

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ САУ УРОВНЕМ pH ВОДНЫХ РАСТВОРОВ В УСЛОВИЯХ ПРОИЗВОДСТВА ХЛОРА И КАУСТИЧЕСКОЙ СОДЫ

Жукова Н.В., доц., к.т.н.; Хачиков А.А., студ.

(ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Общая постановка проблемы. Авторами в [1, 2] показано, что для обеспечения высокой статической и динамической устойчивости и точности поддержания заданной величины pH, а также повышения показателей эффективности процесса электролиза необходимо в качестве регулируемой величины использовать не величину pH, а обратную функцию зависимости величины pH от концентрации кислоты или щелочи, т.е. фактически линеаризовать нелинейную характеристику датчика pH-метра. По условиям ведения технологического процесса к системам регулирования pH предъявляются достаточно жесткие требования к точности поддержания величины pH. Обычно эта величина составляет $\pm(0,10 \div 0,2)$ единиц pH. Однако существующие автоматические системы регулирования не могут обеспечить заданную точность поддержания величины pH и, более того, зачастую работают в режиме автоколебаний с недопустимо большой амплитудой [3]. Неудовлетворительное качество регулирования величины pH связано с резко нелинейным характером зависимости величины pH от концентрации кислоты или щелочи в растворе. Эта зависимость описывается выражением:

$$pH = -\lg C_{HCl}, \quad (1)$$

где C_{HCl} - концентрация кислоты в растворе, моль/л.

Зависимость (1) приведена на рис.1а, где для того, чтобы совместить два графика на одном рисунке, концентрация кислоты условно принята отрицательной. Из рис.1а видно, что для поддержания pH рассола, равным 1,5-2 ед., необходимо поддерживать концентрацию кислоты в растворе в диапазоне $\approx(0,025-0,036)$ моль/л, т.е. должна обеспечиваться очень высокая абсолютная точность регулирования малых значений концентраций кислоты. Для обеспечения поставленной цели была линеаризована нелинейная зависимость величины pH от концентрации кислоты [1,2]. Для кислых растворов преобразование осуществляется по выражению:

$$C_{HCl} = 10^{-pH}. \quad (1)$$

Зависимость (2) приведена на рис.1б, где также концентрация кислоты условно принята отрицательной.

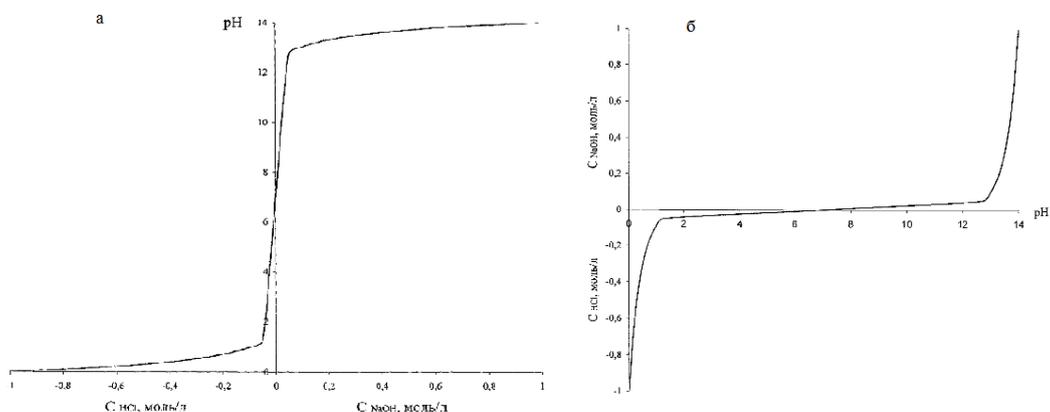


Рисунок 1 – а) зависимость pH раствора от концентрации кислоты (щелочи); б) зависимость концентрации кислоты (щелочи) от pH раствора

Однако проблема высокой точности регулирования осложняется тем, что рассматриваемый объект относится к инерционным объектам с большой транспортной задержкой, для которого отношение времени запаздывания к сумме времени запаздывания и постоянной времени объекта превышает 0,6. Таким образом, для поддержания высокой точности регулирования концентрации кислоты кроме линеаризации нелинейной характеристики датчика рН-метра, необходимо применить прогнозное управление с помощью предиктора Смита [4].

