

СЕНСОРИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ

SENSORS AND INFORMATION SYSTEMS

УДК 681.2.08 – 114:681.2.001.5+681.3.06

МНОГОКАНАЛЬНИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

*А. Д. Василенко¹, Л. В. Шкотова², В. Г. Мельник¹,
Л. Н. Семенычева¹, С. В. Дзядевич²*

¹ Институт электродинамики НАН Украины
Украина, просп. Победы, 56, г. Киев-57, 03680
т. (044)-4542511, E-mail: melnik@elan-ua.net

² Институт молекулярной биологии и генетики НАН Украины
Украина, ул. Заболотного, 150, г. Киев-143, 03143
т. (044)-2000328

МНОГОКАНАЛЬНИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

А. Д. Василенко, Л. В. Шкотова, В. Г. Мельник, Л. Н. Семенычева, С. В. Дзядевич

Аннотация. Рассмотрены принципы построения четырехканальной измерительно-информационной системы для работы с многоэлектродными электрохимическими ячейками, в частности, с амперометрическими мультибиосенсорами. Описываются основные аппаратные и программные средства измерительного комплекса, приводятся результаты его экспериментальной проверки.

Ключевые слова: электрохимия, амперометрия, биосенсор, многоканальный потенциостат, измерительный модуль.

БАГАТОКАНАЛЬНИЙ ВИМІРЮВАЛЬНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

О. Д. Василенко, Л. В. Шкотова, В. Г. Мельник, Л. М. Семеничева, С. В. Дзядевич

Анотація. Розглянуто принципи побудови чотирьох каналної вимірювально-інформаційної системи для роботи з багатоелектродними електрохімічними комітками, зокрема, з амперометричними мультибіосенсорами. Описано основні апаратні та програмні засоби вимірювального комплексу, наведено результати його експериментальної перевірки.

Ключові слова: електрохімія, амперометрія, біосенсор, багатоканальний потенціостат, вимірювальний модуль.

MULTICHANNEL MEASURING COMPLEX FOR ELECTROCHEMICAL MEASUREMENTS

A.D.Vasilenko, L.V.Shkotova, V.G.Melnik, L.N.Semenytcheva, S.V.Dzyadevych

Abstract. The principles of construction of four-channel measuring-information system for work with multielectrode electrochemical cells, in particular, with amperometric multibiosensors have been considered. The basic hardware and software of the complex were described; results of its experimental measurements are given.

Keywords: electrochemistry, amperometry, biosensor, multichannel potentiostat, measuring module.

1. Введение

Определение концентраций различных веществ в растворах представляет собой важную задачу во многих отраслях промышленности, при биомедицинских исследованиях, при контроле состояния окружающей среды. Для таких измерений используются различные электрохимические методы, среди которых наибольшее распространение получил метод амперометрии. Сутью этого метода является регистрация значений тока, протекающего через раствор при контролируемом напряжении между раствором и погруженным в него электродом. Амперометрия широко применяется в материаловедении, в технической диагностике (в частности, для контроля коррозии элементов конструкций), в химических производствах.

Одним из перспективных направлений применения данного метода является разработка биосенсорных систем [1-3]. Благодаря применению биоселективных элементов, которые изготавливаются в виде полупроницаемых мембран и наносятся на рабочие электроды, достигается высокая селективность таких измерительных систем по отношению к контролируемым компонентам раствора.

Важное значение имеет разработка мультисенсорных систем, содержащих несколько измерительных электродов с различными мембранами [4, 5]. Они позволяют анализировать многокомпонентные растворы, быстро и точно определять соотношение концентраций нескольких содержащихся в них веществ. Такая задача, например, стоит в сахарной промышленности, где в технологическом процессе необходимо одновременно контролировать содержание сахарозы, фруктозы, глюкозы и лактозы в обрабатываемом сырье.

К сожалению, биосенсорные системы, особенно многоканальные, пока еще являются довольно дорогим оборудованием, так как раз-

рабатываются для тех или иных задач при небольших объемах выпуска приборов каждого назначения. Достичь существенного снижения стоимости таких систем возможно за счет применения при их реализации унифицированных программных и аппаратных средств. Ниже будет рассмотрен недорогой, портативный четырехканальный амперометрический аппаратно-программный комплекс, базой которого являются измерительно-управляющий модуль M3500P1 и программа верхнего уровня, обеспечивающая управление процессом измерения, получение, накопление, обработку и графическое представление результатов измерений, разработанные в Институте электродинамики НАН Украины.

2. Основные принципы построения комплекса

Блок-схема измерительной системы представлена на рис.1. В ее состав входят трехэлектродная электрохимическая измерительная ячейка (ИЯ), электронный измерительный блок (ИБ) и персональный компьютер (ПК). Электропитание измерительной системы осуществляется от автономного источника питания (ИП) или через сетевой адаптер от сети переменного тока. Измерительный блок состоит из двух частей: базового измерительно-управляющего модуля (БИУМ) и потенциостата (П). С помощью последнего поддерживаются необходимые потенциалы электродов ИЯ, а также снимается и преобразуется ее выходной токовый сигнал.

Базовый модуль БИУМ выполняет основные функции, присущие широкому классу измерительной аппаратуры: формирует напряжение питания электронных узлов всего ИБ, измеряет и преобразует в цифровую форму входные информативные сигналы (U_x), вырабатывает аналоговые ($U_{уп}$) и логические (СУ) сигналы

управления измерительными преобразователями. В данном случае таким измерительным

преобразователем, который формирует сигнал U_x , является потенциостат П.

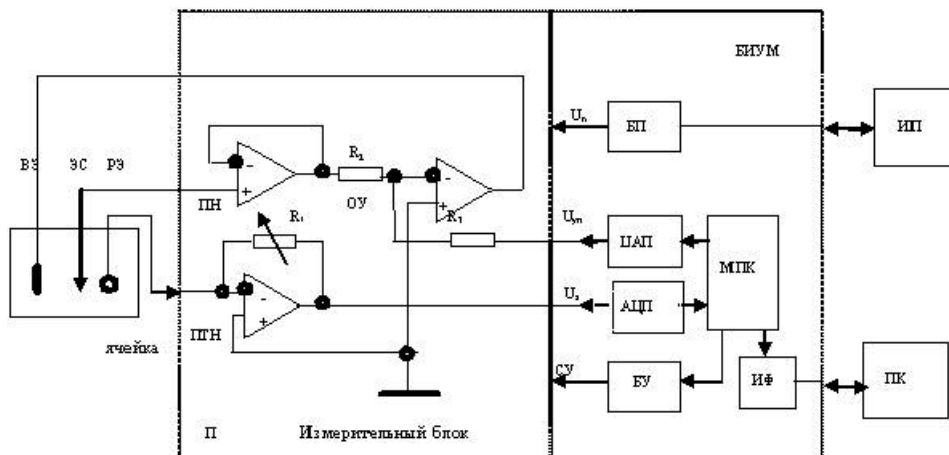


Рис. 1. Блок-схема амперометрической измерительной системы

В составе БИУМ имеется микропроцессорный контроллер МПК с соответствующим программным обеспечением нижнего уровня, который обеспечивает выполнение измерительных операций, необходимую обработку сигналов и обмен данными с персональным компьютером ПК через интерфейс ИФ. Для сопряжения измерительного преобразователя (потенциостата) с МПК БИУМ содержит аналого-цифровой преобразователь (АЦП), цифроаналоговый преобразователь (ЦАП) и блок управления БУ для формирования логических сигналов СУ.

