АКВИЛОН

АНАЛИТИЧЕСКОЕ И ЛАБОРАТОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Титратор потенциометрический автоматический АТП-02



Титратор автоматический АТП-02

В современной жесткой конкурентной среде качественное оборудование играет ключевую роль в повышении эффективности рабочих процессов. Чтобы быстро получать высокоточные результаты, правильно использовать навыки персонала и соблюдать все нормативные требования, необходим титратор, который будет надёжным и верным помощником при решении любых задач. Титратор АТП-02 это современный инновационный инструмент, удовлетворяющий потребностям самого высокого уровня. Требования, предъявляемые в отношении лабораторий и предприятий могут меняться достаточно быстро. С титраторами АТП-02 это не станет проблемой, система гибко адаптируется и к текущим и к будущим требованиям.



АТП-02 – автоматический высокоточный потенциометрический титратор. Прибор отвечает всем требованиям, предъявляемым к данному классу оборудования: непрерывная и дискретная подача титранта (диапазон от 0,1 до 36 мл/мин – при объёме дозирующего устройства 20мл; и от 0,25 до 90 мл/мин – при объёме дозирующего устройства 50мл), автоматическое изменение скорости подачи по мере приближения к точке эквивалентности или заданной точке и т.д.

Прибор позволяют проводить титрование, используя следующие методы:

- общий метод потенциометрического титрования;
- кислотно-основное титрование;
- титрование по методу осаждения;
- титрование по методу комплексообразования и др.

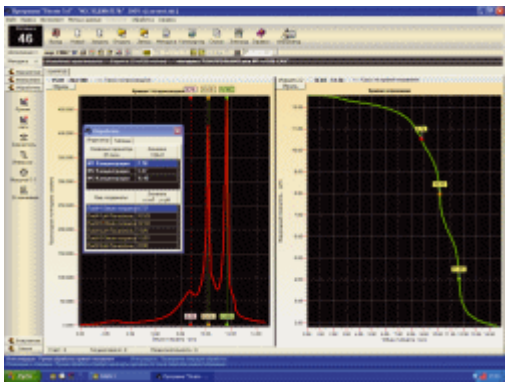
Более подробно познакомиться с устройством и прицепами работы титратора **АТП-02** Вы можете, загрузив руководство с нашего сайта. В этом руководстве так же содержатся общие рекомендации по выбору комплектации титратора.

Технические характеристики

Макс. объём дозирующего устройства	20,0; 50,0
Дискретность отсчета объема титранта, мл	0,001
Основная относительная погрешность дозирования, %	1,0
Диапазон измерения: напряжения, мВ величины pH(pX), ед.pH(pX) температуры,°С	от -2000 до 2000 от -20 до 20 от 0 до 100
Основная абсолютная погрешность измерения: напряжения, мВ величины pH (pX) для одновалентных и двухвалентных ионов соответственно, ед.pH(pX) температуры, °С	1,0 0,01; 0,02 1,0
Потребляемая мощность (без ПК), не более, ВА	40,0

Электропитание, В/Гц	220±22/50
Габаритные размеры (длина х ширина х высота), мм	210х220х310
Масса, не более, кг	5

Дополнительная информация



Управление титратором осуществляется с помощью программного комплекса Titrate, который поставляется во многих видах комплектаций, имеющих разный уровень функциональных возможностей:

Программный комплекс Titrate – современный программный продукт с большими аналитическими возможностями и удобным, дружественным интерфейсом, построенным по принципу интуитивности. С помощью данной программы осуществляется полное управление прибором в процессе измерений, проводится обработка данных, рассчитываются метрологические характеристики полученных результатов, реализуется хранение информации и печать протоколов измерений.

В зависимости от решаемой задачи и квалификации оператора программа Titrate может работать в двух режимах - "Анализатор" и "Исследователь".

Режим "Анализатор" реализует проведение измерений в точном соответствии с методикой и нормативным документом при полной автоматизации процесса получения результата. По команде "Пуск" автоматически происходит:

- измерение и обработка данных;
- построение отчета;
- сохранение протокола измерения в базе данных;
- печать протокола измерения в соответствии с требованиями нормативного документа.

Этот режим наиболее продуктивно применяется при ежедневных измерениях и позволяет минимизировать погрешности и ошибки, вносимые оператором. Программа ведет оператора по всей методике, при необходимости выводит необходимые подсказки, информирует о возможных ошибках. В этом режиме также возможно использование целевых программ, входящих в состав комплекса.

В режиме "Исследователь" открываются все огромные возможности программы, такие как:

- создания собственных методик выполнения измерений;
- корректировка уже существующих методик;
- разработка новых и изменение существующих механизмов обработки результатов измерений;
- изменения расчетных механизмов и интерфейсов пользователя;
- калибровка и ввод параметров новых электродов;
- разработка новых и корректировка существующих протоколов и печатных форм;
- реализация всех исследовательских функций комплекса.

