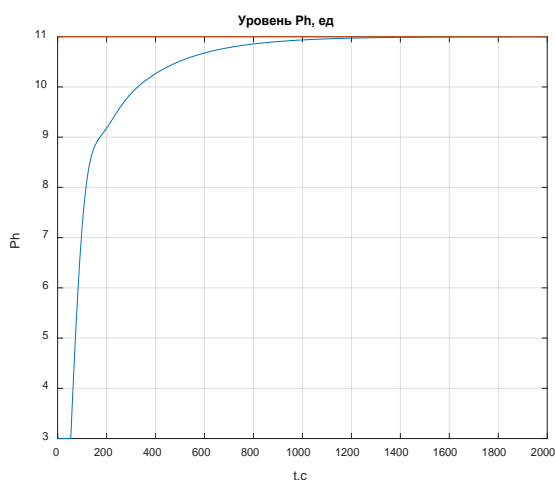


Рисунок 4 – График переходного процесса уровня рН

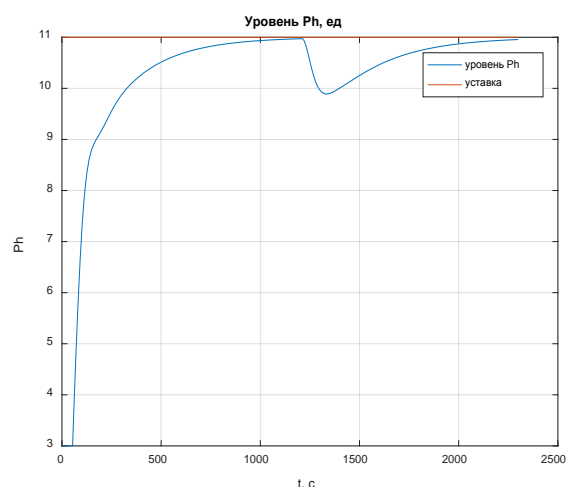


Рисунок 5 – Переходной процесс уровня рН при изменении расхода известкового молока с  $40 \text{ м}^3/\text{с}$  до  $35 \text{ м}^3/\text{с}$

На рис.6 приведены графики переходных процессов расхода исходной воды, а также хода регулирующего органа.

Графики рис. 6 подтверждают правильность функционирования САР. При уменьшении расхода реагента, расход исходной воды также уменьшается во избежание получения кислой среды. При этом РО работает в нормальном режиме в районе 70 %, что позволяет обрабатывать возмущения, как на открытие, так и закрытие клапана. При рассматриваемом возмущении РО немного закрывается, чтобы уменьшить расход регулируемого потока исходной воды.

На графиках рис. 7 приведены выходы регуляторов внешнего контура – уровня рН и внутреннего контура – расхода исходной воды.

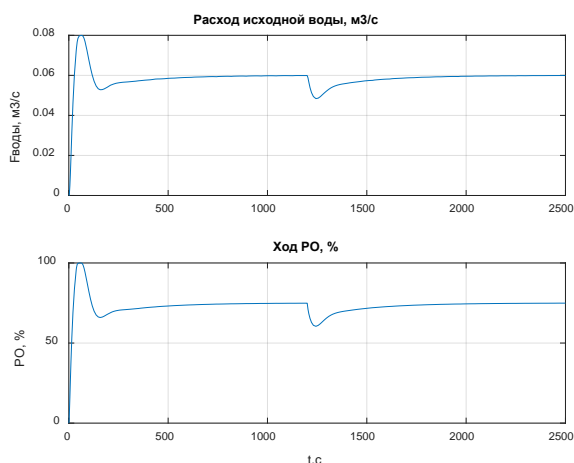


Рисунок 6 – Переходные процессы расхода исходной воды и хода РО

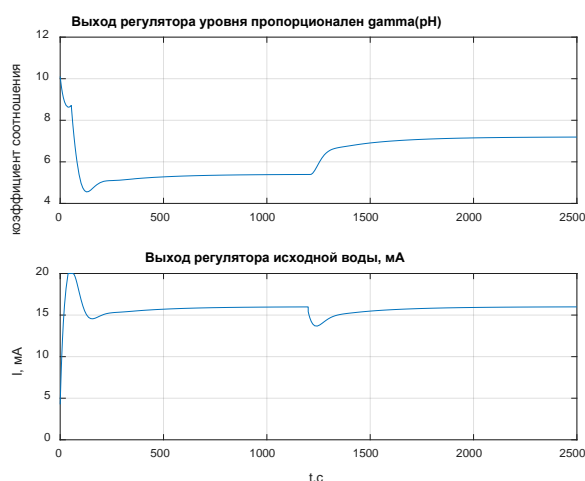


Рисунок 7 – Переходные процессы выходных сигналов регуляторов внешнего и внутреннего контуров