Основным элементом потенциостата является операционный усилитель ОУ, в цепи обратной связи которого включена измерительная ячейка. Эта ячейка имеет три электрода — рабочий (РЭ), вспомогательный (ВЭ) и электрод сравнения (ЭС). С помощью ЭС определяется потенциал E в исследуемом растворе вблизи РЭ, поэтому в цепи ЭС ток должен практически отсутствовать. С этой целью в схеме потенциостата введен повторитель напряжения с входными токами менее 1 рА. Выходной ток потенциостата I_x протекает в цепи РЭ и при этом потенциал РЭ должен быть близок к 0. Для снятия этого тока с соблюдением указанного режима применяется преобразователь ток-напряжение ПТН на основе прецизионного операционного усилителя с большим коэффициентом усиления. В цепи его обратной связи включен регулируемый резистор R_1 , определяющий коэффициент преобразования ПТН и, следовательно, диапазон измеряемых

токов. Для переключения диапазонов измерения используются сигналы СУ. Величина выходного сигнала U_x определяется соотношением:

$$U_x = I_x \cdot R_1,$$

где I_x — ток между ВЭ и РЭ.

Значение U_x преобразуется в цифровой код с помощью АЦП и передается с помощью МПК в персональный компьютер комплекса для дальнейшей обработки и регистрации. Величина тока I_x в трехэлектродной ячейке полностью определяется электрохимическими процессами на РЭ, которые, в свою очередь, зависят от потенциала раствора (потенциал ЭС по отношению к потенциалу РЭ). Точность задания этих потенциалов зависит от напряжений смещения операционных усилителей потенциостата, что также необходимо учитывать при выборе элементной базы и при разработке детальных принципиальных схем этого устройства. Потенциал ЭС в данной схеме жестко связан с управляющим напряжением $U_{уп}$ (они равны, если $R_2 = R_3$). Величина $U_{уп}$ формируется цифроаналоговым преобразователем блока БИУМ. Управление значением $U_{уп}$ осуществляется с помощью ПК программой верхнего уровня через МПК блока БИУМ.

Определение концентрации исследуемого раствора базируется на основном уравнении электрохимической кинетики [6], которое устанавливает соотношение между плотностью тока в ячейке и разницей потенциалов на границе раздела электрод/электролит:

$$I = zFk_0c_{Ox} \exp[-\alpha zF(E - E_0)/RT] - zFk_0c_{Red} \exp[(1-\alpha)zF(E - E_0)/RT],$$

где: I – плотность тока; F – константа Фарадея; C_{Ox} и C_{Red} – концентрация окисленных (Ox) и восстановленных (Red) частиц; k_0 – стандартная константа скорости реакций переноса заряда; α – коэффициент переноса электронов, характеризующий влияние двойного электрического слоя на прямую реакцию; E_0 – стандартный редокс-потенциал; R – универсальная газовая постоянная; T – температура.

Измерения тока ячейки производятся при определенных потенциалах E , которые характерны для тех или иных исследуемых растворов и конкретной используемой ячейки.

Для изучения продуктов электрохимических реакций и для определения условий измерения их концентрации используется метод циклической вольтамперометрии. Он заключается в регулировании потенциала в ячейке управляющим напряжением треугольной формы. При этом ток ячейки при нарастании и спаде $U_{уп}$ изменяется по циклической петле, показанной на рис.2 [2]. Для измерения концентрации выбирается потенциал, соответствующий плато кривой вблизи пика С. Ток на этом участке описывается формулой [7]:

$$I = \frac{zFc_{Ox}(D_0k_{кат})^{1/2}}{1 + \exp[zF/RT(E-E_{1/2})]},$$

где D_0 – коэффициент диффузии электроактивных частиц;

$k_{кат}$ – псевдопостоянная первого порядка, определяется экспериментально;

$E_{1/2}$ – половина потенциала, соответствующего максимальному току.

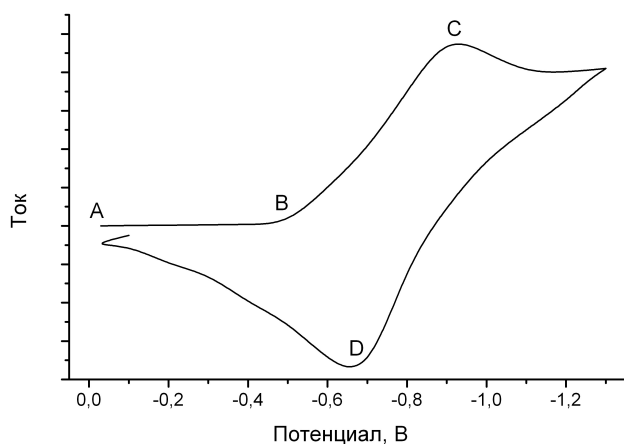


Рис. 2. Типовая циклическая вольтамперограмма процесса восстановления

Для реализации необходимых режимов измерений программа верхнего уровня данного измерительного комплекса должна обеспечивать статическое и динамическое управление потенциалом E по величине, диапазону и скорости измерения.

Рассмотрим структуру и алгоритмы функционирования блоков комплекса.

3. Потенциостат для мультисенсорных электрохимических ячеек

Применяемые на практике схемы построения потенциостатов для амперометрических систем, в том числе многоканальных [8 – 11], основаны на одном из вариантов тезауруса базовых структур, впервые рассмотренного в [12]. Многие из этих схем весьма сложны, что отчасти объясняется несовершенством применявшейся ранее элементной базы (большие напряжения смещения и входные токи усилителей), а также неоптимальным выбором базовой структуры и путей ее реализации.