Методика решения задачи. Реализация функции обратной зависимости величины рН от концентрации кислоты, а также структурная схема замкнутой САУ приведены в [2]. Анализ динамики моделирования замкнутой САУ показал, что задача стабилизации концентрации выполняется только при незначительном изменении расхода рассола $\pm(0,005 \div 0,02)$ м³/с, который в рассматриваемой САУ является ведущим потоком и относится к неконтролируемым возмущениям. По технологии расход рассола может превышать изменения более чем на 0,1 м³/с, при котором задача стабилизации разработанной системой уже не решается, не говоря о высокой точности поддержания концентрации кислоты.

Для поддержания высокой точности регулирования концентрации кислоты, а также компенсации неконтролируемого возмущения по расходу рассола во всем диапазоне его изменения предлагается применить прогнозное управление с помощью предиктора Смита [4], позволяющего исключить из модели задержку, тем самым предсказать поведение объекта до появления сигнала на его выходе.

Для доказательства работоспособности предложенного способа проведен сравнительный анализ результатов моделирования двух структур САУ: с предиктором Смита и без, рассмотренной в предыдущей статье. Схемы моделирования приведены на рис.2.

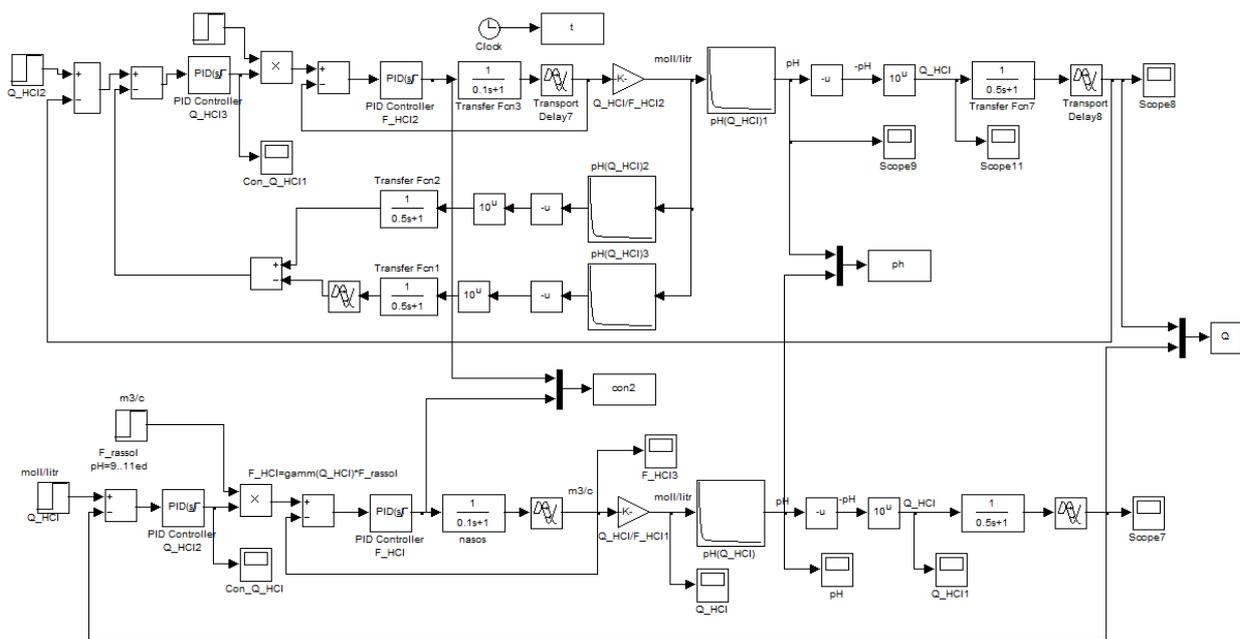


Рисунок 2 – Схема моделирования САУ величиной рН с предиктором Смита и без него

Из переходных характеристик, приведенных на рис.3, рис.4 требуемый уровень рН раствора в 1,8 ед. соответствует концентрации кислоты 0,03 моль/литр. При изменении расхода рассола в момент времени 70 с на 0,02 м³/с процессы по концентрации кислоты и уровню рН в системе без предиктора носят колебательный характер, затухают через 30 с. Результаты в систем с предиктором обеспечивают компенсацию возмущения за 10 с с нулевой статической ошибкой, что в три раза меньше по сравнению с системой без прогнозного управления. При чем перерасход соляной кислоты составляет всего 0,004 м³/с (рис. 5).

