

УДК 621:53.08

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНО ДОСТИЖИМОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ КОНЦЕНТРАЦИИ И ТИПА РАСТВОРА

Воробей Р.И.¹, Гусев О.К.¹, Тявловский А.К.¹, Тявловский К.Л.¹, Свистун А.И.¹, Колтунович Т.Н.²¹Белорусский Национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

²Люблинский технический университет

Люблин, Польша

Измерительные преобразователи, используемые в производственных процессах с жидкими технологическими средами, должны обеспечивать различную погрешность измерения концентрации и достоверность определения типа раствора в зависимости от конкретных задач контроля. Проведение операций контроля параметров жидких сред с требуемой погрешностью невозможно без использования интеллектуальных измерительных преобразователей, самостоя-

тельно принимающих решения о режиме и диапазоне измерений, способе компенсации погрешности от совокупности внешних факторов, характерных для выбранного режима измерения [1]. Главной метрологической характеристикой концентратометров является основная погрешность измерения концентрации. Метрологическая модель кондуктометрического концентратометра представлена на рисунке 1.

Входными сигналами в данной схеме явля-

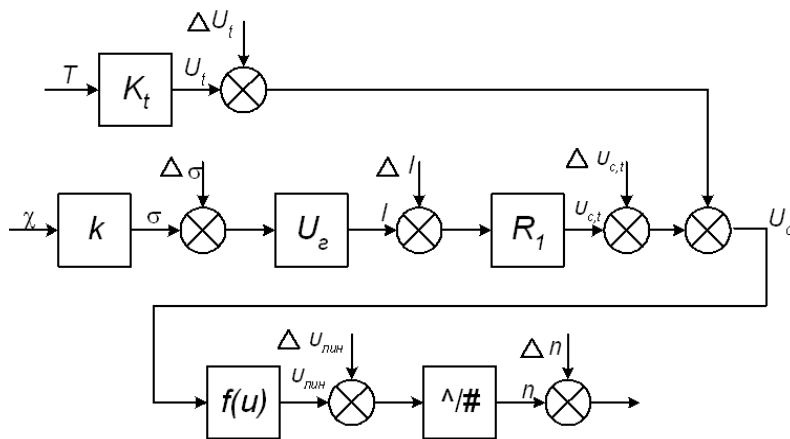


Рисунок 1 – Метрологическая модель информационного канала измерения концентрации

ются удельная электрическая проводимость (УЭП) раствора χ и его температура T . Кондуктометрическая ячейка, имеющая постоянную k , преобразует УЭП χ в абсолютную проводимость среды σ между электродами ячейки. При этом за счет погрешностей изготовления ячейки в результате преобразования вносится мультипликативная погрешность $\Delta\sigma = \delta_\sigma \cdot \sigma$. Выходным сигналом кондуктометрической ячейки является сила тока I , определяемая как произведение проводимости σ на напряжение возбуждающего генератора U_2 . Возбуждающий генератор является вторым звеном в схеме прямого преобразования. Погрешность напряжения U_2 вносит в результат преобразования мультипликативную погрешность $\Delta I = \delta_I \cdot I$, которая включает в себя как систематическую, так и случайную составляющие. Третьим звеном схемы является преобразователь ток-напряжение R_1 . При этом в результате преобразования вносится погрешность $\Delta U_{c,t}$, связанная с погрешностью настройки коэффициента преобразования,

дрейфом нуля, шумами преобразователя и т. д. Поскольку проводимость раствора связана не только с его концентрацией C , но и с температурой t° , в результате преобразования $U_{c,t}$ вносится поправка U_t на температуру раствора, которая содержит погрешность преобразования температуры ΔU_t . Основная погрешность измерения, как правило, нормируется в целом, без разделения на систематическую и случайную составляющие. При выделении случайной составляющей основной погрешности ее нормируют путем установления предела допускаемого среднеквадратического отклонения.