Анализ базовых структур с учетом особенностей построения простой мультисенсорной системы для многоцелевого применения показывает, что в этом случае наиболее подходящей является структура, представленная на рис. 3. При использовании этой структуры можно обойтись без применения гальванически развязанных источников питания схемы потенциостата, что не только упрощает устройство и улучшает его экономичность, но и способствует снижению помех с соответствующим повышением чувствительности системы либо ее быстродействия. Последнее утверждение весьма существенно при исследованиях в режиме циклической вольтамперометрии. Данная структура позволяет весьма просто подключать источник управляющего напряжения $U_{уп}$, что облегчает унификацию блоков комплекса. Измерение токов рабочих электродов в такой схеме целесообразно производить методом “слива тока” (current sink principle).

При использовании современных прецизионных операционных усилителей в качестве ПТН достигается пренебрежимо малое влияние этого преобразователя на режим работы электрохимической ячейки. Это очень важно в многоэлектродных ячейках, так как необ-

ходимо обеспечивать идентичность режимов всех рабочих электродов. Применение метода “слива тока” также существенно упрощает коммутацию и дальнейшее аналого-цифровое преобразование выходных информативных сигналов потенциостата с помощью базовой аппаратуры. Функциональная схема потенциостата с четырехканальным ПТН представлена на рис. 4. Амперметрический комплекс может содержать несколько таких блоков, обеспечивающих обслуживание мультисенсорной ячейки с большим количеством рабочих электродов или нескольких ячеек с числом РЭ в пределах 4х.

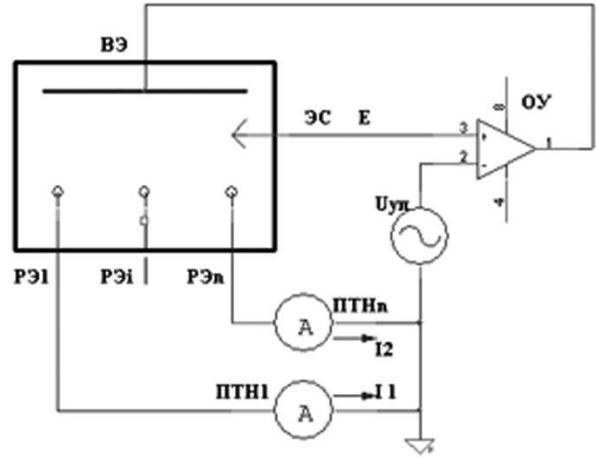


Рис. 3. Структурная схема потенциостата

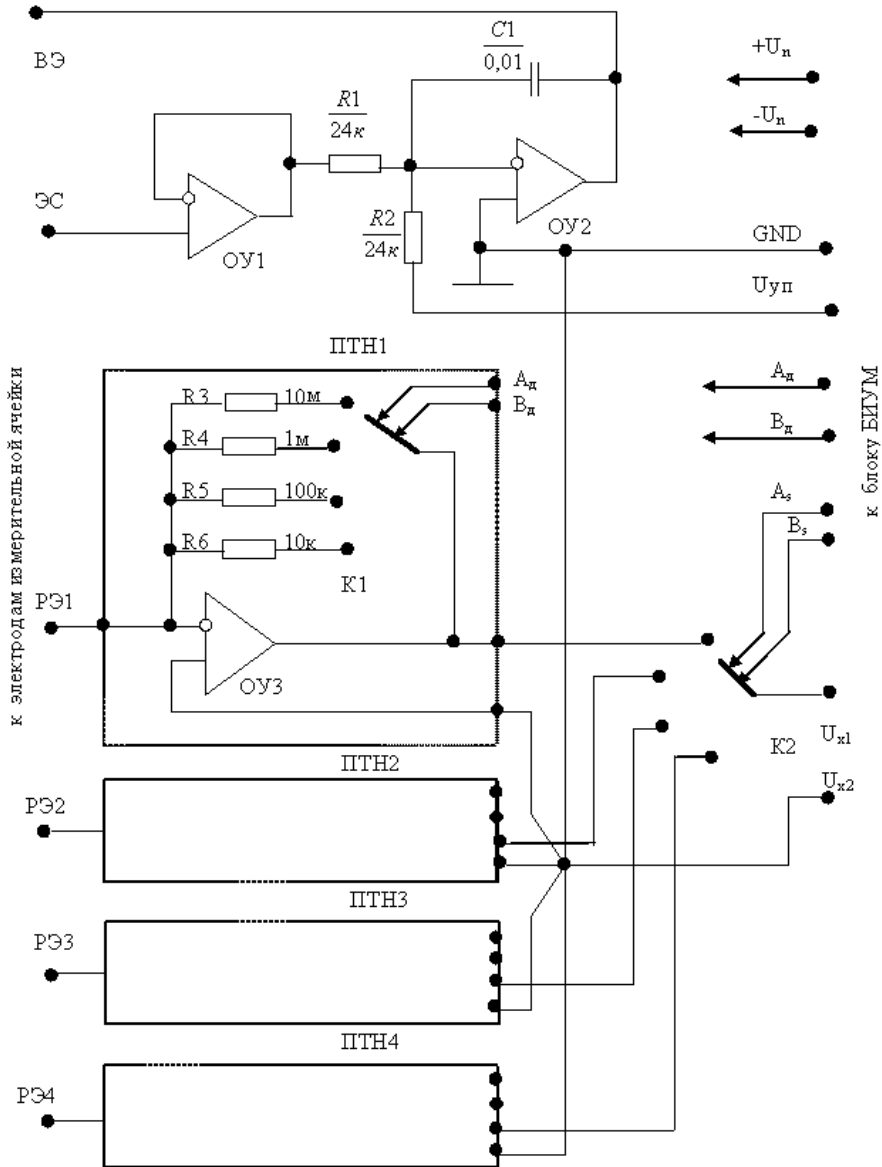


Рис. 4. Функциональная схема многоканального потенциостата

Схема потенциостата включает устройство для поддержания потенциала электрохимической ячейки (собственно потенциостат), четыре преобразователя ток-напряжение ПТН и коммутатор выходных сигналов. В ней используются операционные усилители AD8616 с входными токами 0,2 pA, выходным током до 150 mA, коэффициентом усиления 100 dB, смещением нуля 23 мкВ, и величиной дрейфа нуля 1,5 мкВ/°C (типичные значения). Емкость C1 в цепи обратной связи ОУ2 необходима для подавления специфических автоколебаний, присущих таким потенциостатам. Каждый из ПТН содержит операционный усилитель (ОУ3) с коммутирующими резисторами в цепи обратной связи. Данная схема содержит 4 резистора величиной от 10 кОм до 10 МОм и коммутатор К1 (микросхема CD4052 или аналогичная). Указанные номиналы резисторов обеспечивают диапазоны преобразования токов от 0,01...20 нА до 0,01...20 мкА. При необходимости диапазоны измерения могут быть смещены в сторону больших токов (или их количество может быть увеличено). Однако, следует иметь в виду, что при этом придется использовать другие коммутаторы с меньшим сопротивлением ключа и (или) с большим числом положений. Для коммутации выходных сигналов ПТН в устройстве также используется коммутатор типа CD4052. Управление коммутаторами производится логическими сигналами Ад, Вд (код диапазона измерения), и сигналами As, Bs (код номера рабочего электрода сенсорной ячейки). Питание элементов потенциостата осуществляется напряжениями $+U_n$ и $-U_n$, поступающими от блока БИУМ.