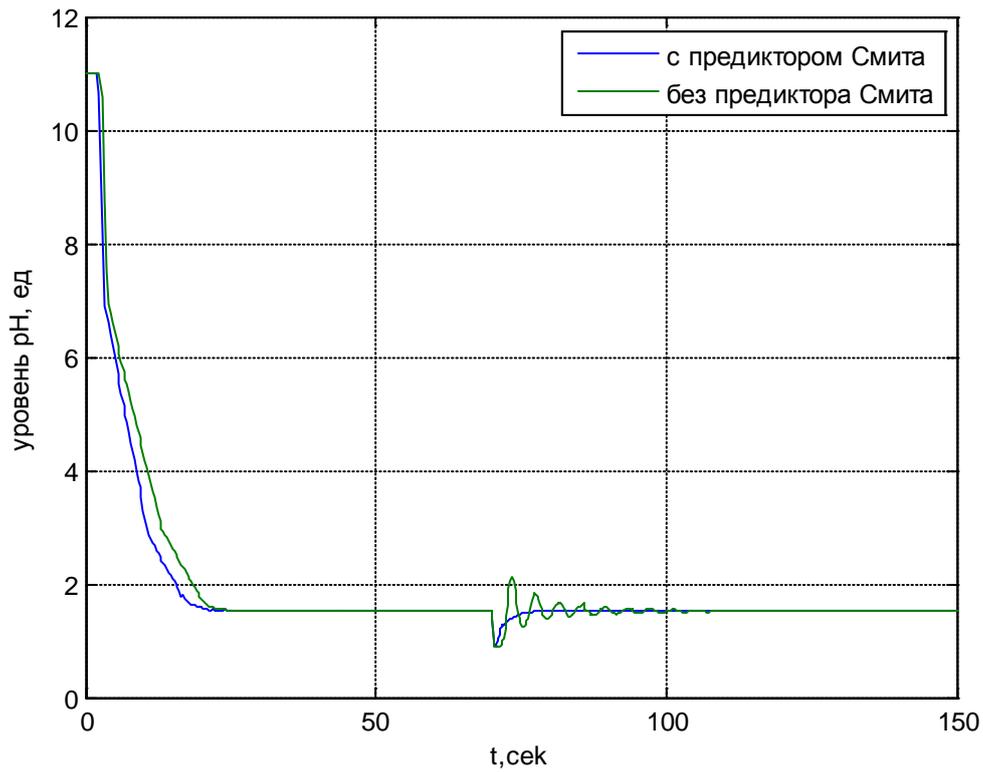


Рисунок 3 – Переходные характеристики уровня рН

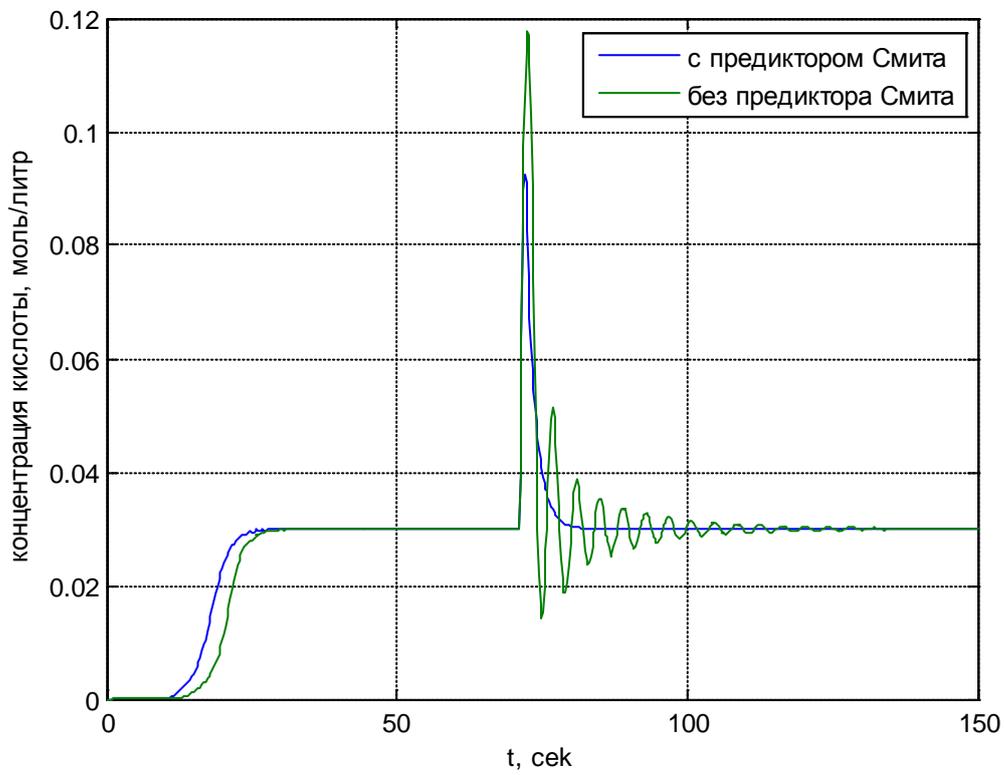


Рисунок 4 – Переходные характеристики концентрации кислоты

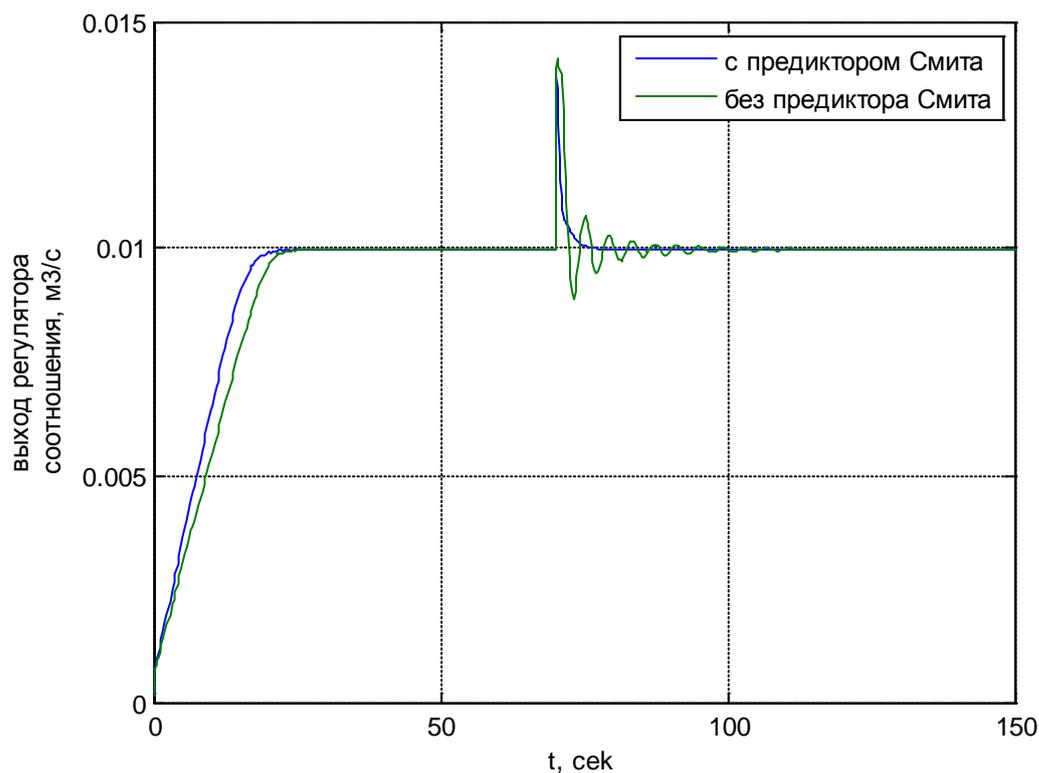


Рисунок 5 – Переходные характеристики расхода кислоты

Как было сказано выше, имеет смысл выполнить сравнительный анализ динамики