Методы и методики, разработанные в режиме "Исследователь", могут в дальнейшем использоваться в режиме "Анализатор".

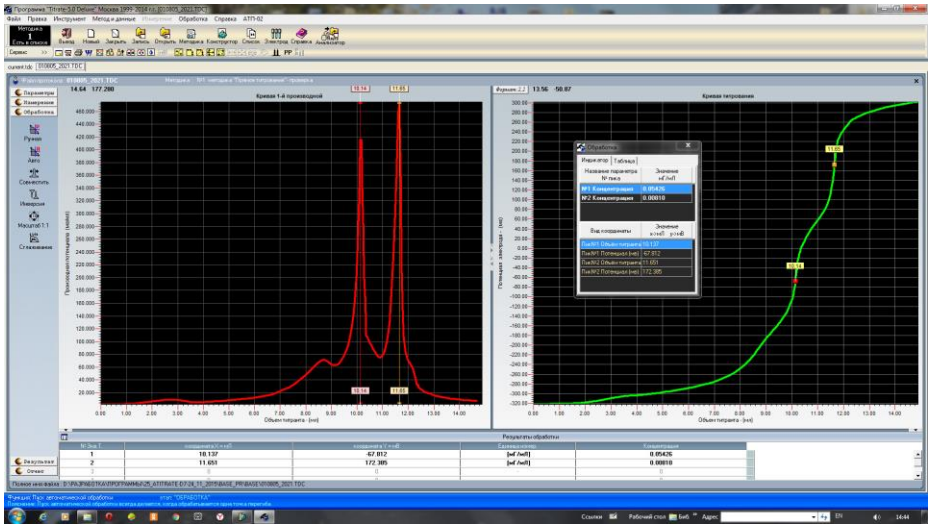
Некоторые комплектации программного комплекса Titrate:

1. Программный комплекс "Titrate Base" - базовая комплектация; •

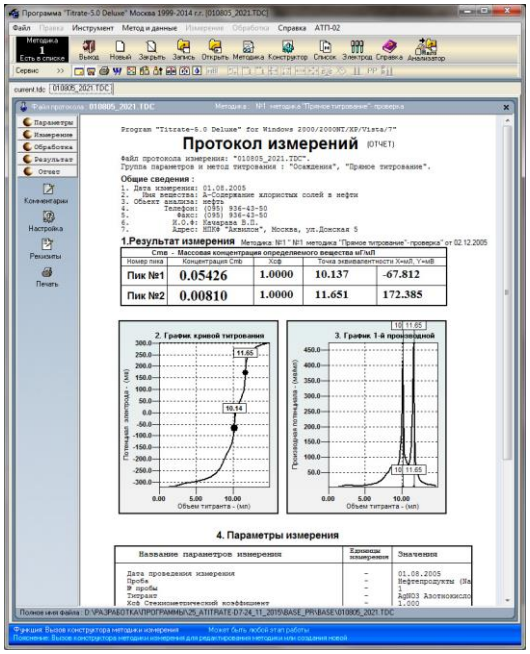
Базовая комплектация "Titrate Base" всегда поставляется в составе титратора АТП-02. Закупка титратора АТП-02 автоматически предопределяет приобретение программного комплекса "Titrate Base". Базовая комплектация "Titrate Base" реализует на АТП-02:

Три метода титрования: • Метод прямого титрования; • Метод титрования до заданной точки в pH; • Метод титрования до заданной точки в мВ;

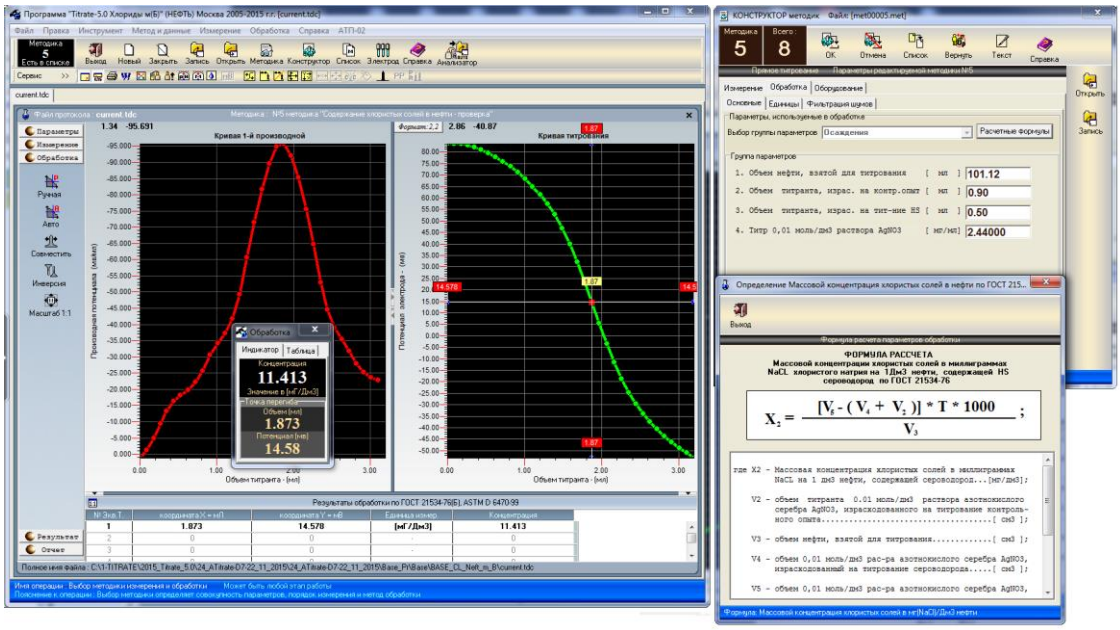
2. Программный комплекс "Titrate DeLuxe" - средняя комплектация; •