Выходной сигнал внешнего регулятора рН (рис.7) фактически устанавливает соотношение потоков исходной воды и известкового молока. Из верхнего графика следует,

что коэффициент соотношения потоков равен около 5 ед. При уменьшении расхода реагента регулятор рН, стремясь восстановить заданный уровень рН, обрабатывает и увеличивает коэффициент соотношения с 5 ед. до 7 ед. При моделировании выходной сигнал регулятора уровня ограничен возможным диапазоном изменения коэффициента соотношения. Выходной сигнал регулятора расхода исходной воды (рис.7) также ограничен требуемым диапазоном 4..20мА и при обработке возмущений не превышает ограничения, что дает возможность для технической реализации данной схемы регулирования.

На рис.8 приведен график переходного процесса уровня рН, отражающий изменение задающего воздействия по рН. В момент времени 2500 сек. происходит ступенчатое изменение задания уровня рН с 10 ед. до 8 ед. Изменение сигнала уставки САР обрабатывает за 15 мин., что соответствует заданным требованиям.

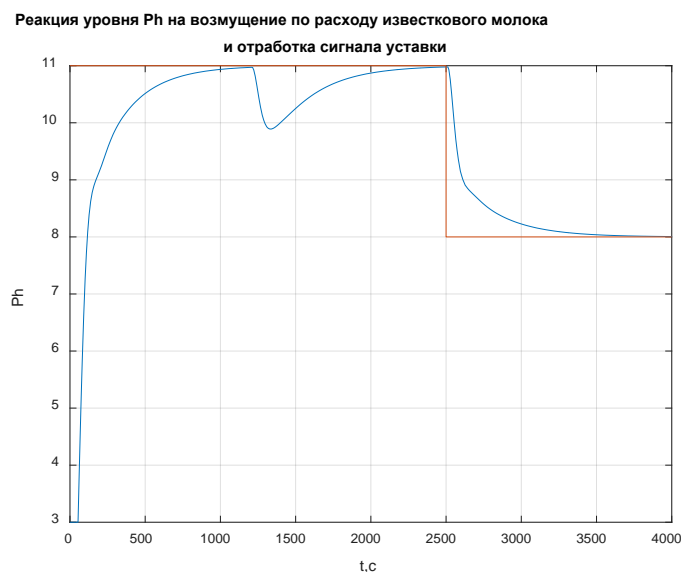


Рисунок 8 – Переходной процесс рН при изменении сигнала уставки

Выводы. Для условий химической водоочистки ТЭЦ-ПВС Донецкого металлургического завода предложена комплексная модель САР уровнем рН, которая является каскадной двухконтурной. В качестве законов регулирования по каналу управления «уровень рН – расход исходной воды» выбран ПИД-закон, а по каналу регулятора соотношения потоков исходной воды и известкового молока ПИ-закон. Параметры регуляторов были автоматически оптимизированы средствами блока PID-control пакета прикладных программ Matlab-Simulink. Результаты моделирования доказали работоспособность САР и возможность применения подобных систем на практике.

#### Перечень ссылок

1. Беспалов, А. В. Системы управления химико-технологическими процессами: Учебное пособие для вузов / А. В. Беспалов, Н. И. Харитонов. – Москва : ИКЦ «Академика», 2005. – 690 с.
2. Методы и сооружения для очистки сточных промышленных вод [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://pnu.edu.ru/media/filer\\_public/2013/05/21/ochistka-sv\\_posobie.pdf](http://pnu.edu.ru/media/filer_public/2013/05/21/ochistka-sv_posobie.pdf).
3. Дмитриев, В. Д. Эксплуатация систем водоснабжения, канализации и газоснабжения / В. Д. Дмитриев. - Москва: «Книга по требованию», 2005. – 379 с.