Коррекция измерительного сигнала проводимости раствора проводится как по температуре, так и по типу раствора, причем при проведении измерений в технологических трубопроводах это требуется выполнять автоматически [2]. Для рассмотрения вопроса о возможности обеспечения идентификации типа растворов с порогом концентрации растворов не более 0,005 %, необходим анализ структурной схемы преобразования

сигналов в процедуре измерений. На рисунке 2 приведена модель преобразователя анализатора

типа раствора кислота-щелочь. Преобразователи

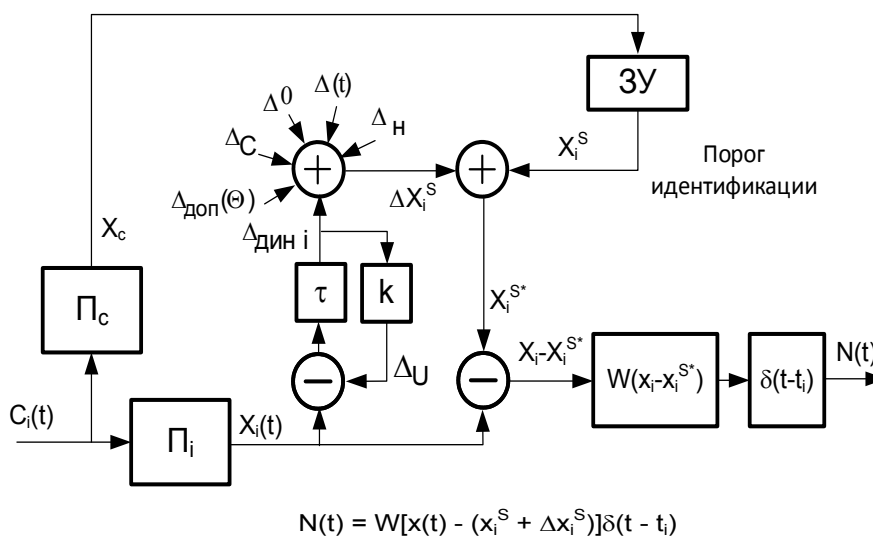


Рисунок 2 – Метрологическая модель информационного канала определения типа раствора

Π_c и Π_i осуществляют преобразование входной величины – концентрации раствора C_i типа i (кислота или щелочь) в два информационных сигнала. Первый сигнал X_c содержит информацию о концентрации раствора C_i , а второй сигнал X_i – о его типе i . Под действием сигнала X_c в запоминающем устройстве ЗУ выбирается пороговое значение сигнала типа раствора. Результат сравнения сигнала X_i с этим значением является критерием принадлежности исследуемого раствора к одному из возможных типов. Значение X_i^S является установленным пороговым значением сигнала идентификации типа раствора и однозначно связано с пороговым значением концентрации идентифицируемых растворов C^S .

В общем случае установленное пороговое значение X_i^S является случайной величиной. Это отражено на схеме введением эквивалентного сигнала ΔX_i^S , представляющего собой приведенную ко входу компаратора погрешность порогового значения сигнала идентификации типа раствора. Эта погрешность объединяет в общем случае множество составляющих. Таким образом, реальное пороговое значение сигнала идентификации составляет $X_i^{S*} = X_i^S + \Delta X_i^S$. Указанное реальное пороговое значение X_i^{S*} вместе с сигналом типа раствора X_i поступают на вход компаратора W (моделируемого единичной ступенчатой функцией) для определения типа раствора по значению результата преобразования $W(X_i - X_i^{S*})$. В рассмотренной схеме анализатора типа раствора введён канал установления порогового сигнала X_i^S , зависящего от концентрации исследуемого раствора. Это позволяет осуществлять управление установленным пороговым значением сигнала типа раствора в диапазоне, определяемом однозначной связью сигналов концен-

трации и типа раствора. Диапазон регулирования порогового значения концентрации идентифицируемых растворов определяется на основе экспериментальных исследований и оценки достоверности выработки сигналов идентификации при достижении концентрацией установленных значений.