Средняя комплектация "Titrate DeLuxe" поставляется отдельно от базовой комплектации "Titrate Base". Приобретение программного комплекса "Titrate DeLuxe" делается по желанию заказчика приобрести программный комплекс, имеющего по сравнению с "Titrate Base", больше возможностей. Средняя комплектация "Titrate DeLuxe" реализует на АТП-02:
Четыре метода титрования: • Метод прямого титрования; • Метод обратного титрования (DL); • Метод титрования до заданной точки в pH; • Метод титрования до заданной точки в мВ;

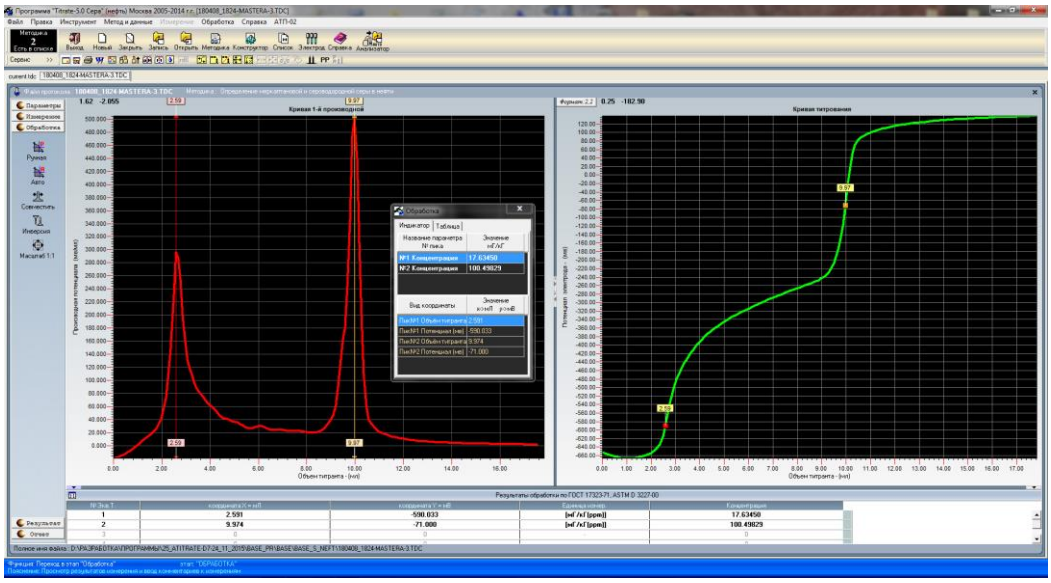

Протокол измерений

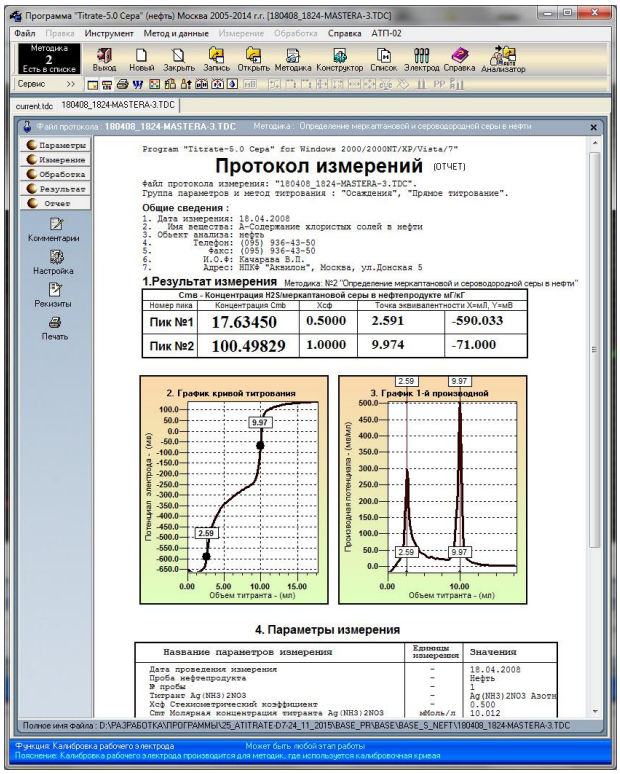
3. Программный комплекс Titrate Хлориды" - спецкомпектация. Измерение хлоридов в нефтепродуктах по ГОСТ 21534-76(А), СТСЭВ 2879-87, USA ASTM D6470-99; •