системы с прогнозным управлением и без него при граничном изменении расхода рассола, технологически возможном. На рис.6, рис.7 приведены переходные характеристики уровня рН, концентрации кислоты и ее расхода в соотношении с расходом рассола при ступенчатом изменении возмущения по расходу рассола на $0,2 \text{ м}^3/\text{с}$.

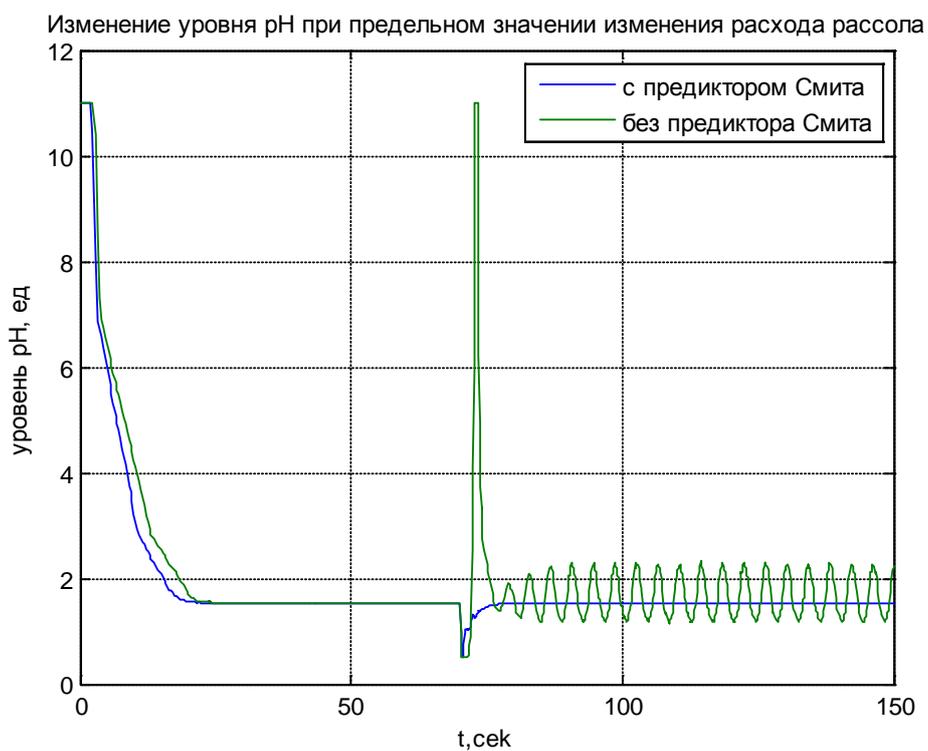


Рисунок 6 – Переходные характеристики уровня рН

Конечно, в реальных условиях функционирования системы управления изменение расхода рассола не может быть ступенчатым, но с точки зрения проверки работоспособности предиктора Смита, а также проверки расчета настроечных параметров регуляторов в двух контурах, имеет смысл выполнить анализ динамики САУ в таких жестких условиях.

