

# Информатика и информационные технологии

УДК 004.67: 004.023

## ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ДАННЫХ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТОДАМИ ИНВЕРСИОННОЙ ХРОНОПОТЕНЦИОМЕТРИИ

**И.В. Суровцев**

*Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем НАН Украины и МОН Украины*

Рассматривается новая информационная технология измерения концентрации токсичных элементов, которая позволяет повысить чувствительность и достоверность определения концентрации элементов в растворе методами инверсионной хронопотенциометрии. Перед началом анализа выполняется целенаправленное преобразование структуры данных измерения, которое состоит из гистограммной цифровой фильтрации и дифференцирования обратного сигнала. Полученный сигнал рассматривают как линейную сумму моделей, которые описываются функциями нормального распределения. Созданная информационная технология имеет универсальный характер и может быть применена для анализа сигналов различной природы, в которых значения монотонно возрастают или убывают.

**Ключевые слова:** преобразование структуры данных, методы инверсионной хронопотенциометрии, моделирование, информационная технология.

Розглядається нова інформаційна технологія вимірювання концентрації токсичних елементів, яка дозволяє збільшити чутливість та достовірність визначення концентрації елементів у розчині методами інверсійної хронопотенціометрії. Перед початком аналізу виконується цілеспрямоване перетворення структури вихідних даних вимірювання, яке складається з гистограмної цифрової фільтрації та диференціювання зворотного сигналу. Одержаний сигнал розглядають як лінійну суму моделей, які описуються функціями нормального розподілу. Створена інформаційна технологія має універсальний характер та може бути застосована для аналізу сигналів різної природи, в яких значення монотонно збільшуються або зменшуються.

**Ключові слова:** перетворення структури даних, методи інверсійної хронопотенціометрії, моделювання, інформаційна технологія.

## ВВЕДЕНИЕ

Оценку состояния окружающей среды производят путем постоянного экологического мониторинга отдельных ее объектов. Одним из факторов экологической безопасности является определение в них концентрации ряда токсичных элементов (ртуть, мышьяк, свинец, кадмий и др.). Их величина для каждого объекта нормируется законодательными актами в виде предельно допустимых концентраций (ПДК).

Концентрацию элементов определяют различными физико-химическими методами анализа. Наиболее чувствительными являются электрохимические способы исследований — вольтамперометрические и хронопотенциометрические методы, которые позволяют определять микроконцентрации (следы) токсичных элементов. По сравнению с вольтамперометрическим анализом использование методов инверсионной хронопотенциометрии (ИХП) позволяет значительно проще реализовать их технически, увеличить чувствительность, повторяемость и надежность измерений. Теоретическое обоснование использования метода ИХП в Украине было заложено академиком Скобцом Е.М. [1], большой вклад в развитие метода внесли Карнаухов А.И., Копилевич В.А., Галимова В.М. и др. [2]. Методы ИХП получили широкое распространение в практике аналитических исследований у нас в стране и за рубежом.

Суть измерения концентрации методом ИХП состоит в следующем. На объекте окружающей среды отбирают пробу и подготавливают ее к анализу в виде раствора пробы. Для измерения используют электрохимическую ячейку (стаканчик, установленный на магнитную мешалку, в который опускают измерительный и вспомогательный электрод). Для каждого элемента сначала в фоновом растворе (Фон), затем в растворе пробы (Проба) определяют время инверсии или выхода ионов из измерительного электрода после их предварительного концентрирования при перемешивании. В раствор пробы добавляют известную массу стандартного иона исследуемого элемента и снова определяют время инверсии в растворе (Добавка). По найденным величинам времени инверсии, которое прямо пропорционально концентрации ионов элемента в растворе пробы, и параметрам анализируемой пробы определяют значения концентрации токсичного элемента в объекте окружающей среды.

## **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**

Основной количественной величиной, определяемой по исходному сигналу методом ИХП, является время инверсии анализируемого элемента, а качественной — диапазон изменения потенциалов инверсии в выбранном растворе фонового электролита. Для проведения анализа подбираются такие электрохимические переменные измерения, чтобы исключить или уменьшить влияние на сигнал других элементов и более точно определить время инверсии. При выполнении анализа реальных объектов исходный сигнал представляет собой интегральную сумму многокомпонентного измерения, где каждый компонент представляет собой процесс инверсии отдельного элемента.