Программный комплекс "Titrate Хлориды" предназначен для измерений, обеспечивающих определение концентраций хлористый солей в нефти и нефтепродуктах по ГОСТ 21534-76(А), СТСЭВ 2879-87, USA ASTM D6470-99. Программный комплекс "Titrate Хлориды" содержит весь инструментарий программного комплекса "Titrate Deluxe" и модуль стандартизации титранта. Порядок работы и список возможностей данного программного продукта аналогичен "Titrate Deluxe" в части стандартизации титранта. Особенностью настоящего программного продукта является жесткая настройка ПП на выполнение требований по проведению измерений о ГОСТ 21534-76(А), СТСЭВ 2879-87, USA ASTM D6470-99. Пользователю потребуется минимальное количество операций, чтобы получить правильный результат измерений

4. Программный комплекс Titrate Сера " - спецкомплектация. Измерение сероводородной и меркаптановой серы в нефтепродуках по ГОСТ 17323, СТСЭВ 756-77, USA ASTM D 3227-00; •



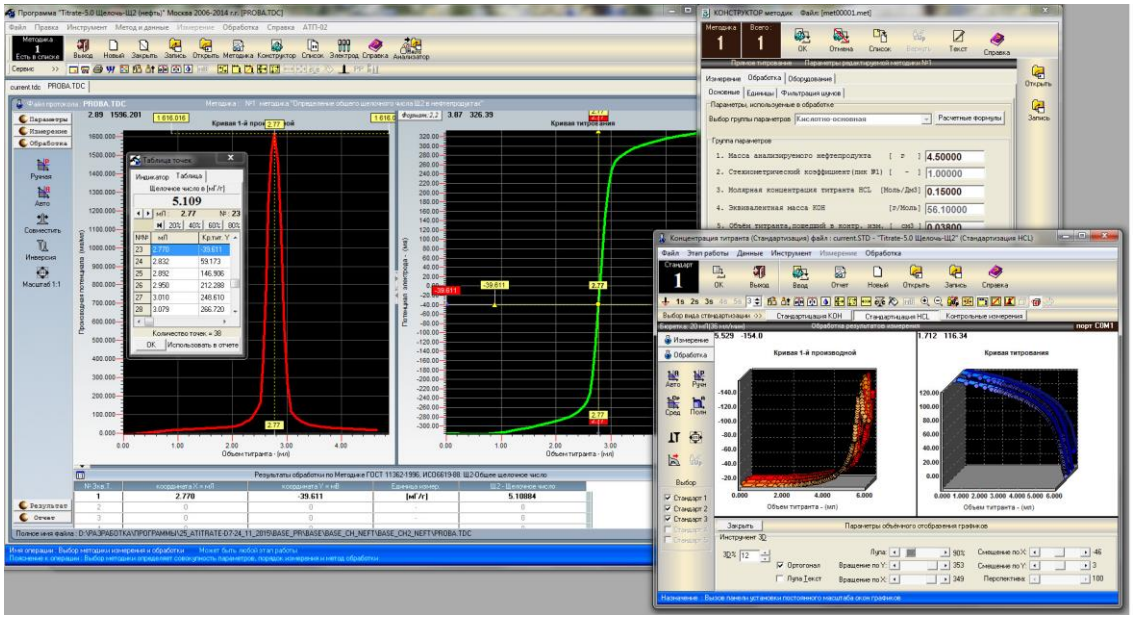


Программный комплекс "Titrate Сера" предназначен для измерений, обеспечивающих определение концентраций сероводородной и меркаптановой серы в нефти и нефтепродуктах по ГОСТ 17823-71, СТСЭВ 756-77, USA ASTM D3227-00, IP 399.

Программный комплекс "Titrate Сера" содержит весь инструментарий программного комплекса "Titrate Deluxe" и модуль стандартизации титранта. Порядок работы и список возможностей данного программного продукта аналогичен "Titrate Deluxe" в части стандартизации титранта. Особенностью настоящего программного продукта является жесткая настройка ПП на выполнение требований по проведению измерений по ГОСТ 17823-71, СТСЭВ 2756-77, USA ASTM D3227-00, IP 399. Пользователю потребуется минимальное количество операций, чтобы получить правильный результат измерений

5. Программный комплекс "TitrateУран " - спецкомплектация. Измерение массовой доли урана в рудах ванадатным методом.

