ПРИБОРЫ СЕРИИ «ЭКОТЕСТ®» НПП «ЭКОНИКС®» И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ПРОИЗВОДСТВАХ ГАЛЬВАНОТЕХНИКИ

К. В Сурмелева., П. М. Зайцев, В. Э. Касаткин, Д. В. Красный

ООО НПП «Эконикс», 119991, Москва, Ленинский пр-т, д.31, стр.4

Вот уже два века, как электрохимические технологии находят широкое применение в различных сферах промышленности и науки. Первым масштабным промышленным использованием этих технологий стала сфера гальваники. Потребность в нанесении защитных и декоративных и функциональных металлических покрытий на различные материалы способствовала быстрому прогрессу электрохимии. В этой области знаний вопросы науки и технологии переплетаются особенно тесно.

В гальванических производствах осуществляют электрохимическое нанесение на поверхность изделий из железа, чугуна, стали и др. металлов тонких (до нескольких десятков микрон) и толстых (до нескольких мм) пленок металлов с целью повышения коррозионной стойкости и износостойкости изделий, а так же повышения электрохимических и магнитных характеристик [1-3] и улучшения эстетического вида изделия. Такие пленки наносят, используя электрохимическое осаждение из растворов солей металлов (цинка, никеля, меди, хрома, кадмия, олова, свинца, золота, серебра) и элементов платиновой группы (палладия, платины и родия) и др. Применяемые в гальваническом производстве рабочие растворы содержат значительные концентрации (от 4 до 250 г/дм^3) ионов цветных металлов, сульфатные, фосфатные, борфторидные, хлоридные и цианидные соли алюминия, аммония, кадмия, натрия, бора, щелочи и кислоты [1-3]. Кроме того, они содержат в качестве примесей ПАВ и органические вещества [1-3].

Законы электрохимии составляют основу технологии гальванических производств и используются для разработки и оптимизации нанесения металлических и композиционных покрытий требуемой структуры и состава, а также формирования необходимого характера их распределения по поверхности покрываемого объекта. Закономерности электрохимии, также, используются в ряде методик испытания материалов с гальваническими покрытиями, в том числе при оценке их коррозионной стойкости. Кроме того, методики количественного определения ионов металлов на основе электрохимических методов анализа с успехом могут быть использованы как в технологическом контроле состава гальванических ванн, так и в контроле качества сточных вод производств, а также самого гальванического покрытия.

Очищенные сточные воды гальванических производств, сбрасываемые в окружающую среду, должны соответствовать ГН 2.1.7.020-94 по содержанию экологически контролируемых элементов. К последним относятся практически все осаждаемые элементы гальванических производств, а так же ионы F^-, CN^-, SO_4^{2-}, фосфат-ионы, Na^+, K^+, NH^{4+}. Содержание ионов должно находится на уровне от $5 \cdot 10^{-5}$ % масс. (для Cd) и до $5 \cdot 10^{-2}$ % масс. Поэтому аналитический контроль для технологических смесей подобных производств должен объединять как высокоточные методы определения состава технологических растворов для нанесения металлической пленки, так и высокочувствительные методы анализа экологически контролируемых компонентов и драгоценных металлов (Au, Ag, Pt, Pd, Rh) в сточных водах и других отходах производства. Такое объединение высокоточных и высокочувствительных методов анализа для определения компонентов растворов может быть осуществлено с применением электрохимических и фотометрических методов анализа.

Универсальным прибором, используемым для большинства электрохимических видов исследований и анализов, является потенциостат. Эти электронные приборы, созданные в пятидесятых годах прошлого века, позволяют выполнять поляризацию электрохимической системы в контролируемых условиях, как при поддержании на электроде требуемого потенциала, так и в режиме стабилизации протекающего через ячейку ток. Таким образом, потенциостат может быть использован в качестве прецизионного источника питания электрохимической ячейки, в которой протекает исследуемый процесс (применительно к гальванотехнике – нанесение покрытия). Варьируя характер поляризации и другие условия, исследуют их влияние на параметры процесса формирования покрытия и его свойства. Тот же потенциостат можно использовать и, как аналитический прибор, для реализации на нем методик, основанных на принципах электрохимии. К последним относятся: кулонометрия, вольтамперометрия, полярография и ионометрия.