4. Базовый измерительно-управляющий модуль

В качестве основы для реализации измерительного блока используется многоцелевой унифицированный модуль M3500P1, предназначенный для построения многопараметровых измерительно-информационных систем (ИИС) [13]. Эта часть амперометрического комплекса представляет собой совокупность аппаратных и программных блоков, схемотехническое и конструктивное выполнение которых позволяет использовать их в качестве основы для построения широкого класса измерительных средств. Такая унификация поз-

воляет существенно снизить затраты на разработку и изготовление образцов аппаратуры, а, следовательно, и цену комплекса в целом. Структура, состав и основные функции БИУМ были рассмотрены выше, поэтому здесь мы лишь уточним некоторые вопросы его согласования со схемой потенциостата. Функциональная схема, поясняющая эти связи, представлена на рис.5.

Управляющим ядром модуля является контроллер МПК на базе микропроцессора AT89S8252. Алгоритм его работы будет рассмотрен ниже. Через свои порты МПК связан с цифровым выходом АЦП, регистрами управления Рег.А, Рег.В, Рег.С, а также с клавиатурой Кл, дисплеем Д и узлом системного интерфейса ИФ, который служит для обмена данными с персональным компьютером при работе модуля в составе ИИС. Модуль также может работать и автономно, если выполняются простые измерения, алгоритм которых не предусматривает обработку и накопление больших массивов данных, изменение режима измерительных цепей или работу с несколькими измерительными блоками. В этом случае результаты измерений отображаются на дисплее Д, а управление прибором производится с клавиатуры Кл.

Измеряемый сигнал U_x поступает из потенциостата на вход АЦП по двум проводам: U_{x1} — с выхода коммутатора K_2 и U_{x2} — с общей точки ПТН (для исключения помех от падений напряжений на шине GND). Аналоговый сигнал управления потенциостатом формируется с помощью ЦАП из управляющих кодов регистра А, которые задаются программой верхнего уровня ПК либо с клавиатуры (в автономном режиме). Токвый выходной сигнал ЦАП преобразуется в управляющий сигнал $U_{уп}$ преобразователем ток-напряжение ТПН_{ЦАП}. Полярность последнего может изменяться с помощью инвертора ИНВ и ключа К управляющим сигналом “полярность $U_{уп}$ ”, который формируется в регистре С под воздействием команд управления с клавиатуры или из ПК. В регистре С также формируются сигналы A_d и B_d для выбора нужного диапазона измерения тока ячейки. Сигналы A_s и B_s управления коммутатором K_2 потенциостата для определения тока того или иного рабочего электрода ячейки формируются в регистре В. Как и иные сигналы управления они могут задаваться командами с клавиатуры или из ПК.

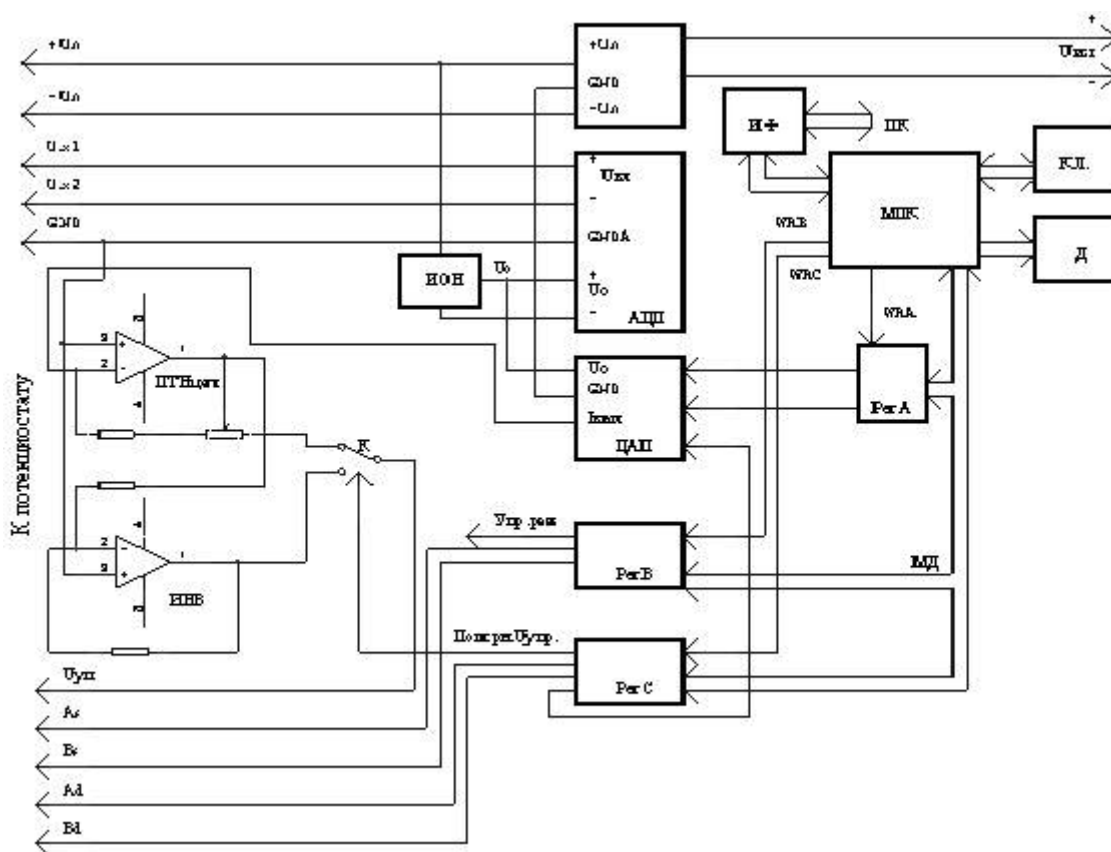


Рис. 5. Функциональная схема многоканального амперометрического комплекса

5. Программное обеспечение измерительного комплекса

Программное обеспечение (ПО) измерительного комплекса состоит из двух частей: нижнего (НУ) и верхнего (ВУ) уровней. ПО НУ обеспечивает функционирование узлов измерительного блока и реализацию алгоритмов измерений в соответствии с командами и параметрами рабочих режимов, которые поступают от клавиатуры или из ПК при работе в составе ИИС. ПО ВУ является прикладной программой пользователя, которая устанавливается в ПК комплекса. Ее назначение – формирование команд управления аппаратурой одного или нескольких измерительных модулей в соответствии с режимом измерения и его параметрами, которые выбраны оператором, а также получение от измерительного модуля (или нескольких таких модулей) результатов измерений, их обработка, регистрация, сохранение и предоставление пользователю в необходимой для него форме. Кроме этого, ПО комплекса позволяет тестировать отдельные узлы измерительного блока, производить их ремонт и наладку.