6. Программный комплекс"Titrate Щелочь-Щ2 " - спецкомплектация. Измерение общего щелочного числа Щ2 по ГОСТ 11362-96, ИСО 6619-88; •



Программный комплекс "Titrate Щелочь-Щ2" предназначен для измерений, обеспечивающих определение общего щелочного числа нефтепродуктах по ГОСТ 11362-96, ИСО 6619-88.

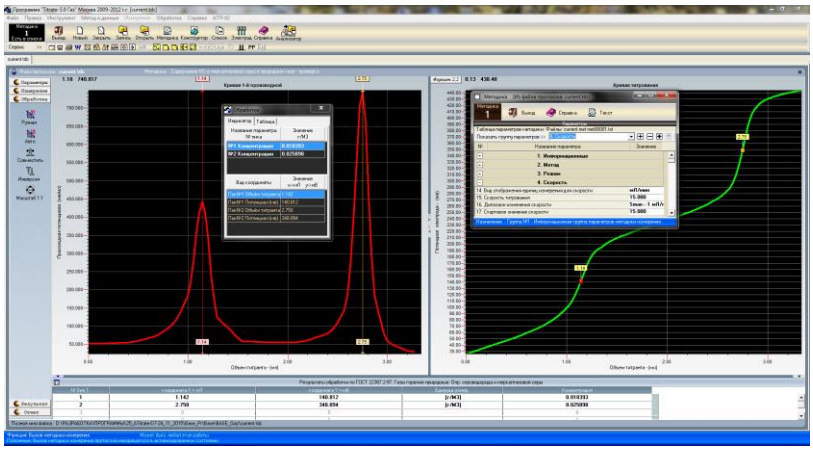
Программный комплекс "Titrate Щелочь-Щ2" содержит весь инструментарий программного комплекса "Titrate Deluxe" и модуль стандартизации титранта. Порядок работы и список возможностей данного программного продукта аналогичен "Titrate Deluxe" в части стандартизации титранта. Особенностью настоящего программного продукта является жесткая настройка ПП на выполнение требований по проведению измерений по ГОСТ 11362-96, ИСО 6619-88.

7. Программный комплекс"Titrate Молоко-К" - спецкомплектация. Измерение кислотности молока и молочных продуктов потенциометрическим методом по ГОСТ 3624-92; •

Программный комплекс "Titrate Молоко-К" предназначен для измерений, обеспечивающих определение кислотности молока и молочных продуктов по ГОСТ 3624-92.

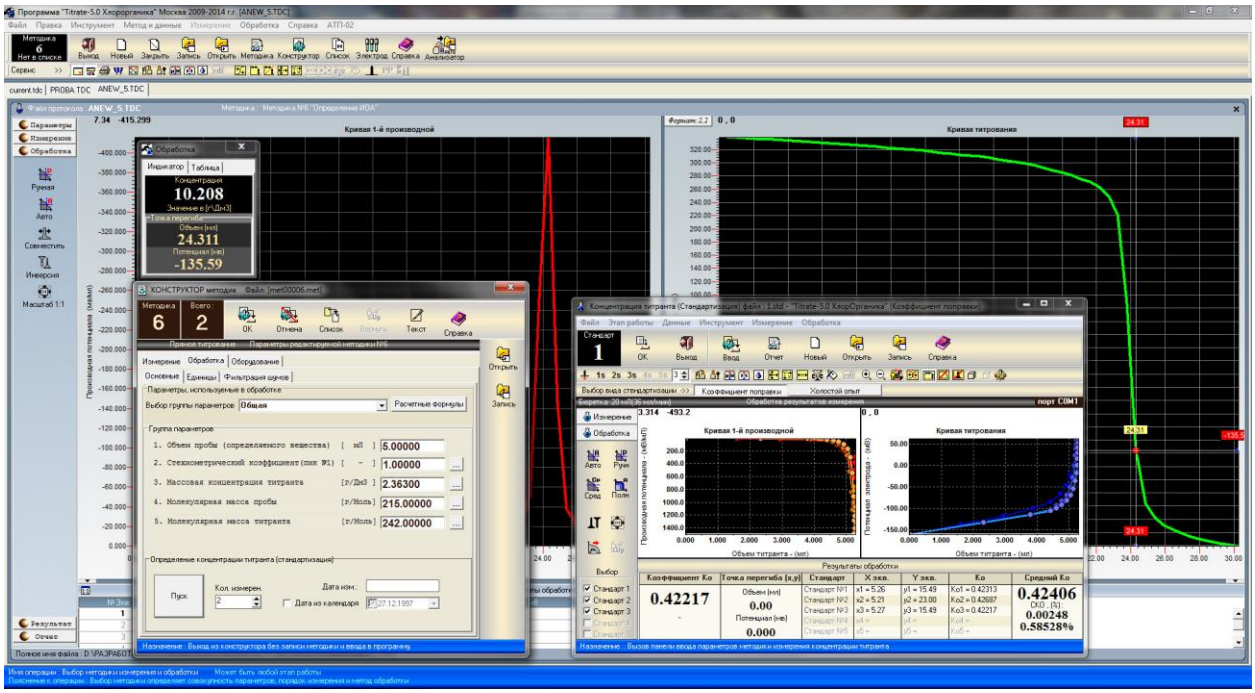
Программный комплекс "Titrate Молоко-К" содержит необходимый инструментарий из программного комплекса "Titrate Deluxe". Особенностью настоящего программного продукта является жесткая настройка ПП на выполнение требований по проведению измерений по ГОСТ 3624-92.