Кулонометрический метод анализа обеспечивает высокую точность для определения массовой доли основных макрокомпонентов растворов (чувствительность 0,01 – 0,05 %) [4].

Методы вольтамперометрии, в том числе и полярография (предел обнаружения до 10^{-10} моль/дм^3 [5-7]) и ионометрии (предел обнаружения до 10^{-6} моль/дм^3 [8]), также достаточно высокочувствительные и могут применяться для определения экологически контролируемых и дорогостоящих элементов (Au, Ag, Pt и др.).

Научно производственное предприятие «Эконикс®» уже более 20 лет занимает одно из первых мест среди отечественных предприятий занимающихся разработкой, производством и поставкой pH-метров, иономеров, оксиметров, измерителей ХПК, кондуктометров, фотоколориметров, рефлектометров серии "Экотест®", а также комплексным оснащением лабораторий.

Из высокочувствительных электрохимических анализаторов НПП «Эконикс®» выпускает компьютеризированный электрохимический лабораторный комплекс «Экотест®-АВЛ», разработанный совместно со специалистами ИФХЭ РАН. Прибор представляет собой универсальный потенциостат/гальваностат с широким набором характеристик, предназначенный для проведения лабораторных исследований в области электрохимии, коррозии металлов, биотехнологии и т.д. Применительно к электроаналитическим способам анализа, приборы могут применяться для определения массовой концентрации электрохимически активных элементов и веществ в пробах воды, водных растворах или экстрактах, получаемых из различных материалов, по методикам выполнения измерений МВИ

Электрохимический анализатор, являющийся прецизионным источником питания, может быть использован в качестве потенциостата в лабораторных стендах для исследования условий электроосаждения, тестирования работоспособности электролитов, их рассеивающей способности, выхода по току, одним словом, во всех случаях, когда требуется обеспечить определенный режим поляризации ячейки (модели гальванической ванны) выпрямленным током.

Объектами анализа «Экотест®-АВЛ» могут быть: технологические среды и электролиты гальванического производства, воды (очищенные, питьевые, сточные и различные природные), продукты питания, корма для животных, почвы, торф, ил, медико-биологические объекты, медицинские препараты, химические реактивы; высокочистые вещества, руды, минералы, удобрения, твердые, жидкие и газообразные отходы продуктов различных производств и другие материалы, которые следует перевести в раствор путем соответствующей пробоподготовки.

В зависимости от реализуемой методики, приборы могут выполняться в нескольких модификациях с одним каналом поляризации (обычный потенциостат), либо с двумя каналами поляризации (бипотенциостат, обеспечивающий независимую поляризацию двух различных электродов в общей ячейке). Основные характеристики анализаторов представлены в табл.1.

Электрохимические анализаторы «Экотест®-АВЛ» работают с ячейками различных типов, по двух-, трех- и четырехэлектродной схеме поляризации. Последняя схема поляризации используется для двухканальной модификации прибора. В качестве рабочих электродов могут быть использованы как классические стационарные или вращающиеся дисковые электроды, а также, ртутные и ртутно-капельные и твердые (графитовые, стеклоуглеродные, ртутно-пленочные, металлические и пр.) электроды, в том числе и мембранные амперометрические.

Основной особенностью данной разработки является широкая область применения прибора, который может быть использован как в специализированных аналитических лабораториях (в том числе и в лабораториях производства гальванотехники), работающих по готовым методикам МВИ, так и в научно-исследовательских институтах и лабораториях занимающихся исследованиями в области электрохимии.

Программа, управляющая ходом эксперимента, позволяет не только проводить необходимые измерения и анализы, но и обрабатывать полученные данные, составлять протоколы и отчеты. В зависимости от типа анализатора, программа обеспечивает управление параметрами поляризации, задавая, как стационарные режимы электролиза, так и развертку по потенциалу/току или режим импульсной поляризации.