Непосредственное измерение времени инверсии по исходному сигналу по точкам перегиба возможно только для больших концентраций элементов — больших, чем 1 мкг/мл в растворе пробы [1]. Иной способ определения времени инверсии был предложен Цепковым Г.В. и др. [3]. Согласно этому способу исходный сигнал последовательно превращался в разнополярные прямоугольные и единичные по амплитуде импульсы, продолжительность которых пропорциональна концентрации ионов в

растворе. Проверка на практике показала, что таким способом можно определять концентрацию не ниже 0,1 мкг/мл. Технические и математические сложности непосредственного измерения времени по сигналу долгое время тормозило использование метода ИХП на практике, поскольку необходимо было выполнять измерение концентраций на уровне ниже ПДК, порядка 0,001 мкг/мл. Таким образом, определение времени инверсии отдельных компонентов непосредственно из исходного сигнала или невозможно, или приводит к большим погрешностям измерений. С появлением персональных компьютеров решение этой проблемы стало возможным благодаря предварительному считыванию всего исходного сигнала инверсии в память и дальнейшей его обработке.

Одним из эффективных приемов решения технических задач анализа сложных многомерных данных или многокомпонентных сигналов является использование индуктивных методов теории редукции, позволяющих преобразовать структуру данных и значительно упростить их. Индуктивные методы лежат в основе решения практически всех задач экстраполяции, таких как задачи обучения распознавания образов, восстановления функций, косвенных измерений, прогноза и обнаружения закономерностей, а теория редукции позволяет указать на условия, при которых гарантируются качество и надежность решения этих задач.

Наиболее весомый вклад в создание и развитие теории редукции принадлежит профессору Васильеву В.И. [4]. Дальнейшие исследования учеников созданной им научной школы были направлены на развитие и практическое использование теории редукции при решении технических и экономических задач [5].

Согласно основному принципу этой теории необходимо предварительно сформировать такое пространство координат, в котором разделение на образы или компоненты происходит наиболее явно. Нужно стремиться к предельному упрощению информации, полученной в процессе наблюдения, ее сокращению и линеаризации, оставляя только то, что способствует решению задачи. Так, при решении многомерных задач такой подход позволяет снизить размерность пространства и выбрать наиболее существенные признаки, позволяющие решить поставленную задачу.

Анализ проблемы определения концентрации элементов методами инверсионной хронопотенциометрии показал, что исходный сигнал, который представляет собой интегральную сумму потенциалов инверсии компонентов измерения во времени, необходимо предварительно преобразовать в более простой вид. Для этого нужно осуществить целенаправленную редукцию структуры данных, т.е. такое преобразование системы координат, которое позволит представить исходный сигнал в виде линейной суммы отдельных компонентов измерения. Построив математическую модель отдельного компонента, можно по ней более качественно определить значение времени инверсии элемента, а следовательно, гораздо точнее подсчитать значение концентрации анализируемого элемента в пробе объекта.

Такая последовательность преобразования структуры исходных данных и построения математических моделей инверсии отдельных компонентов измерения дала бы возможность существенно увеличить чувствительность,

точность и повторяемость определения концентрации токсичных элементов методами инверсионной хронопотенциометрии.

**Цель работы** — создать информационную технологию измерения концентрации токсичных элементов методами ИХП, которая позволит существенно увеличить чувствительность и надежность определения следовых значений массовой концентрации токсичных элементов в жидких пробах разных объектов окружающей среды.

### ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЖИДКИХ ПРОБАХ

Общая последовательность обработки исходных данных в информационной технологии (ИТ) измерения концентрации методами ИХП может быть представлена в следующем виде:

*Этап I.* Преобразование структуры исходных данных.

*Этап II.* Моделирование отдельных компонентов и определение времени инверсии.

*Этап III.* Расчет значения концентрации анализируемого элемента.

