

Хасанов Равиль Русланович

студент

ГАОУ ВО «АГТУ «Высшая школа нефти»

г. Альметьевск, Республика Татарстан

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКИЙ И СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССОВ КИСЛОТНО-ОСНОВНОЙ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ

***Аннотация:** рассмотрены методы автоматического контроля рН и концентрации компонентов при нейтрализации кислых и щелочных стоков. Представлены химические основы измерений и алгоритм управления с ПИД-регулятором. Показано, что интеграция рН-метров и спектрофотометров обеспечивает экономию реагентов и соблюдение экологических норм.*

***Ключевые слова:** автоматизация нейтрализации, рН-метр, спектрофотометрия, уравнение Нернста, закон Бугера-Ламберта-Бера, кислотно-основное равновесие, дозирование щёлочи.*

В химической технологии и промышленной экологии нейтрализация кислых или щелочных стоков перед сбросом является обязательной операцией. Ручное управление подачей реагента на основе периодического лабораторного анализа приводит к перерасходу либо к недонейтрализации: перерасход увеличивает себестоимость, недонейтрализация создаёт риск превышения ПДК. Решение – автоматизированные системы с непрерывным измерением рН и, при необходимости, спектрофотометрическим контролем состава смеси в потоке, что даёт высокое быстродействие, точность дозирования и исключение человеческого фактора [1; 3].

Химико-аналитическая основа контроля рН базируется на активности ионов водорода: $pH = -\lg a_{H^+} \approx -\lg [H^+]$. Потенциал стеклянного электрода описывается уравнением Нернста [1]: $E = E_0 + (2,303RT / F) \cdot pH$, где R – газовая постоянная, T – температура, F – постоянная Фарадея. При 25 °С угловой коэффициент со-

ставляет 59,16 мВ на единицу рН. Автоматический рН-метр непрерывно передаёт измеренное значение в ПЛК. В агрессивных средах, где стеклянный электрод неприменим, используется спектрофотометрический метод с кислотно-основным индикатором [2]. Константа диссоциации индикатора: $K_a = [H^+][Ind^-] / [HInd]$. Оптическая плотность при максимуме поглощения основной формы определяется по закону Бугера-Ламберта-Бера: $D(\lambda) = \varepsilon_{Ind^-}(\lambda) \cdot [Ind^-] \cdot l$, где l – длина оптического пути. Измерив D и зная начальную концентрацию индикатора, система вычисляет $[H^+]$ и рН без контакта с агрессивной средой.

Стехиометрической основой нейтрализации служит соотношение реагентов. Для реакции $H_2SO_4 + 2NaOH \rightarrow Na_2SO_4 + 2H_2O$ требуется 2 моль щёлочи на 1 моль кислоты. Материальный баланс непрерывного проточного реактора даёт расход дозирующего раствора C_{NaOH} [3]: $q_{NaOH} = (2[H_2SO_4]_{вх} \cdot Q) / C_{NaOH}$, где Q – расход стока, $[H_2SO_4]_{вх}$ – входная концентрация кислоты. Для реальных смесей кислот используют общую титруемую кислотность A (моль экв/л): $q_{NaOH} = (A_{вх} \cdot Q) / C_{NaOH}$. Система измеряет рН на выходе и непрерывно корректирует дозировку.

При наличии смеси сильных и слабых кислот одного рН недостаточно для определения концентраций компонентов. Тогда применяют двухволновую спектрофотометрию с индикатором, имеющим различающиеся спектры кислотной и основной форм. Оптическая плотность на длинах волн λ_1 и λ_2 : $D(\lambda_1) = \varepsilon_1(HInd)[HInd]l + \varepsilon_1(Ind^-)[Ind^-]l$, $D(\lambda_2) = \varepsilon_2(HInd)[HInd]l + \varepsilon_2(Ind^-)[Ind^-]l$. Совместное решение с выражением K_a даёт $[H^+]$. Автоматизированный проточный спектрофотометр с оптоволоконными зондами пересчитывает сигнал в рН и передаёт на насос-дозатор.

Система автоматического управления включает рН-датчик, ПЛК с ПИД-регулятором и дозирующий насос. Ошибка регулирования: $e(t) = рН_{зад} - рН_{изм}(t)$. Сигнал управления: $u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) dt + K_d (de(t)/dt)$. Коэффициенты подбирают по динамике объекта. Для предотвращения перерегулирования вводится нелинейная коррекция: при $рН < 4$ насос максимален, при $рН > 10$ – отключён.

Это предотвращает залповые сбросы, экономит 15–30% NaOH и исключает контакт персонала с агрессивными средами [3]. Таким образом, автоматизированный контроль pH, основанный на уравнениях Нернста, Бугера-Ламберта-Бера и стехиометрии нейтрализации, обеспечивает точное дозирование реагента, стабильный pH очищенных стоков и экологическую безопасность.

Список литературы

1. Бейтс Р. Определение pH: теория и практика / Р. Бейтс. – Л.: Химия, 1972. – 400 с.
2. Карпов Ю.А. Методы автоматического контроля в химической технологии / Ю.А. Карпов, А.П. Савостин. – М.: КолосС, 2010. – 352 с.
3. Отто М. Современные методы аналитической химии / М. Отто. – М.: Техносфера, 2008. – 416 с. EDN QKBWNR