Специальная программа позволяет осуществлять на анализаторе «Экотест®-АВЛ-В» режим переменнотоковой квадратноволновой прямой и инверсионной вольтамперометрии, превращая его в вольтамперометрический анализатор. Рабочим электродом служит вращающийся твердый электрод – графитовый, углеситаловый, ртутно-пленочный, металлический и др., который может быть модифицирован различными добавками.

Принцип вольтамперометрического метода [5] состоит в том, что на поверхности рабочего электрода, помещенного в фоновый раствор с добавкой аликвоты анализируемой пробы, электрохимически осаждается из раствора определяемый компонент в виде нерастворимой соли или металлической пленки при выбранном потенциале и заданном

времени осаждения (накопления). Затем осажденную соль или металлическую пленку электрохимически растворяют, осуществляя развертку потенциала начиная от потенциала осаждения (накопления) до потенциала полного растворения осадка. При этом фиксируется аналитический сигнал в виде зависимости тока от потенциала. Величина тока пропорциональна концентрации определяемого компонента в анализируемом растворе, а потенциал, в точке максимума тока, – его природе. Для повышения чувствительности и селективности определения используется метод переменнотоковой прямой или инверсионной вольтамперометрии с наложением импульсов переменной составляющей различной формы. В модификации «Экотест®-АВЛ-В» используются импульсы квадратной формы – метод квадратноволновой вольтамперометрии. Определение концентрации компонента анализируемой пробы осуществляется методом добавки стандарта.

Разработаны методики определения ионов Cu^{2+}, Zn^{2+}, Cd^{2+}, Pb^{2+}, Ni^{2+}, Co^{2+}, Mn^{2+}, Hg^{2+}, I^{-}, IO^{3-}, Bi^{2+} в интервале концентраций от 0,1 до 200 мкг/дм^3. Чувствительность методики определения ионов Cu^{2+} увеличена и достигает 0,01 мкг/дм^3.

Модификации «Экотест®-АВЛ-П1» и «Экотест®-АВЛ-П2» - представляют собой универсальные одно- или двухканальный потенциостат/гальваностат с широким набором технических характеристик и режимов работ. На данных модификациях может быть реализован режим кулонометрического определения состава веществ.

Кулонометрия [4] – это метод, работающий по принципу замера с высокой точностью количества электричества, израсходованного на полное или частичное проведение электродной реакции окисления или восстановления (со стопроцентным выходом) с участием определяемого компонента или специально применяемого вещества, количественно (в стехиометрическом соотношении) реагирующего с определяемым компонентом.

В методе кулонометрического титрования на одном из каналов поляризации, при заданном потенциале на генерирующем электроде, осуществляется электрохимическое окисление или восстановление определяемого компонента и измерение количества тока, потраченного на эту реакцию. В это время на втором канале на индикаторном электроде регистрируется величина тока, зависящая от наличия на поверхности рабочего электрода восстановленной или окисленной формы специально применяемого соединения (иона), которая количественно химически связывается с определяемым компонентом. Анализатором осуществляется контроль количества тока и времени (при заданном потенциале), пошедшего на электрохимическое окисление или восстановление

определяемого компонента, до тех пор, пока регистрируемая на втором канале величина тока не будет близка к нулю (конечная точка титрования), что обозначает окончание электродной реакции. Далее, зная количество электричества, потраченное на электродную реакцию, рассчитывается масса определяемого компонента в ячейке и его массовая доля в анализируемом объекте.

Таким образом, модификация «Экотест®-АВЛ-В» может быть использована для определения в сточных водах гальванотехнических производств таких ионов как ионов Cu^{2+}, Zn^{2+}, Cd^{2+}, Pb^{2+}, Ni^{2+}, Co^{2+}, Mo^{2+}, Ag^{+}, Cr^{3+} и Cr^{6+}.

Для проведения исследовательских работ в области технологии гальванических производств больше подойдут модификации «Экотест®–АВЛ–П1» и «Экотест®–АВЛ–П2», позволяющие проводить различные электрохимические исследования и использовать методы кулонометрии для нахождения основных компонентов технологических растворов.