Для рассмотрения особенностей выполнения последовательности обработки данных в ИТ измерения концентрации используем в качестве примера измерение значения концентрации меди в реальном растворе пробы способом добавки стандартного образца ионов меди методом ИХП. Для этого выполним измерение сигналов Фона, Пробы и Добавки. Результаты трех измерений представлены на рис. 1.

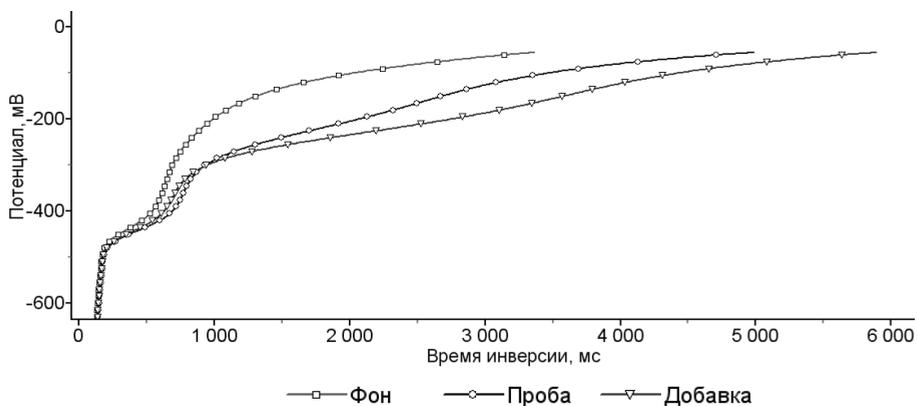


Рис. 1. Измерение потенциалов инверсии меди в присутствии ионов свинца

Прокомментируем результаты измерений:

- в сигнале Фона обнаружены ионы свинца (в диапазоне от -500 мВ до -350 мВ), которые практически повторяются в сигналах Пробы и Добавки;
- в сигнале Фона ионы меди (в диапазоне от -350 мВ до -100 мВ) практически отсутствуют, но имеются в сигнале Пробы и выросли после добавки стандартного образца ионов меди в Добавке.

Анализ внешнего вида исходных сигналов на рис. 1 подтверждает значительную сложность непосредственного измерения времени инверсии отдельных компонентов.

## Этап I. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Пусть исходный сигнал  $f(t)$ , поступающий от измерительного и вспомогательного электрода, представляет собой интегральную сумму последовательного измерения потенциалов инверсии отдельных компонентов во времени.

Выполним преобразование системы координат исходных данных, которое позволит представить исходный сигнал в виде линейной суммы отдельных компонентов измерения инверсии, в такой последовательности:

- исходный сигнал  $f(t)$  очищают от шумов измерения методом цифровой фильтрации [6] и сглаживают для получения монотонного возрастающего сигнала;
- сигнал  $f(t)$  преобразуют в обратный сигнал  $t(f)$  с шагом дискретизации  $\Delta f$ ;
- обратный сигнал  $t(f)$  дифференцируют и получают сигнал интенсивности  $dt/df$  по потенциалу  $f$ .

Таким образом, преобразование структуры данных состоит в изменении системы координат

$$(f, t) \rightarrow (dt/df, f). \quad (1)$$

Полученный сигнал интенсивности времени изменения потенциала  $dt/df$  по потенциалу  $f$  для нашего примера представлен на рис. 2.