Структура программного обеспечения ампе-

рометрической системы с потенциостатом представлена на рис.6. В состав ПО НУ входят программы, обеспечивающие управление узлами БИУМ и их взаимодействие с программами ВУ (ПНУ У), а также программы, обеспечивающие измерение входных сигналов БИУМ и передачу полученных результатов в ПК комплекса (ПНУ И). Программное обеспечение ВУ, в свою очередь, делится на две части. Основное (базовое) программное обеспечение (БПО) используется для реализации функций, присущих широкому классу многоканальных измерительных систем [14,15]. Другая часть является дополнительным ПО и реализует индивидуальные особенности того или иного измерительного комплекса, решающего конкретную задачу

Программы нижнего уровня

На рис.7 представлен алгоритм программы НУ базового модуля, обеспечивающий задание напряжений управления потенциостатом и измерение ответного токового сигнала. При включении модуля происходит инициализация всех внутренних устройств и запуск АЦП, затем анализируется заданный режим работы модуля (ав-

тономный или в составе ИИС) и опрашивается клавиатура. Если режим автономный и команд с клавиатуры модуля нет, то результаты измерений отображаются на дисплее модуля. Если модуль подключен к ПК ИИС, то МПК модуля

анализирует и выполняет поступающие от ПК команды (рассылает полученные коды управления в регистры или осуществляет передачу кода последнего преобразования АЦП), а затем переходит в режим ожидания следующей команды.

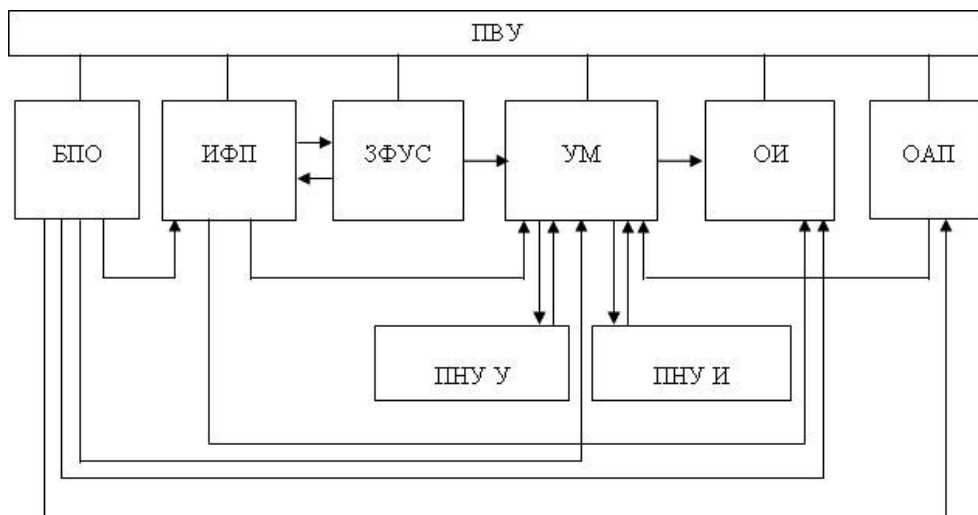


Рис. 6. Структура программного обеспечения амперометрической системы

Программы верхнего уровня

Базовое программное обеспечение (основная программа) представляет собой набор программ различного функционального назначения, запускаемых оператором через систему многоуровневых меню. БПО имеет вид приложения Windows с меню и пиктограммами и предоставляет пользователю следующие возможности:

- настройка программы ВУ на нужное число каналов;
- обмен данными с измерительными блоками через интерфейс RS232;
- измерение электрических информативных параметров датчиков различных типов и расчет других величин с помощью полинома 4-й степени или специальных формул;
- размещение измеренных и рассчитанных значений параметров, а также другой информации (дата, время, номер измерения, примечания) в таблицах типа Excel, сохранение информации в файле в текстовом виде, доступном другим приложениям;
- графическое представление результатов измерений и расчетов.

Основная программа после несложных изменений предоставляет возможность взаимодействия с дополнительными программами, в результате чего создаются новые специализированные измерительные системы, в данном

случае – амперометрическая. Изменения заключаются в том, что в главное рабочее окно вводятся, при необходимости, новые органы управления и списки новых команд для вызова других программ.

После загрузки основной программы на экране дисплея ПК появится изображение главного рабочего окна (рис. 8). Первоначально (состояние “по умолчанию”) таблица и график пусты. К **основной программе** относятся главное меню, панель инструментов, кнопки каналов, таблица данных, график и их органы управления. С **дополнительным ПО** связаны список методов исследования, указатели диапазонов, номеров модулей и времени сканирования. Органы управления и реализуемые ими функции БПО описаны в [14, 16]. Ниже приводится описание дополнительных органов управления и программ, реализующих специализированные функции амперометрической системы.

Программы, обеспечивающие интерфейс с пользователем (ИФП) предоставляют возможность установить необходимые режимы и параметры с помощью дополнительных органов управления. Устанавливаются: режим измерения (с фиксированным или циклически меняющимся $U_{уп}$), диапазон измерения тока (от 0...20 нА до 0...20 мкА), адрес (номер) подключенного модуля, цикличность обмена данными между модулем и ПК.