Наряду с описанными анализаторами, работающими по принципу измерения величины тока окисления или восстановления определяемого компонента, НПП «Эконикс®» производит иономеры «Экотест®-120» и «Экотест®-2000» с ионоселективными электродами для определения потенциометрическим (ионометрическим) методом широкого ряда ионов (табл.2). Иономеры работают по принципу измерения величины потенциала, возникающего на данном ионоселективном электроде, пропорционально логарифму концентрации определяемого иона. Ионометирический (потенциометрический) метод позволяет определять как катионы, так и анионы с высокой чувствительностью (табл. 2). Применительно к контролю качества сточных вод производств гальванотехники ионометрический метод может быть с успехом применены для определения ионов F^{-}, CN^{-}, SO_4^{2-}, Na^{+}, K^{+}, NH^{4+}, так как их содержание в сбрасываемых очищенных сточных водах на один-, два порядка больше нижнего предела концентрации линейной зависимости аналитического сигнала от концентрации определяемого компонента.

Помимо электрохимических методов анализа, в лабораториях гальванических производств возможно применение и оптических методик анализа. НПП «Эконикс®» разработал ряд приборов, работающих на основе этого метода.

Фотоколориметр «Экотест®-2020» (номер в Государственном реестре средств измерения 31761-06), предназначенный для определения коэффициента пропускания в

пределе от 1 до 100 % и оптической плотности растворов в диапазоне 0 до 2 . Прибор представляет собой компактный фотоколориметр с набором от 1 до 8 световых источников (устанавливаемые длины волн: 400, 430, 470, 502, 525, 565, 595, 620, 660, 850 нм), позволяющей автоматически рассчитывать коэффициенты пропускания, оптической плотности и концентрации. Фотоколориметр подключается к компьютеру, что позволяет проводить спектральный анализ, кинетические исследования, рассчитывать концентрации и составлять отчеты. Конструкция прибора позволяет ввести в память калибровочные кривые для 20 методик при помощи штатного программного обеспечения. Прибор имеет небольшие габариты и может использоваться в полевых условиях в отсутствии ПК.

Модификация прибора “Экотест®-2020-РС” предназначена для измерения концентрации различных ионов в водных растворах при помощи тест-систем, которые представляют собой готовые растворы или сухие смеси реагентов. Преимущество таких систем заключается в уменьшении времени проведения анализа благодаря отсутствию стадии длительной пробоподготовки. В таблице 3 приводятся пределы по концентрации определяемых компонентов. Калибровочные кривые для определяемых элементов внесены в память прибора.

Рефлектометр «Экотест®-2040» предназначен для определения коэффициента отражения и концентрации растворов с помощью любых индикаторных бумаг. К примеру, применительно к гальванотехнике, при помощи тест-полосок Quantofix возможно определять элементы, представленные в таблице 4.

Таким образом, применительно к контролю качества сточных вод производств гальванотехники оптический метод может быть с успехом применены для определения ионов Co^{2+}, Mn^{2+}, Cu^{2+}, Ni^{2+}, Zn^{2+} и SO_4^{2-}, NH_4^{+}, Cr^{6+} при помощи фотоколориметров, так как их содержание в сбрасываемых очищенных сточных водах на один-, два порядка больше нижнего предела концентрации линейной зависимости аналитического сигнала от концентрации определяемого компонента. А при помощи рефлектометра и тест-полосок можно оценить содержание других важнейших компонентов технологических растворов производств гальванотехники в заданных пределах (см. табл. 4).

В заключение остановимся еще на одной возможности использования потенциостата Экотест®-АВЛ для контроля концентрации добавок в электролитах. Не секрет, что блескообразующие и выравнивающие добавки, применяемые в гальваническом производстве, представляют собой композицию сложного состава, причем анализ их

состава классическими методами химического анализа затруднителен. Производители добавок специально включают в их состав маскирующие компоненты, затрудняющие расшифровку формулу, но не мешающие их действию.