8. Программный комплекс"Titrate ГАЗ" - спецкомплектация. Измерение сероводородной и меркаптановой серы в природном горючем газе потенциометрическим методом по ГОСТ 22387.2-97; •



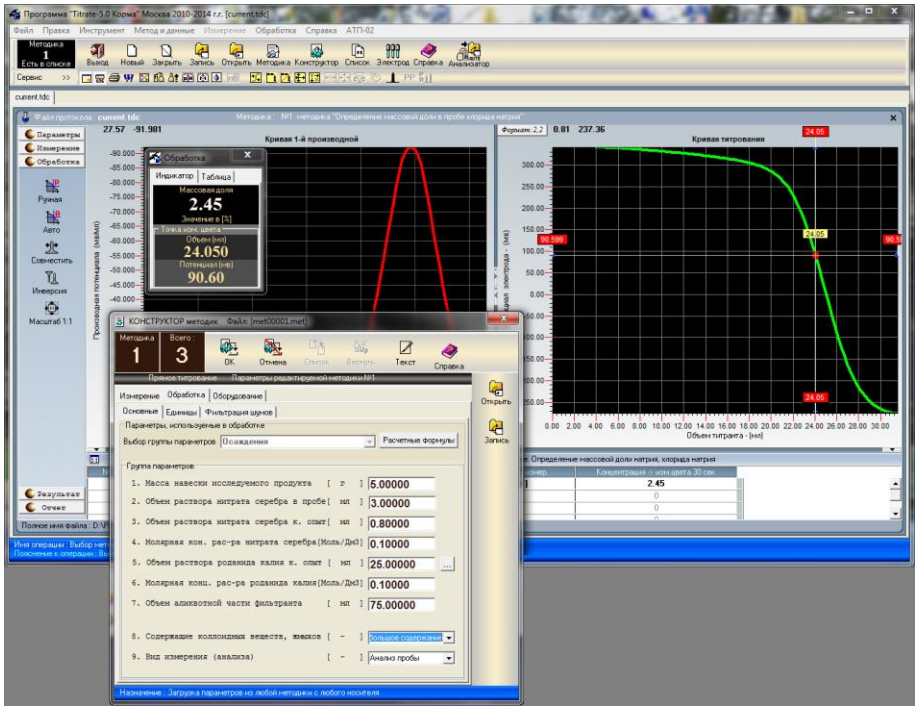
Программный комплекс "Titrate Газ" содержит весь инструментарий программного комплекса "Titrate Deluxe". Порядок работы и список возможностей данного программного продукта аналогичен "Titrate Deluxe". Особенностью настоящего программного продукта является жесткая настройка ПП на выполнение требований по проведению измерений по ГОСТ 22387.2-97.

9. Программный комплекс "Titrate ХлорОрганика" - спецкомплектация. Измерение хлорорганических соединений в нефти потенциометрическим методом по ГОСТ Р 52247-2004, АСТМ Д 4929-99;



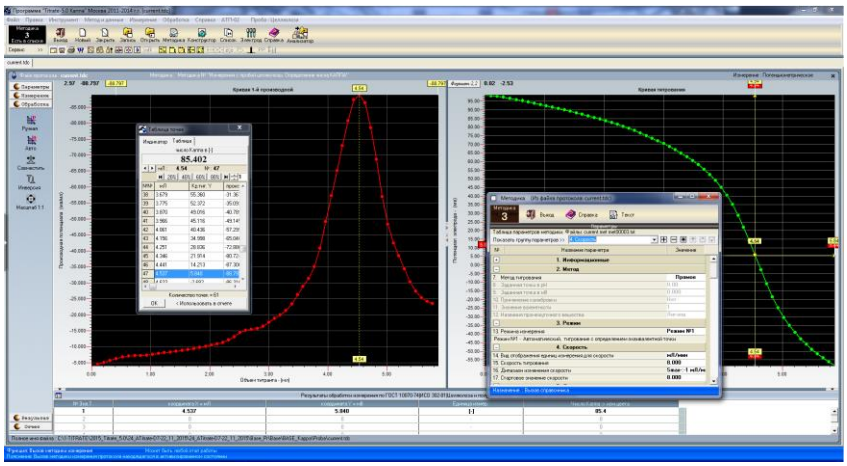
Программный комплекс "Titrate ХлорОрганика" содержит весь инструментарий программного комплекса "Titrate Deluxe". Особенностью настоящего программного продукта является жесткая настройка программы на выполнение требований по проведению измерений по ГОСТ Р 52247-2004, АСТМ Д 4929-99.