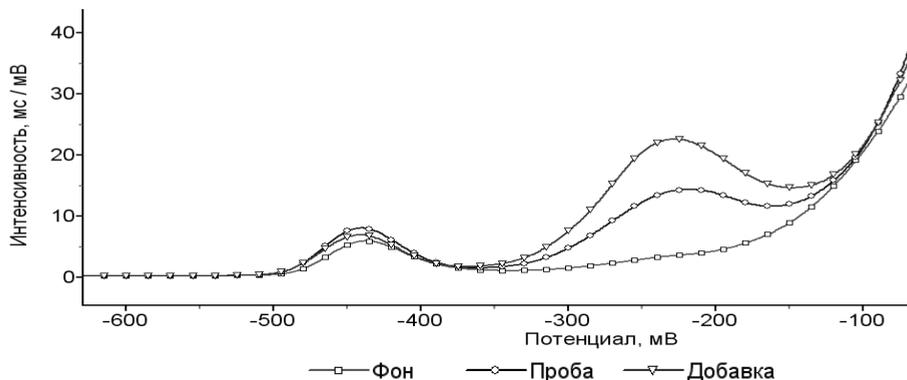


Рис. 2. Интенсивность изменения потенциалов

## Этап II. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ИНВЕРСИИ

После выполнения преобразования структуры исходных данных сигнал интенсивности представляет собой линейную сумму компонентов измерения инверсии.

Время инверсии измерения каждого элемента определяется как площадь отдельного компонента сигнала интенсивности  $\Delta T(f)$  в диапазоне его измерения:

$$t_j = \int_{f_{1j}}^{f_{2j}} \Delta T(f) df = \sum_{i=f_{1j}}^{f_{2j}} \Delta T(f_i), \quad (2)$$

где  $t_j$  — время инверсии;  $f_{1j}, f_{2j}$  — значения потенциалов диапазона измерения  $j$ -го компонента.

Для более точного определения времени инверсии измерения элемента каждый отдельный компонент сигнала интенсивности описывают в виде математической модели. Основная цель моделирования — наиболее точное определение значения времени инверсии (площади сигнала интенсивности), по которому будет вестись расчет концентрации элемента. Компонент сигнала интенсивности аппроксимируют подходящей функцией, исходя из индуктивных предположений и опыта разработчика.

Как показали исследования, компоненты интенсивности хорошо описываются функциями нормального распределения с разными дисперсиями [7]. В случае тесной взаимосвязи моделей компонентов в сигнале интенсивности, как в нашем примере, используют итерационную процедуру синтеза моделей для разделения суммы пересекающихся компонентов.

Точность построения каждой модели контролируют по значению среднеквадратической ошибки аппроксимации. Оценку точности моделирования всего сигнала интенсивности осуществляют следующим образом:

- определяют модельную интегральную сумму сигнала  $t_m(f)$  (последовательным суммированием компонент);
- сигнал  $t_m(f)$  преобразуют в обратный модельный сигнал  $f_m(t)$ ;
- считают, что процесс моделирования удовлетворительный, если выполняется условие

$$\max |f_m(t) - f(t)| < \varepsilon, \quad (3)$$

где  $\varepsilon$  — заданный критерий качества.

### Этап III. РАСЧЕТ ЗНАЧЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ АНАЛИЗИРУЕМОГО ЭЛЕМЕНТА

Для определения значения массовой концентрации элемента методами ИХП отбирают пробу объекта окружающей среды и готовят жидкую пробу к анализу. Вначале выполняют измерение времени инверсии Фона ( $t_\phi$ ), а затем Пробы ( $t_\Pi$ ). К жидкой пробе добавляют известную массу добавки стандартного образца ионов элемента  $m$  и измеряют время инверсии пробы с Добавкой ( $t_D$ ). Согласно данной технологии возможно использование до 5 добавок стандартного образца ионов элемента. Время инверсии Фона ( $t_\phi$ ), Пробы ( $t_\Pi$ ) и Добавки ( $t_D$ ) уточняют по линейному графику изменения массы ионов в растворе методом наименьших квадратов, что существенно при многократных измерениях Фона, Пробы и нескольких Добавках.

Зная отобранный объем пробы объекта ( $V_0$ ), общий объем раствора подготовленной пробы ( $V_1$ ), объем раствора пробы взятый для анализа ( $V_2$ ),

определяют массовую концентрацию элемента  $\rho$  (мг/дм<sup>3</sup>) в объекте окружающей среды по формуле:

$$\rho = \frac{t_{II} - t_{\Phi}}{t_{Д} - t_{II}} \cdot m \cdot k, \quad (4)$$

где  $k$  — переводной коэффициент, см<sup>-3</sup> (для расчета концентрации элемента в пробе объекта по значению его концентрации в электрохимической ячейке), который рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{V_1}{V_2 \cdot V_0}. \quad (5)$$

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ЭТАПОВ ИТ В АНАЛИЗАТОРАХ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ**

Одновременно с техническим воплощением отдельных этапов описанной ИТ в реальных системах измерения концентрации развивались общие подходы и формировался специализированный базовый пакет программ «ТС-ПО», обеспечивающий решение ряда задач обработки сигналов измерения: цифровой фильтрации данных [6], сглаживания, восстановления (интерполяции), аппроксимации и моделирования [7].