Для решения задачи определения концентрации добавок в электролитах гальванического производства сотрудники ИФХЭ РАН им. Фрумкина разработали оригинальный метод, основанный на контроле степени ингибирования добавкой процесса электроосаждения [9-13]. Определение ингибирующего действия добавки производится с использованием электрохимической методики построенной на принципе циклической вольтамперометрии. Однако для интерпретации получаемых результатов от пользователя не требуется знание теории электрохимической кинетики. Все этапы методики анализа и обработки ее результатов осуществляются при помощи специальной компьютерной программы «Кориан», разработанной для управления анализатором **Экотест®-АВЛ** (либо потенциостатом серии IPC)**.** Эта программа может быть установлена в дополнение к штатному программному обеспечению прибора и превращает последний в специализированный анализатор добавок «КОРИАН-3», который обеспечивает:

- измерение концентрации органических добавок (в том числе и многокомпонентных) в электролитах для нанесения гальванических покрытий;
- измерение концентрации сульфатов в электролитах хромирования (время анализа: 5 – 10 мин., ошибка –5%).

«КОРИАН-3» обладает высокой чувствительностью (0.1 мл/л) и позволяет за 5 –10 мин с ошибкой, не превышающей 5%, определять в различных типах электролитов концентрации разнообразных по природе органических добавок. Результаты анализа выдаются в цифровом виде и графически.

Выводы

Разработанные НПП «Эконикс®» электрохимические лабораторные анализаторы «Экотест®-АВЛ» могут с успехом применятся как для определения макрокомпонентов в технологических смесях, так и микроконцентраций в сточных водах гальванотехнических производств и окружающей среде с высокой точностью до 0,1 % отн. и высокой чувствительностью до 10^{-10} М/дм^3 и селективностью. Так же они могут быть использованы как прецизионные источником питания в лабораторных стендах для

исследования условий электроосаждения, тестирования работоспособности электролитов, их рассеивающей способности, выхода по току и т. д.

Иономеры серии «Экотест®», работающие на основе измерения величины потенциала ионоселективного электрода в присутствии определяемого катиона или аниона позволяют значительно сократить продолжительность анализа и автоматизировать аналитический контроль производств.

Применение фотометрических методик анализа с использованием фотоколориметров и рефлектометров серии «Экотест®» расширяют возможности аналитического контроля гальванотехнических производств.

Для контроля концентрации добавок в электролитах гальванического производства можно использовать программно-аппаратный комплекс «Кориан» на базе анализаторов серии «Экотест®-АВЛ» или потенциостатов «IPC».

Литература

1. Инженерная гальванотехника в приборостроении. Под ред. А. М. Гринберга, М. 1977
2. Гальванические покрытия в машиностроении Под. Ред. М. А. Шлугера, Т. 1, М. 1985.
3. Химическая энциклопедия М. «Советская энциклопедия», Т.1, 1988;
4. *Агасян П. К., Хамракулов Т. К.* Кулонометрический метод анализа. М.: Химия, 1984. 168 с.
5. *Выдра Ф., Штулик,Э., Юлакова* Инверсионная вольтамперометрия. Пер. с чешского, М.: Мир, 19811. 278 с.
6. *Брайнина Х. З., Нейман Е. Я.* Твердофазные реакции в электроаналитичечской химии. М.: Химия. 246 с.
7. *Бонд А. М., Инцельт Д., Калерт Х.* и др. Электроаналитические методы. Теория и практика. (под ред. Ф. Шольца, пер. с англ.), М.: Бином. Лаборатория знаний, 2006. 326 с.
8. *Демина Л. А., Краснова Н. Б., Юрищева Н. Б., Чупакин Б. С.* Ионометрия в неорганическом анализе , М.: Химия, 1991
9. *Solodkova L., Kudryavtsev V., Hauser R.* CVS- Method zur Bestimmung der organischen Zusätze in schwefelsauren Kupferelektrolyten – Teil 1 // Galvanotechnik. - 2001, №7, S.1820-1824.
10. *Solodkova L., Kudryavtsev V., Hauser R.* CVS- Method zur Bestimmung der organischen Zusätze in schwefelsauren Kupferelektrolyten – Teil 2 // Galvanotechnik. - 2001, №8, S.2080-2087.
11. *Солодкова Л.Н.* Циклическая вольтамперометрия со стравливанием (CVS) – метод определения концентрации органических добавок в электролитах для электроосаждения металлов // Сб. тезисов докладов Международной конференции к 200-летию Якоби Б.С. «Электрохимия, гальванотехника и обработка поверхности» 4-8 июня 2001г. Москва. С.109.
12. *Солодкова Л.Н.* Об оценке эффективности действия органических добавок в электролитах для электроосаждения металлов //Сб. тезисов докладов Ежегодной Всероссийской научно-практической конференции – Гальванотехника, обработка поверхности и экология в XXI веке. Апрель 2003г.С.119-121.