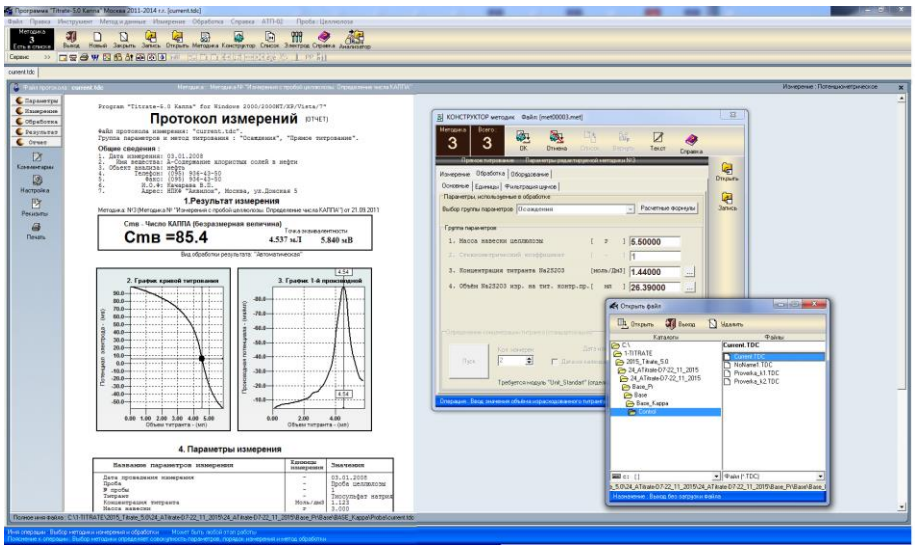
10. Программный комплекс "Titrate Корма" - спецкомплектация. Измерение, определяющее содержание натрия и хлорида натрия в комбикормах и комбикормовом сырье по ГОСТ 13496.1-98; •



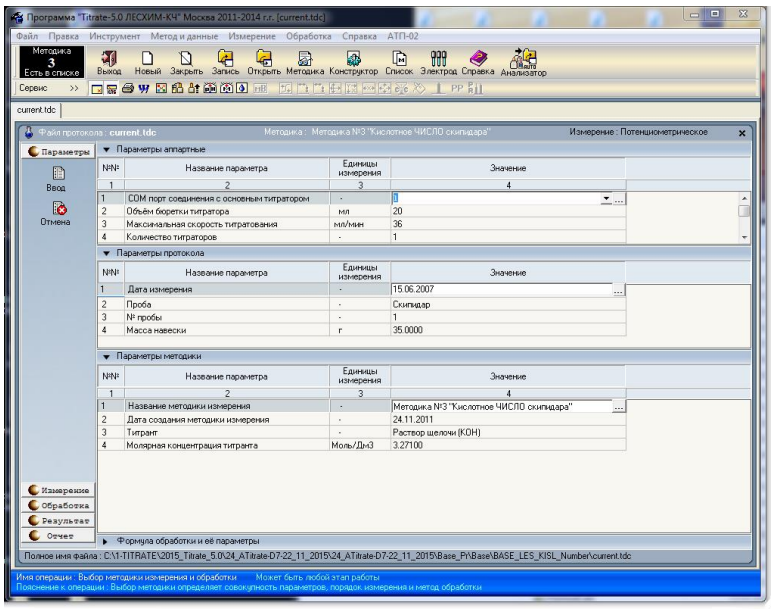
Программа "Titrate Корма" жестко настроен на выполнение требований по проведению измерений и обработки результатов измерений согласно госта.

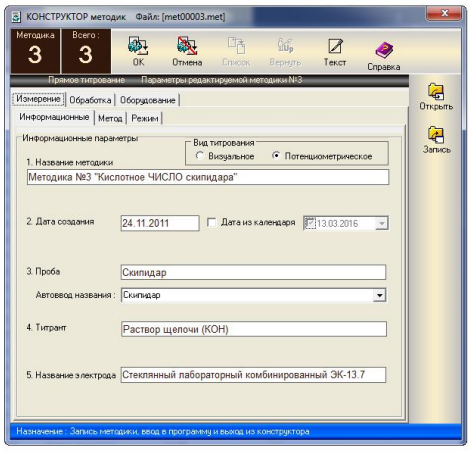
11. Программный комплекс "Titrate Каппа" - спецкомплектация. Измерение, определение Числа Каппа, выражающая степень провара (делигнификации) небеленных и полубеленых целлюлоз и полуцеллюлоз по ГОСТ 10070-74 (ИСО 302- 81); •