Так, был разработан целый ряд приборов определения концентрации тяжелых металлов: «Хронополярограф», «Анализатор ТМ», «МА-1020», «М-ХА1000». Эти приборы не запоминали исходный сигнал инверсии в памяти, а обрабатывали его по мере поступления с автоматическим формированием сигнала интенсивности гистограммным способом. Они позволяли определять концентрацию 4 тяжелых металлов с чувствительностью 0,01 мкг/мл.

На основе пакета программ «ТС-ПО» был разработан и серийно выпускается анализатор солей тяжелых металлов «М-ХА1000-5». Этот анализатор выполняет измерение 5 тяжелых металлов (свинец, кадмий, цинк, медь и олово) с чувствительностью 0,001 мкг/мл, но без математического моделирования сигнала интенсивности. Более 300 этих приборов используются в аналитических лабораториях СЭС МЗ Украины и в других лабораториях, выполняющих экологический мониторинг окружающей среды.

## **ПРИМЕНЕНИЕ РАЗРАБОТАННОЙ ИТ В ПРИБОРАХ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ**

Накопленный опыт использования ИТ измерения концентрации токсичных элементов в реальных объектах дал возможность автору создать три принципиально новых электрохимических метода анализа и разработать конструкции приборов для их реализации, что значительно расширило возможности анализа базового метода ИХП:

- метод импульсной хронопотенциометрии (ИИХП), патент на конструкцию устройства стал победителем конкурса Украины «Винахід-

2011» в химико-технологической отрасли [8];

- метод окислительной импульсной хронопотенциометрии (ОИХП) [9];
- метод дифференциальной импульсной хронопотенциометрии (ДИХП) [10].

Техническую реализацию трех новых методов анализа ИИХП, ОИХП, ДИХП и базового метода ИХП объединено в одной конструкции прибора «Анализатор ИХП», который был разработан в Международном научно-учебном центре информационных технологий и систем НАН Украины и МОН Украины.

Созданный анализатор позволяет определять содержание 14 токсичных элементов в растворе пробы в следующих диапазонах измерения массовой концентрации: ртути — от 0,0001 мкг/мл до 0,1 мкг/мл; мышьяка, свинца, кадмия, цинка, меди, никеля, кобальта — от 0,001 мкг/мл до 1,0 мкг/мл; олова, марганца, селена, йода, хрома, железа — от 0,01 мкг/мл до 1,0 мкг/мл. Для этих элементов Национальным университетом биоресурсов и природопользования Украины с участием автора были разработаны и утверждены четыре Методики выполнения измерения в питьевых, природных и сточных водах, а также в почве. «Анализатор ИХП» уже используется в научных лабораториях университетов и институтов.

Преобразование системы координат исходных данных, которое применяется в описанной ИТ, позволило разделить сигнал на отдельные компоненты и представить их в виде линейной суммы, а использование математических моделей для многокомпонентных растворов дало возможность устранить субъективный фактор при ручном определении границ диапазона отдельных компонентов в сигнале интенсивности, что увеличило точность и повторяемость измерений концентрации.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЗДАННОЙ ИТ В ДРУГИХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ИЗМЕРЕНИЙ**

Предложенная ИТ преобразования структуры исходных данных и моделирования компонентов сигнала интенсивности, а также базовый пакет программ «ТС-ПО» были успешно использованы для решения совершенно иной технической задачи — определения поосных нагрузок транспортного средства при взвешивании на платформенных весах [11]. Система поосного взвешивания на платформенных весах была впервые разработана автором и используется на Международном автомобильном пункте пропуска «Табаки — Мирное MD» Одесской таможни Украины.