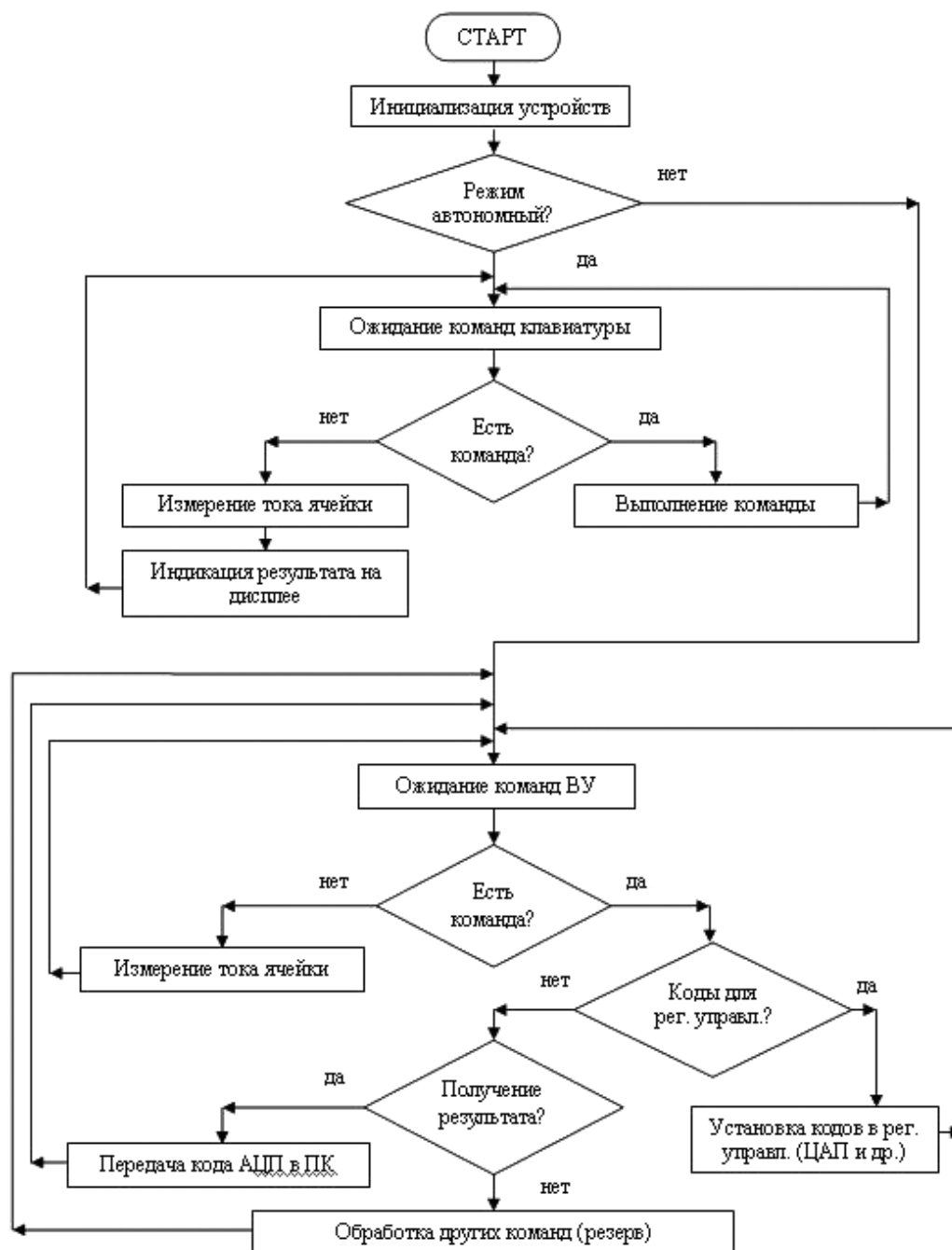


Рис. 7. Алгоритм работы программы базового измерительно-управляющего модуля

Программа задания формы управляющего сигнала (ЗФУС) потенциостата обеспечивает посылки соответствующего кода управления ЦАП БИУМ при каждом обмене данными между ПК и измерительным блоком. При статическом виде $U_{уп}$, значения потенциала задается оператором вручную, причем эти значения могут быть произвольными в диапазоне ± 2 В. При циклически меняющемся $U_{уп}$ оператором задаются: начальное и конечное значения потенциала, дискретность изменения потенци-

ала, скорость нарастания потенциала и число циклов изменения потенциала.

После запуска измерений значение потенциала автоматически изменяется от начального значения до конечного с шагом, равным установленной дискретности изменения потенциала. Затем меняется направление изменения потенциала и сигнал изменяется от конечного значения до начального, после чего снова меняется направление изменения потенциала.

