

1. Бондаренко А.Ф. Способ автоматизированного снятия вольт-амперных характеристик полупроводниковых приборов / А.Ф. Бондаренко, Е.А. Ермоленко // Техн. электродинамика. Тем. выпуск "Проблемы современной электротехники". – 2010. – Ч. 2. – С. 126–129.
2. Дирнлей, Дж. Электрические явления в аморфных пленках окислов / Дж. Дирнлей, А. Стоунхэм, Д. Морган // Усп. Физ. наук. – 1974. – Т. 112. – Вып. 1. – С. 83–126.

УДК 621:53.08

## КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ОБРАБОТКИ ЖИДКИХ СРЕД

Воробей Р.И.<sup>1</sup>, Гусев О.К.<sup>1</sup>, Тявловский А.К.<sup>1</sup>, Тявловский К.Л.<sup>1</sup>, Свистун А.И.<sup>1</sup>, Шумский А.Э.<sup>1</sup>, Жуковский П.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Люблинский технический университет, Люблин, Республика Польша

В технологических установках обработки жидких продуктов, и использующих жидкие технологические среды для изменения свойств продукта и санитарной мойки трубопроводов и емкостей, основная информация о состоянии установки содержится в значениях концентрации растворов различных типов, их объема и температуры. Технологическая установка обработки жидких сред образована коммутируемой протяженной (до сотен метров) сетью трубопроводов и накопительных емкостей, по которым перекачиваются растворы различных типов и концентрации. В разные моменты времени по одним и тем же узлам системы могут перекачиваться растворы различных типов с заранее неопределёнными параметрами типа раствора, концентрации, температуры, состава смеси растворов нескольких типов. Результаты идентификации типа раствора и измерения его концентрации используются в системе коммутации потоков жидких сред путем управления состоянием клапанов и насосных станций. Для технологических процессов с использованием жидких сред характерна необходимость реализации контроля в реальном масштабе времени и недопустимость смешивания жидких сред разного типа и/или продукта из-за ошибок управления, что приводит к экономическим потерям, экологическим или техногенным катастрофам.

При измерении концентрации по проводимости раствора, протекающего через какой-либо узел технологической установки требуется идентифицировать тип раствора [1, 2], так как и концентрационная и температурная зависимости от проводимости существенно различаются для разных растворов (рисунок 1). Эта проблема устраняется при использовании односигнальной модели многопараметрических измерений [3] и применении особенностей потенциодинамических характеристик для электродных датчиках, и частотных характеристик жидкостного витка – для трансформаторных датчиков [4]. Однако такое решение пригодно только для контроля чистых растворов и продуктов, но не их смесей, так

как в этом случае отдельный датчик не имеет возможности определить тип формируемой смеси в ходе реакции и долю непрореагировавшего раствора.

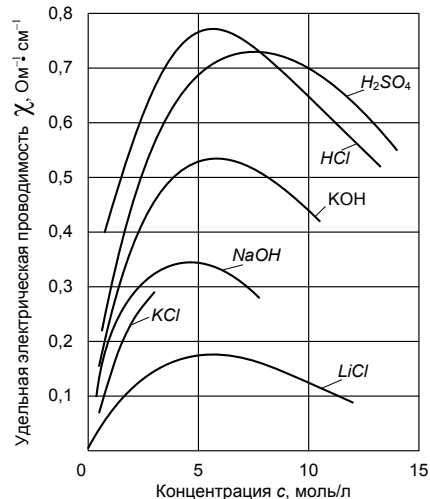


Рисунок 1 – Зависимость удельной электрической проводимости технологических растворов от их концентрации

Тем не менее, и в этом случае представляется возможным определить состояние технологической установки обработки жидких технологических сред. Система контроля установки образована рядом датчиков, установленных в базовых узлах установки, и представляет собой пространственно-распределенную информационную систему. Причем для контроля состояния установки и учета продукта, расхода реагентов и воды применяются расходомеры, а на накопительных емкостях устанавливаются дискретные и пропорциональные датчики уровня жидкости [2]. При передаче этих данных в центральный блок обработки измерительной информации это позволяет определить, например для случая смешения двух растворов в емкости, массы  $m_1$  и  $m_2$  смешиваемых реагентов  $R_1$  и  $R_2$ , собранных из разных частей технологической установки, массовые доли (концентрации) реагентов, массу  $m_3$

вещества  $R_3$ , образовавшегося после реакции, массы  $m_{1,2}$  и  $m_{2,2}$  реагентов  $R_1$  и  $R_2$  после реакции, причем один из реагентов прореагирует полностью, и масса одного из реагентов  $m_{j,2} = 0$ .

Каждый из технологических процессов с применением жидких сред использует ограниченный набор растворов (реагентов) и продуктов с заранее определенными допустимыми концентрациями. Также ограничено и число типов реакций и получаемых растворов в результате смешивания исходных реагентов. Поэтому возможно получение набора зависимостей проводимости прореагировавших смесей от массовой доли веществ подобно таковым зависимостям для чистых растворов (рисунку 1). В результате становится возможно определение состояния установки обработки жидких сред для любых совокупностей растворов и смесей. Однако определение состояния узла установки, содержащего смесь растворов и прореагировавших реагентов, выполняется расчетным методом на основе ряда разнородных измерений концентрации, массы, уровня жидкости, температуры, и, вследствие этого, характеризуется большей погрешностью.