## **Выводы**

Разработанная ИТ измерения массовой концентрации токсичных элементов в жидких пробах методами инверсионной хронопотенциометрии, реализованная в приборе «Анализатор ИХП», позволила на порядок увеличить чувствительность измерения концентрации (до 0,0001 мкг/мл),

значительно расширить число определяемых элементов (до 14) в разных объектах окружающей среды, повысить надежность и улучшить повторяемость результатов измерений концентрации.

Круг решаемых задач не ограничивается описанными техническими системами и может быть значительно расширен. Предложенная ИТ с использованием целенаправленного преобразования структуры исходных данных и моделирования компонентов измерения имеет универсальный характер и может быть применена для анализа различных сигналов физической или химической природы, в которых исходные значения монотонно возрастают или убывают.

1. Карнаухов О.І. Диференціальний варіант інверсійної хронопотенціометрії із заданим опором в окислювальному ланцюгу / О.І. Карнаухов, В.В. Гриневич, Є.М. Скобець // Український хімічний журнал. — 1973. — № 39. — С. 710–714.
2. Карнаухов О.І. Теорія інверсійної хронопотенціометрії із заданим опором ланцюга / О.І. Карнаухов, В.М. Галімова, К.Р. Галімов // Науковий вісник НАУ. — 2000. — № 32. — С. 204–209.
3. Устройство для предварительной обработки полярограмм: а. с. 1407241 СССР: МКИ А1 G01N27/26. / К.Р. Галімов, В.И. Лавриненко, Ю.Л. Серебрянников, Г.В. Цепков. — № 4066909/31-25; Заявлено 11.05.1986; Опубл. 01.03.1988.
4. Васильев В.И. Индукция и редукция в проблемах экстраполяции / В.И. Васильев // Кибернетика и вычислительная техника. — 1998. — Вып. 116. — С. 65–81.
5. Васильев В.И. Практические аспекты теории редукции в задачах обнаружения и моделирования закономерностей / В.И. Васильев, И.В. Суровцев // Управляющие системы и машины. — 2001. — № 1. — С. 6–15.
6. Спосіб гістограмної цифрової фільтрації хронопотенціометричних даних: пат. 96367 Україна: МПК (2006) G01N 27/48. / І.В. Суровцев, В.М. Галімова, О.В. Бабак; Заявлено 11.05.2010; Опубл. 25.10.2011 // Промислова власність. — 2011. — № 20.
7. Суровцев И. В. Моделирование дифференциальных хронопотенциограмм суммой нормальных распределений / И.В. Суровцев, А.Э. Татаринов, С.К. Галімов. // Управляющие системы и машины. — 2009. — № 5. — С. 40–45.
8. Пристрій для вимірювання концентрації важких металів: пат. 96375 Україна: МПК (2006) G01N 27/48. / І.В. Суровцев, І.А. Мартинів, В.М. Галімова, О.В. Бабак; Заявлено 02.06.2010; Опубл. 25.10.2011 // Промислова власність. — 2011. — № 20.
9. Аналого-цифровий електрохімічний пристрій для вимірювання параметрів розчинів: пат. 104062 Україна: МПК (2006) G01N 27/48. / І.В. Суровцев, В.А. Копілевич, В.М. Галімова, І.А. Мартинов, О.В. Бабак; Заявлено 28.05.2012; Опубл. 25.12.2013 // Промислова власність. — 2013. — № 24.
10. Пристрій для вимірювання концентрації токсичних елементів: пат. 107412 Україна: МПК (2006) G01N 27/48. / І.В. Суровцев, С.К. Галімов, І.А. Мартинів, О.В. Бабак, В.М. Галімова; Заявлено 21.05.2013; Опубл. 25.12.2014 // Промислова власність. — 2014. — № 24.
11. Система поєсового зважування на платформних вагах: пат. 106013 Україна: МПК (2006) G01G 19/02. / І.В. Суровцев, О.В. Бабак, О.Е. Татаринов, Ю.А. Крижановський; Заявлено 06.08.2013; Опубл. 10.07.2014 // Промислова власність. — 2014. — № 13.