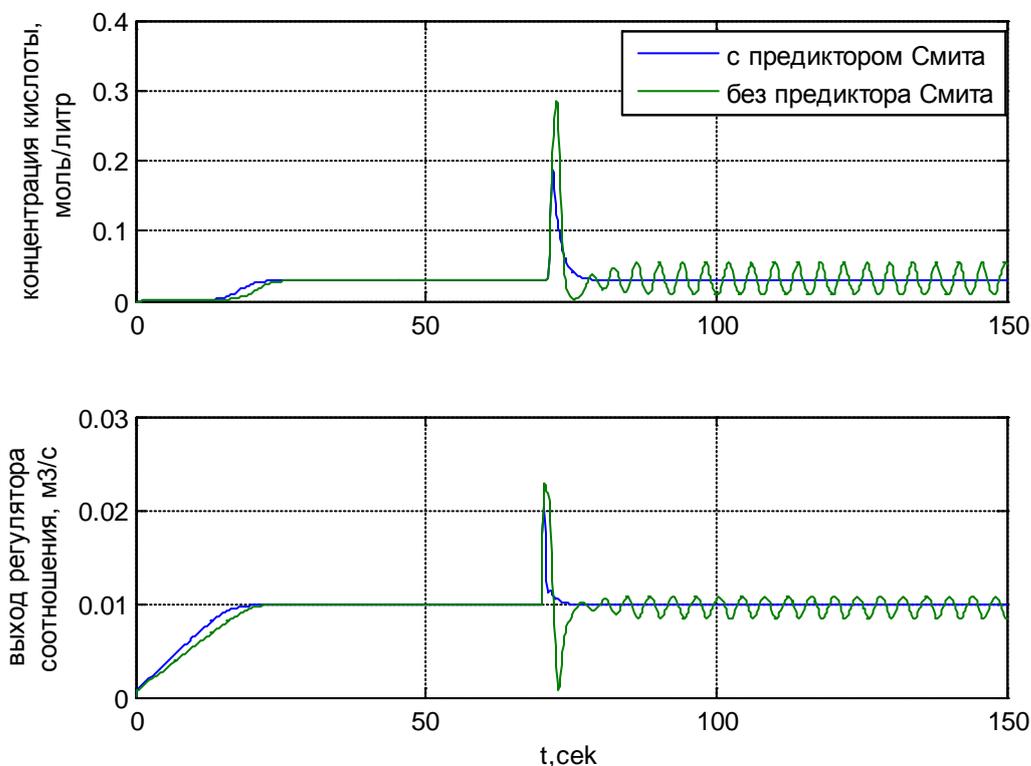


Рисунок 7 – Переходные характеристики концентрации и расхода кислоты

Из рис.6, рис.7 видно, что система с отсутствием прогнозного управления обладает инерционно-колебательными свойствами, предельные значения возмущения не компенсирует, соответственно задачу стабилизации не решает. Система с предиктором Смита справляется с задачей высокой точности регулирования даже при ступенчатых набросах по расходу рассола за минимальное время 10 с за счет допустимого перерасхода соляной кислоты на $0,1 \text{ м}^3/\text{с}$. При этом переходной процесс по уровню pH свидетельствует о высокой статической и динамической устойчивости и точности.

Перечень ссылок

1. Жукова Н.В., Хачиков А.А. Система автоматического регулирования Автоматизация технологических объектов и процессов. /Сборник научных трудов XV Международной научно-технической конференции аспирантов и студентов «Поиск молодых.» в г. Донецке 20-22 мая 2015 г. - Донецк, ДонНТУ, 2015. – 267 с., С.203-207.
2. Жукова Н.В., Хачиков А.А. Исследование динамики САУ кислотно-щелочным балансом водных растворов в условиях производства хлора и каустической соды / Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. Сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции в Воронежском государственном лесотехническом университете им. Г.Ф. Морозова (ВГЛТУ) 9-12 ноября 2015 г. № 7 часть 1 (18-1) С.318 – 321.
3. Способ автоматического регулирования величины Ph водных растворов: Патент RU 2284048.
4. ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации. Ч. 1 / Виктор Денисенко // Современные технологии автоматизации. - 2006. - N 4. - С. 66-74.