13. *Солодкова Л.Н* Метод и прибор для определения органических добавок в сернокислых электролитах меднения // Сб. тезисов семинара « Гальванотехника в электронике, производстве печатных плат и изделий с использованием покрытий драгметаллами» 8-9 декабря 2003г. Москва.

Таблица 1

Электрохимические анализаторы ЭКОТЕСТ-АВЛ® *Номер в Госреестре– 38470-10*

Характеристики	**Модификация**		
	ЭКОТЕСТ®-АВЛ- В	**ЭКОТЕСТ® – АВЛ-П1***	**ЭКОТЕСТ® - АВЛ-П2***
Количество каналов поляризации	1	1 (2*)	1 (2*)
Диапазон изменения поляризующего напряжения, В	от –2,4 до +2,4	канал 1: от -5 до +5 канал 2: от -5 до +5	канал 1: от -5 до +5 канал 2: от -5 до +5
Предел допускаемой абсолютной погрешности установки поляризующего напряжения не более, мВ.	± 5	канал 1: ± 10 канал 2: ± 10	канал 1: ± 10 канал 2: ± 10
Диапазон скорости развертки поляризующего напряжения, мВ/с	от ±1 до ±100	канал 1: от ±1 до ± 100000 канал 2: -	канал 1: от ±1 до ± 100000 канал 2: -
Предел допускаемой относительной погрешности установки скорости развертки, не более, %	1	канал 1: 1 канал 2: -	канал 1: 1 канал 2: -
Диапазон измерения силы тока в цепи электрохимической ячейки	1 диапазон: от -500 до +500 мкА	5 диапазонов: канал 1: от -5 до +5 мкА; от -50 до +50 мкА; от -500 до +500 мкА; от -5 до +5 мА; от -50 до +50 мА канал 2: от -50 до +50 мА	7 диапазонов: канал 1: от -5 до +5 мкА; от -50 до +50 мкА; от -500 до +500 мкА; от -5 до +5 мА; от -50 до +50 мА от -500 до +500 мА от -1 до +1 А канал 2: от -1 до +1 А
Предел допускаемой приведенной погрешности измерения силы тока, нормированной относительно верхнего значения диапазона измерения, не более, %	1	в диапазоне токов от -5 до +5 мкА — 5; в остальных диапазонах — 1	в диапазоне токов от -5 до +5 мкА — 5; в остальных диапазонах — 1
* Характеристики по выбору потребителя			