## TRANSFORMATION OF DATA STRUCTURE IN DETERMINING THE CONCENTRATION BY METHODS OF INVERSION CHRONOPOTENTIOMETRY

I.V. Surovtsev

*International Research and Training Center for Information Technologies and Systems of National Academy of Sciences of Ukraine and Ministry of Education and Science of Ukraine*

**Introduction.** The complexity of direct measurement of the inversion time for the original signal in determining the concentration of toxic elements by inversion chronopotentiometry in the sample solution was not possible to determine its less than 0.1 mkg/ml.

**Purpose.** Development of information technology for measurement the concentration of toxic elements in liquid tests of objects by methods of inversion chronopotentiometry, which give possibility essentially to increase sensitiveness and reliability in determination of the concentration.

**Results.** Using developed information technology determining the concentration of toxic elements in liquid tests of inversion chronopotentiometry in apparatus the analyzer allow to increase until 14 elements, to increase sensitiveness until 0,0001 mkg/ml and to improve repetition of measurements the concentration.

**Conclusion.** Information technology has a universal character and can be applied for the analysis of signals of different nature, where the values are monotonically increasing or decreasing.

**Keywords:** transformation of the data structure, methods of inversion chronopotentiometry, modeling, information technology.

1. Karnaukhov A.I., Grynevych V.V., Skobets E.M. Differential variant of inversion chronopotentiometry with a given resistance in oxidative circuit. *Ukrainian chemical journal*, 1973, no. 39, pp. 710–714 (in Ukrainian).
2. Karnaukhov A.I., Galimova V.M., Galimov K.R. Theory inversion chronopotentiometry with a given resistance of circuit. *Scientific Visnyk of NAU*, 2000, no. 32, pp. 204–209 (in Ukrainian).
3. Galimov K.R., Lavrynenko V.I., Serebryannikov J.L., Tsepkov G.V. *The device for pretreating polarograms*. Patent 1407241 USSR: Int.C1. G01N27/26, 1988 (in Russian).
4. Vasilyev V.I. Induction and reduction in problems of extrapolation. *Cybernetics and Computer Engineering*, 1998, no. 116, pp. 65–81(in Russian).
5. Vasilyev V.I., Surovtsev I.V. Practical aspects of the theory of reduction in problems of detection and modelling regularities. *Control System and Computers*, 2001, no. 1, pp.6–15 (in Russian).
6. Surovtsev I.V., Galimova V.M., Babak O.V. *Method for histogram digital filtration of chrono-potentiometric data*. Patent 96367 Ukraine, Int.C1. (2006) G01N 27/48, 2011 (in Ukrainian).
7. Surovtsev I.V., Tatarinov A.E., Galimov S.K. The modeling of the Differential Chronopotentiograms by the Sum of Normal Distributions. *Control System and Computers*, 2009, no. 5, pp.40–45 (in Russian).
8. Surovtsev I.V., Martynov I.A., Galimova V.M., Babak O.V. *Device for measurement of concentration of heavy metals*. Patent 96375 Ukraine, Int.C1. (2006) G01N 27/48, 2011 (in Ukrainian).

9. Surovtsev I.V., Kopilevych V.A., Galimova V.M., Martynov I.A., Babak O.V. *Analog-digital electro-chemical device for measurement of parameters of solutions*. Patent 104062 Ukraine, Int.C1. (2006) G01N 27/48, 2013 (in Ukrainian).
10. Surovtsev I.V., Galimov S.K., Martynov I.A., Babak O.V., Galimova V.M. *Device for measurement of concentration of toxic elements*. Patent 107412 Ukraine, Int.C1. (2006) G01N 27/48, 2014 (in Ukrainian).
11. Surovtsev I.V., Babak O.V., Tatarinov O.E., Kryzhanovskiy Y.A. *System for axle-by-axle weighing on platform scales*. Patent 106013 Ukraine, Int.C1. (2006) G01G 19/02, 2014 (in Ukrainian).

Получено 03.03.2015