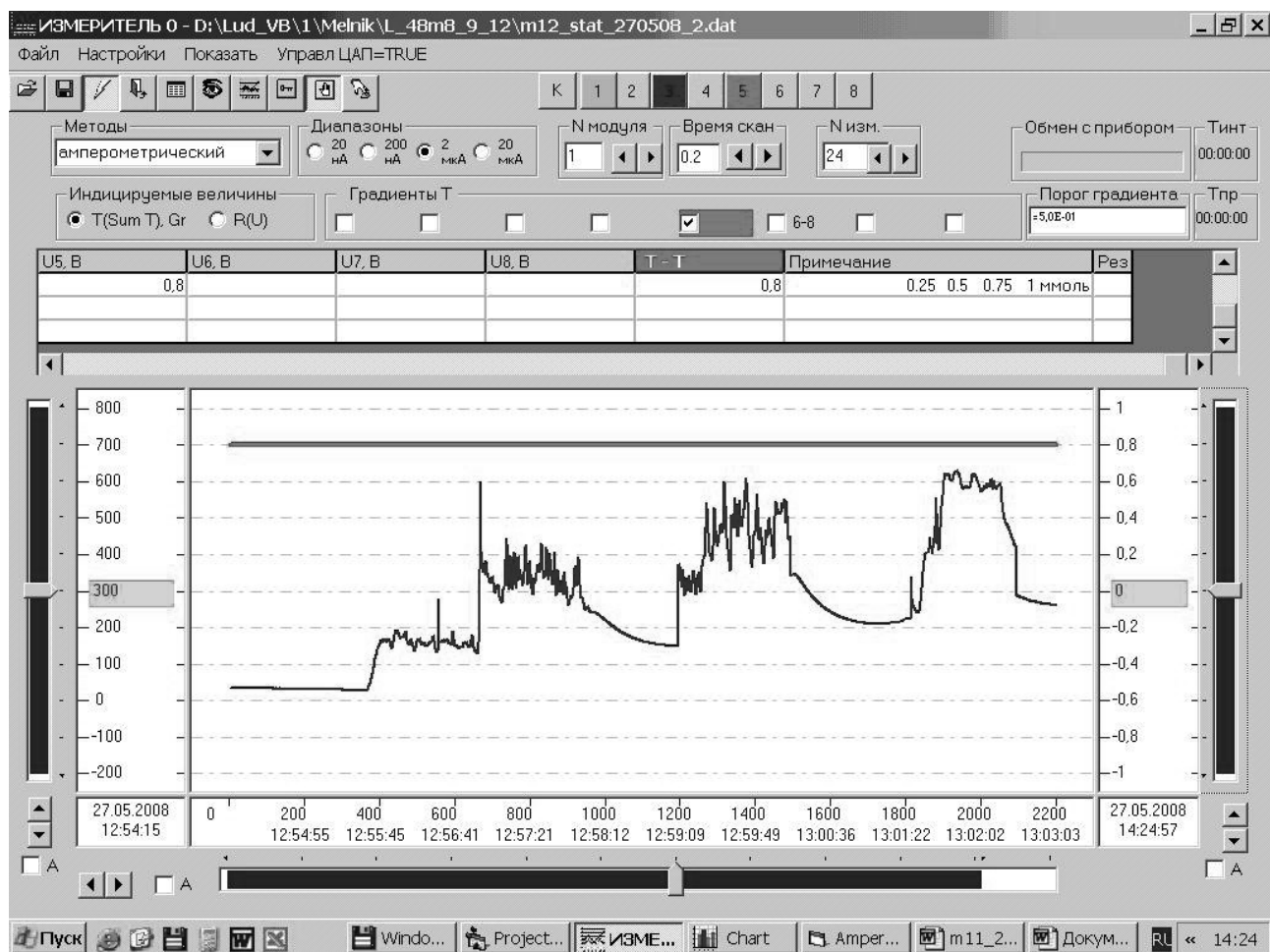


Рис. 8. Изображение главного рабочего окна на экране дисплея ПК с откликами амперометрического электрода на добавление в ячейку перекиси водорода

Формирование и передача в НУ команды установки заданного кода ЦАП и команды измерения осуществляется программами **формирования и передачи команд управления (УМ)**, которые обеспечивают передачу команд управления в определенном формате.

После получения из НУ ответной посылки программы **получения, обработки и визуализации данных (ОИ)** проводят анализ и преобразование полученных данных, записывают результаты измерений в таблицу основного окна и осуществляют визуализацию результатов измерений НУ в основном окне. Они также сохраняются в указанном оператором файле в виде таблицы. Кроме того, результаты циклических измерений могут быть отражены в виде графика зависимости тока от напряжения в специальном окне "Chart".

Правильность настройки работы ЦАП и АЦП, а также правильность функционирования отдельных фрагментов ПО можно проверить с помощью специальных **программ для**

экспериментального исследования аппаратуры и ПО (ОАП).

Алгоритм работы системы в режиме измерения приведен на рис.9.

6. Экспериментальные исследования

Разработанный амперометрический аппаратно-программный комплекс прошел апробацию в Институте молекулярной биологии и генетики НАН Украины. В процессе предварительных исследований анализировался отклик измерительной ячейки с различными видами датчиков при изменениях концентраций растворов и режимов работы измерительного модуля при наличии внешних помех и других влияющих факторах.

На рис.8 приведены результаты измерения с платиновым датчиком при изменении концентрации перекиси водорода в фосфатном буфере при статическом методе исследования.

При этом анализировались помехи, вносимые электромагнитным устройством для перемешивания раствора. Достаточно четко видно изменение сигнала на внесение в ячейку перекиси водорода.

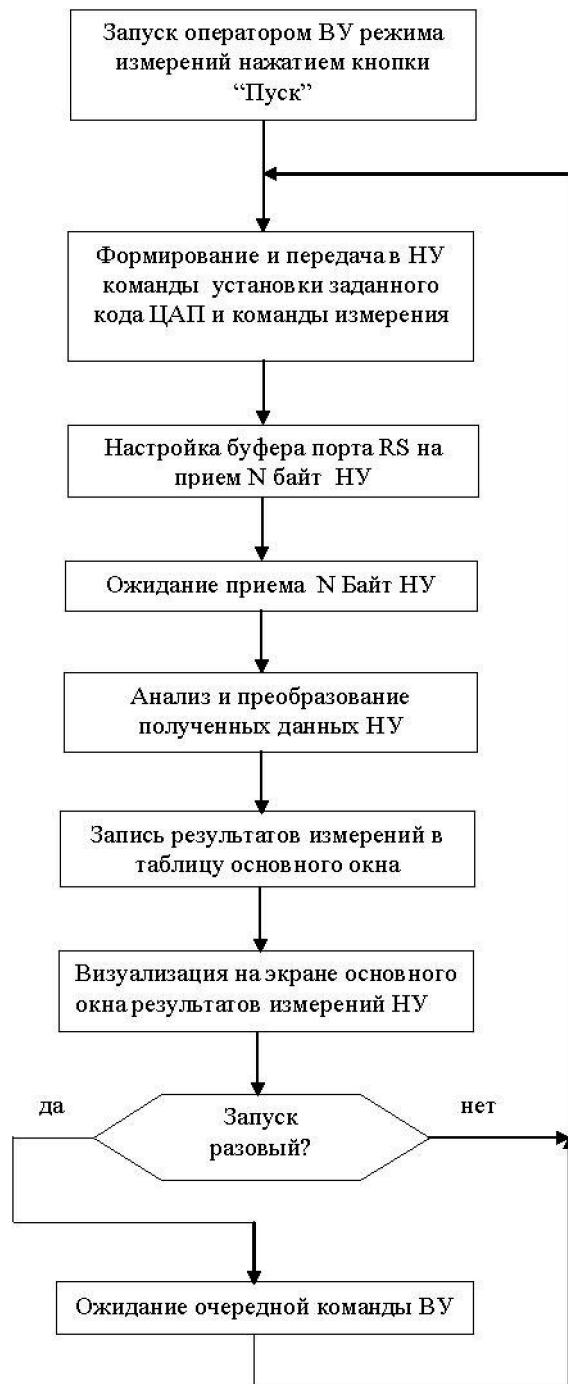


Рис. 9. Алгоритм работы программы верхнего уровня измерительного комплекса в режиме измерений

На рис.10 приведены циклические вольтамперограммы, полученные на платиновом электроде в рабочем буфере и при добавлении

в ячейку 0.5 мМ перекиси водорода. Из рисунка четко видно, как меняется ток в ячейке при внесении перекиси водорода.