Результат измерений концентрации в современных приборах представляется в цифровом виде. Следовательно, последним звеном измерительного преобразователя является аналого-цифровой преобразователь, формирующий цифровой код n . Этот код содержит аддитивную погрешность квантования Δn , распределенную по равномерному закону. Исходя из модели канала измерения концентрации неисключенная систематическая составляющая основной погрешности измерений определяется погрешностью используемого при градуировке рабочего эталона концентрации, тогда как случайная составляющая погрешности зависит от СКО случайной составляющей погрешности преобразователя концентрации и количества многократных измерений n . Предел центрированной погрешности дискретизации АЦП, носящей случайный характер и распределенной равномерно, составляет 0,5 единицы младшего разряда. СКО равномерно распределенной случайной составляющей погрешности оценивается величиной

$$S_{\text{АЦП}} = \frac{\Delta_{\text{АЦП}}}{\sqrt{3}}$$

Это предельное значение СКО случайной составляющей погрешности, которое не может быть превзойдено без изменения разрядности АЦП.

1. 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.
2. Гусев О.К. Идентификация растворов в технологических трубопроводах на основе явления динамической поляризации // Измерительная техника. – 2004. – № 7. – С. 60-62.

УДК 621.039

ИЗМЕРЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ И НАПРАВЛЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ СКОРОСТЕЙ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В МОДЕЛЯХ ТОПЛИВНЫХ СБОРОК ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ С ПОМОЩЬЮ ПЯТИКАНАЛЬНОГО ПНЕВМОМЕТРИЧЕСКОГО ЗОНДА

Дмитриев С.М., Добров А.А., Легчанов М.А., Хробостов А.Е.

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева
Нижний Новгород, Российская Федерация

Повышение интенсивности перемешивания в тепловыделяющих сборках (ТВС) ядерных реакторов с водой под давлением приводит к выравниванию локальных свойств теплоносителя, тем самым уменьшая влияние факторов местного перегрева. Это говорит о том, что разработка интенсификаторов тепло- и массообмена является важной инженерной задачей при конструировании новых и модернизации существующих ТВС. В качестве таких интенсификаторов, например, могут применяться дополнительно установленные перемешивающие решетки, снабженные турбулизирующими дефлекторами. Такие устройства создают направленный конвективный поперечный перенос массы теплоносителя. В то же время форма и угол отгиба дефлекторов влияют как на интенсивность перемешивания, так и на гидравлическое сопротивление решетки. Поэтому представление о степени влияния геометрии дефлекторов на гидродинамические характеристики теплоносителя весьма важно для проведения достоверного теплогидравлического расчета активной зоны и обоснования эффективности таких решеток [1].

В лаборатории «Реакторная гидродинамика» НГТУ им. Р.Е. Алексева (Россия, Нижний Новгород) проводятся исследования локальной гидродинамики и массообмена теплоносителя в моделях фрагментов ТВС и активных зон ядерных реакторов. Для этих целей создан экспериментальный стенд [2], представляющий собой разомкнутый аэродинамический контур, в состав которого включаются экспериментальные модели ТВС.

Моделирование течения водяного теплоносителя воздухом, а также использование увеличенных моделей, позволяет достичь высоких значений чисел Рейнольдса при относительно невысоких скоростях и не требует учета сжимаемости воздушного потока. При этом, используя положения теории подобия, результаты исследования гидродинамических характеристик, представленные в безразмерной форме, могут быть

перенесены на натурные условия течения теплоносителя. Кроме того, выбор воздуха в качестве рабочей среды позволил применить достаточно простые и информативные пневмометрические методы измерения скорости. Одним из таких методов является использование многоканального пневмометрического зонда. Проведя предварительную тарировку, по информации об измеренных значениях давления в приемных отверстиях зонда можно восстановить три компоненты вектора скорости, а также значения полного и статического давления в исследуемой точке.

В НГТУ им. Р.Е. Алексева была разработана конструкция зонда для измерения вектора скорости в моделях ТВС активных зон ядерных реакторов. Чувствительная часть зонда представляет собой пять стальных капилляров, расположенных в двух перпендикулярных друг другу диаметральных плоскостях (рисунок 1).

При проведении исследований использовалась методика измерения вектора скорости неподвижным многоканальным пневмометрическим зондом с предварительной тарировкой его в аэродинамической трубе. При тарировке зонда необходимо записать значения давлений в его приемных отверстиях, а также значения статического и полного давления в точке измерения для каждой комбинации углов установки зонда при заранее установленной скорости.



Рисунок 1 – Пятиканальный пневмометрический зонд