Таблица 2

Ион-селекитивные электроды серии «ЭКОМ» *Номер в Госреестре– 12845-06.*

Ион	Диапазон измерений		Допустимый диапазон		Мешающие ионы
	моль/дм^3	мг/дм^3	pH	Температура среды, $^{\circ}$C	
Cl^-	10^{-5} - 10^{-1}	0,3 - 3,6·10^3	2 -12	5 - 50	S^{2-}, I^-, Br^-
Br^-	10^{-5} - 10^{-1}	0,8 - 8·10^3	2 - 12	5 - 50	S^{2-}, I^-, Cl^-
I^-	10^{-5}- 10^{-1}	1 - 12,7·10^3	3 - 9	5 - 50	S^{2-}, Cl^-, Br^-
Na^+	10^{-4} - 10^{-1}	2,3 - 2,3·10^3	pH > 8	5 - 80	NH_4^+, K^+
K^+	10^{-5} - 10^{-1}	0,4 - 39,6·10^2	1 - 8,5	5 - 45	NH_4^+, Na^+
NH_4^+	5·10^{-5}-10^{-1}	0,9 - 1,8·10^3	3 - 8,5	5 - 45	K^+, Na^+
NO_3^-	10^{-5} -10^{-1}	0,6 - 6,2·10^3	1 - 10	5 - 45	CO_3^{2-}, Cl^-, NO_2^-, I^-, Br^-, ClO_4^-
NO_2^-	10^{-6} -10^{-2}	0,046 - 46·10^2	3,4 –3,8	5 - 45	CH_3COO^-
Ag^+	10^{-5} -10^{-1}	1 - 10,8·10^3	1 - 9	5 - 50	Hg^{2+}
S^{2-}	10^{-5} - 10^{-1}	0,32 - 3,21·10^3	13 - 14	5 - 50	Hg^{2+}
Cu^{2+}	10^{-5} - 10^{-1}	0,64 - 6,36·10^3	3 - 7	5 - 50	Hg^{2+}, Ag^+, Fe^{3+}
Cd^{2+}	10^{-5} - 10^{-1}	1 - 11,24·10^3	3 - 7	5 - 50	Hg^{2+}, Ag^+, Pb^{2+}, Cu^{2+}, Fe^{2+}
Pb^{2+}	10^{-5} - 10^{-1}	2 - 20,72·10^3	4 - 7	5 - 50	Hg^{2+}, Ag^+, Cu^{2+}, Cd^{2+}
Hg^{2+}	10^{-5} - 10^{-1}	2 -20,06·10^3	0 - 3	5 - 50	Ag^+
Ca^{2+}	10^{-5} - 10^{-1}	0,4 - 4·10^3	6 - 8	5 - 45	Mg^{2+}, Ba^{2+}, Zn^{2+}, Cu^{2+}, Fe^{2+}
Ba^{2+}/SO_4^{2-}	10^{-5} -10^{-1}	1,37 - 13,7·10^3	3 -10	5 - 45	Mg^{2+}, Ca^{2+}, K^+, Na^+, NH_4^+
CO_3^{2-}	10^{-7} - 10^{-3}	0,006 - 60,01	6 - 9	5 - 45	CH_3COO^-
ClO_4^-	10^{-5} - 1	0,99 - 99,5·10^3	2 -11	5 - 45	NO_3^-, CNS^-, I^-
F^-	10^{-6} - 10^{-1}	0,019 - 1,9·10^3	4 - 8	5 - 80	Fe^{3+}, Al^{3+}
CNS^-	10^{-5} - 10^{-1}	0,58 - 5,81·10^3	2 -11	5 - 50	S^{2-}, I^-, Ag^+, Cl^-, Br^-, CN^-
Ca^{2+}+Mg^{2+}	10^{-5} - 10^{-1}		7 -10	5 - 45	K^+, Na^+, Ba^{2+}, NH_4^+
pH			0 -12	5 - 80	
pH комб.			0 -12	5 - 40	
Eh				0 - 150	
Электрод сравнения ЭВЛ-1М3.1					

Таблица 3

Диапазоны определяемых концентраций по некоторым компонентам для фотоколориметра “Экотест®-2020-РС”

Элемент	**Диапазон мг/л**	**Элемент**	**Диапазон мг/л**
Аммоний	0,1-10,0	Никель	0,02-6,0
Бор	0,1-1,0	Нитрат	0,1-10,0
Железо (II)	0,1-8,0	Нитрит	0,05-1,2
Железо (III)	0,03-1,2	Сульфат	10-500
Железо общее	0,05-3,0	Фенол	0,05-4,0
Кобальт	0,02-3,0	Фосфат	0,05-10,0
Марганец	0,05-3,0	Хром	0,005-2
Медь	0,02-6,0	Цинк	0,02-0,9

Таблица 4

Диапазоны определяемых концентраций по некоторым компонентам для фоторефлектометра «Экотест®-2040» с тест-полосками Quantofix

Алюминий	0-500 мг/л	Медь	0-300 мг/л
Хроматы	0-100 мг/л	Цианиды	0-30 мг/л
Кобальт	0-1000 мг/л	Молибден	0-250 мг/л
Цинк	0-100 мг/л	Никель	0-1000 мг/л
Олово	0-500 мг/л	Сульфаты	200-1600 мг/л