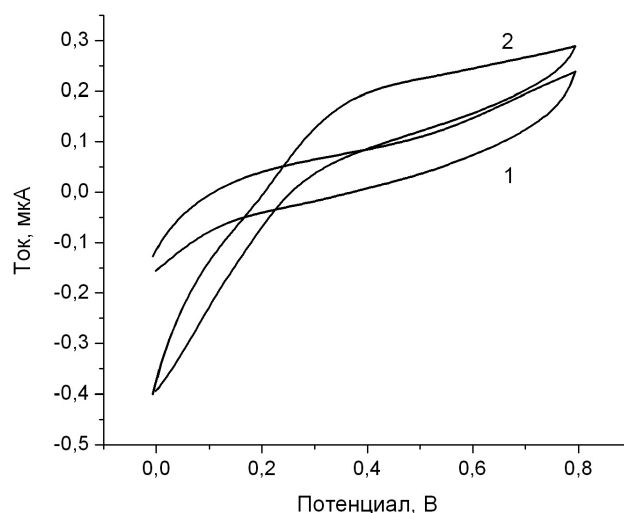


Рис. 10. Циклические вольтамперограммы, полученные на платиновом электроде в рабочем буфере (1) и при добавлении в ячейку 0.5 мМ перекиси водорода (2)

На рис.11 приведена калибровочная кривая измерения перекиси водорода, полученная на платиновом электроде с помощью разработанного аппаратно-программного комплекса. Система получилась достаточно чувствительная к перекиси водорода и ее с успехом можно использовать для разработки амперометрических биосенсоров на основе различных оксидаз [2].

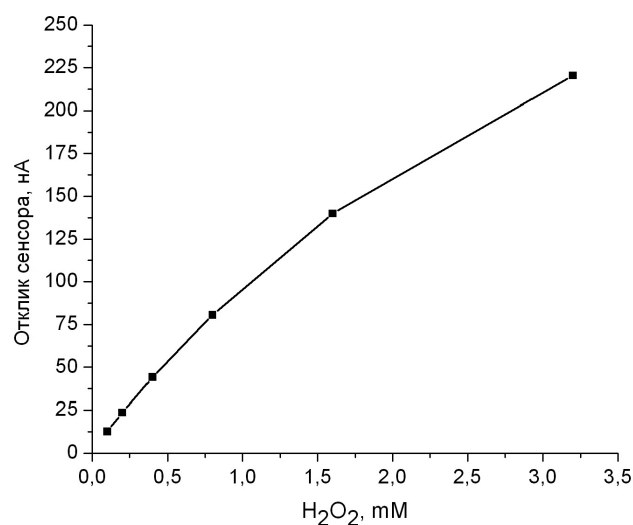


Рис. 11. Калибровочная кривая измерения перекиси водорода, полученная на платиновом электроде с помощью разработанного аппаратно-программного комплекса

7. Выводы

Таким образом, в результате работы реализован портативный многоканальный комплекс для электрохимических амперометрических измерений. Для этого разработан и экспериментально проверен простой, достаточно точный и высокочувствительный потенциостат, который оптимально сопрягается с базовыми аппаратно-программными средствами. Разработаны дополнительные к базовым программные средства верхнего уровня, обеспечивающие управление амперометрическим комплексом, регистрацию и необходимую форму представления результатов измерений. По своим характеристикам (функциональные возможности, чувствительность, быстродействие) разработанный комплекс соответствует современным образцам аналогичных приборов зарубежного производства (например, фирмы PalmSens, Голландия). Его серийное изготовление может быть налажено при небольших затратах, а цена может быть в 2-3 раза ниже, чем у импортных аналогов при высокой рентабельности производства.

Представленная в данной статье разработка выполнена в рамках научно – технической программы НАН Украины “Сенсорные системы для медико-экологических и промышленно-технических потребностей”.

Список литературы

- Turner, A.P.F. Preface Biosensors: Fundamentals and Applications. Oxford: Oxford Univ. Press., 1989.
- Дзядевич С.В., Солдаткін О.П.. Наукові та технологічні засади створення мініатюрних електрохімічних біосенсорів. К.: Наукова думка, 2006 р.
- Дослідження в галузі сенсорних систем та технологій. Збірник наукових праць з комплексної програми фундаментальних досліджень НАН України. //За редакцією Єльської Г.В. та Походенка Д. В., К., 2006 р.
- Hintsche R., Berntand H., Eder A.. Multiplexing of Microelectrode Arrays in Volumetric Measurements. //Electroanalysis 2000, 12, No 9, P. 660-665.
- Tang Fang, M. McGratn, D. Diamond, M.R. Smith, Development of computer controlled multichannel potentiostat for applications with flowing solution analysis. Analytical Chimica 305 (1995), P. 347-358.
- Корыта И., Дворжак И., Богачкова В. Электрохимия. — М.: Мир, 1977 — 472 с.
- White S.F., Turner A.P.F. Mediated amperometric biosensors (Handbook of biosensors and electronic noses: medicine, food, and environment) Ed. by E. Kress-Rogers. — New York: CRC Press, 1997. — P. 227 — 244.
- Romero M.R. and Marioli I.M. A computer — Controlled Battery-Powered Micropotentiostat.. LRA, Vol.12. P. 53-58.
- Tallman D.E., Shepherd G., Mackellar W.J. A wide bandwidth computer based potentiostat for fast voltammetry at microelectrodes Electroanal. Chem., 280 (1990), P. 327-340.
- Avdikos E.M., Prodromidis M.I., Efstathion C.E. Construction and analytical application of a palm-sized microcontroller-based amperometric analyzer. Sensors and Actuators B 107 (2005), P. 372-378.
- Steinberg M.D., Lowe C.R. A micropower amperometric potentiostat. Sensors and Actuators, B 97 (2004), p. 284-289.
- Schwarz W.M. and Irving Shain. Generalized Circuits for Electroanalytical Instrumentation. Analytical chemistry. Vol.35, № 12, November 1963, p. 1770 — 1778.
- Гриневиц Ф.Б., Борщев П.И., Василенко А.Д., Мельник В.Г. “Аппаратные и программные средства распределенных сетевых импедансометрических контрольно-измерительных систем”. Технічна електродинаміка. Тематичний випуск “Проблеми сучасної електротехніки”, ч.2, К., 2000 р., С. 82-85.
- Лукина И.В., Лысак А.В., Мельник В.Г., Могилевский В.М., Семенычева Л.Н. Открытая сетевая информационно-измерительная система с реализацией обмена данными и управления по технологии: “клиент-сервер”. Технічна електродинаміка. Тематичний випуск: “Проблеми сучасної електротехніки” — 2006 р. — Ч. 3, К., — С. 113-118.
- Василенко А.Д., Мельник В.Г., Карпов И.М. Информационно-измерительная система с двухуровневыми измерительными терминалами для исследования быстропротекающих процессов. Технічна електродинаміка. Тематичний випуск: “Проблеми сучасної електротехніки”, — 2004 р., - ч. 6, К., — С. 119-124.
- Ламеко А.Л., Могилевский В.М., Походун А.И., Сурду М.Н., Семенычева Л.Н. Применение многоканальной прецизионной измерительной системы СА320 в энергетике и электротехнике. Технічна електродинаміка. Тематичний випуск: “Проблеми сучасної електротехніки” — 2006 р. — Ч. 4, К. — С. 94-99.