Например, решение задачи нейтрализации отработанных растворов щелочи и кислоты предполагает обеспечение требуемого значения  $pH$ , приведенного к нормальным условиям. При этом функция управления технологической установки описывается выражением

$$pH = f(m_{щ}, C_{щ}, m_{к}, C_{к}, T) \in 7,5 \pm 1,5,$$

где  $m_{щ}$ ,  $m_{к}$  – массы смешиваемых растворов щелочи и кислоты;  $C_{щ}$ ,  $C_{к}$  – массовые доли (концентрации) щелочи и кислоты, %;  $T$  – температура раствора.

Приведенное выражение является моделью показателя  $pH$  результата смешивания водных растворов кислот и щелочей, в которой в качестве информативных параметров выступают величины  $m_{щ}$ ,  $m_{к}$ ,  $C_{щ}$ ,  $C_{к}$ .

Массовые доли щелочи  $C_{щ}$  и кислоты  $C_{к}$  в собранных водных растворах определяются кондуктометрическими концентратомерами, а их массы  $m_{щ}$  и  $m_{к}$  – промышленными расходомерами. На основе полученной измерительной информации осуществляется расчет показателя  $pH$  смеси или других параметров смешиваемых растворов, необходимых для автоматического управления достижением заданного значения  $pH$ .

При этом результирующая погрешность измерений показателя  $pH$  смеси растворов щелочи и кислоты объединяет четыре составляющие, соответствующие четырем измерительным каналам системы

$$\Delta pH = \Delta C_{к} * \Delta m_{к} * \Delta C_{щ} * \Delta m_{щ}$$

На рисунке 2 графически представлены результаты численного расчета допустимых зна-

чений погрешностей измерений концентраций  $\Delta C_{к}$  и  $\Delta C_{щ}$  при различных значениях  $m_{к}$ ,  $m_{щ}$  для одного из практически важных случаев нейтрализации стоков растворов азотной кислоты  $HNO_3$  ( $M_{к} = 63$ ) и едкого натра  $NaOH$  ( $M_{щ} = 40$ ), используемых при санитарной обработке технологического оборудования, трубопроводов и стеклянной тары предприятиями пищевой промышленности. Рабочие растворы кислоты и щелочи в этих применениях имеют концентрации от 0,8 до 1,5 %. Исходя из нормативных требований к стокам промышленных предприятий, моделирование проведено для  $pH = 7,5$ ,  $\Delta pH = 1,5$  и температуры 25 °С.

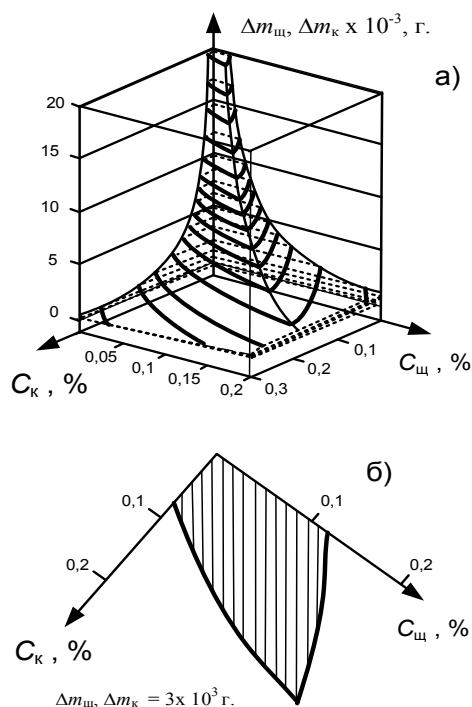


Рисунок 2 – Изменение области допустимых значений  $C_{к}$  и  $C_{щ}$ , при различных значениях предела допустимого значения абсолютной погрешности измерений масс  $m_{к}$ ,  $m_{щ}$

Значение нормируемой погрешности измерения концентраций  $C_{к}$  и  $C_{щ}$  должно соответствовать координате плоскости, перпендикулярной оси  $C_{к}$ ,  $C_{щ}$  и расположенной по погрешности ниже обеих поверхностей  $C_{к}(m_{к}, m_{щ})$  и  $C_{щ}(m_{к}, m_{щ})$  одновременно. Сечение поверхностей указанной плоскостью ограничивает область допустимых значений величин  $m_{к}$ ,  $m_{щ}$ , при которых возможна реализация метода контроля показателя  $pH$  с заданной точностью.

1. Худякова Т. А., Крешков А. П. Теория и практика кондуктометрического и хронокондуктометрического анализа / Под общей редакцией А. П. Крешкова. – М.: Химия, 1976. – 304 с.
2. Брусиловский Л. П., Вайнберг А. Я. Приборы технологического контроля в молочной про-

- мышленности: Справочник. – М.: Агропромиздат, 1990. – 288 с
3. Гусев, О.К. Методология и средства измерений параметров объектов с неопределенными состояниями / О.К. Гусев [и др.]; под общ. ред. О.К. Гусева. – Минск: БНТУ, 2010. – 582 с.
  4. Гусев О.К. Идентификация растворов в технологических трубопроводах на основе явления динамической поляризации // Измерительная техника. – 2004. – № 7. – С. 60 – 62.