12. Программный комплекс "Titrate ЛЕСХИМ-К" - спецкомплектация. Измерение, определение Кислотного ЧИСЛА лесохимической продукции по ГОСТ 17823.1-72; •

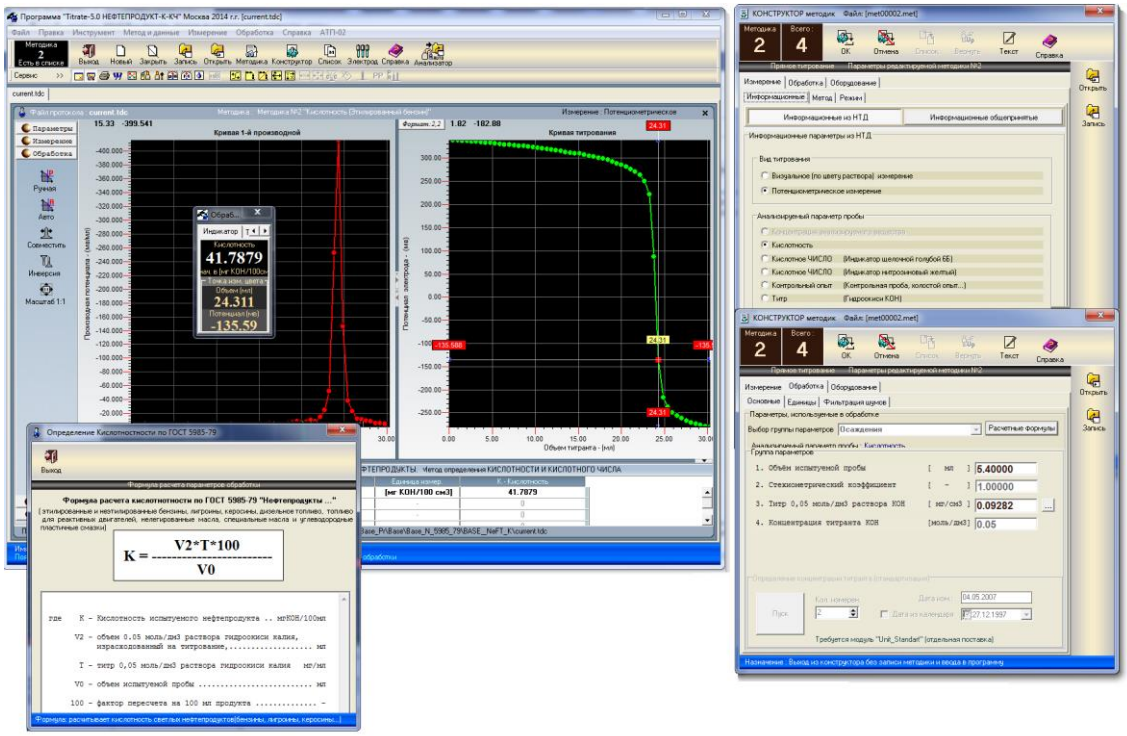




Программа "Titrate ЛЕСХИМ-К" предназначена для измерений, обеспечивающих определение К - кислотного ЧИСЛА, показывающее количество миллиграммов гидроокиси калия КОН, необходимое для нейтрализации свободных кислот, содержащихся в 1 г

продукта (канифоли, скипидара, древесных масел, растворителей, древесных смол и других лесохимических продуктов) по ГОСТ 17823.1-72

13. Программный комплекс "Titrate НЕФТЕПРОДУКТЫ-К-КЧ" - спецкомплектация. Измерение, определение Кислотности и Кислотного ЧИСЛА светлых нефтепродуктов по ГОСТ 5985-79; •



Программа "Titrate НЕФТЕПРОДУКТЫ-К-КЧ" предназначена для измерений, обеспечивающих определение К-кислотности, К1- кислотного ЧИСЛА по ГОСТ 5985-79 светлых нефтепродуктов. Программа реализует титрование кислых соединений испытуемого продукта спиртовым раствором гидроокиси калия в присутствии цветного индикатора и определении для светлых нефтепродуктов кислотности, выраженной в мг КОН/100 см3, для масел и смазок - кислотного числа, выраженного в мг КОН/г

14. Программный комплекс "Titrate Кислотность-К1" - спецкомплектация. Измерение, определение Кислотного ЧИСЛА в нефтепродуктах по ГОСТ 11362-96, ИСО 6619-88 и стандартизация титранта (КОН) согласно ГОСТ 25794.1-83; •

Программа "Titrate Кислотность-К1" предназначена для измерений, обеспечивающих определение Общего кислотного числа К1 (суммарное кислотное число сильных и слабых кислот) в нефтепродуктах и смазочных материалах согласно ГОСТ 11362-96(ИСО 6619-88).

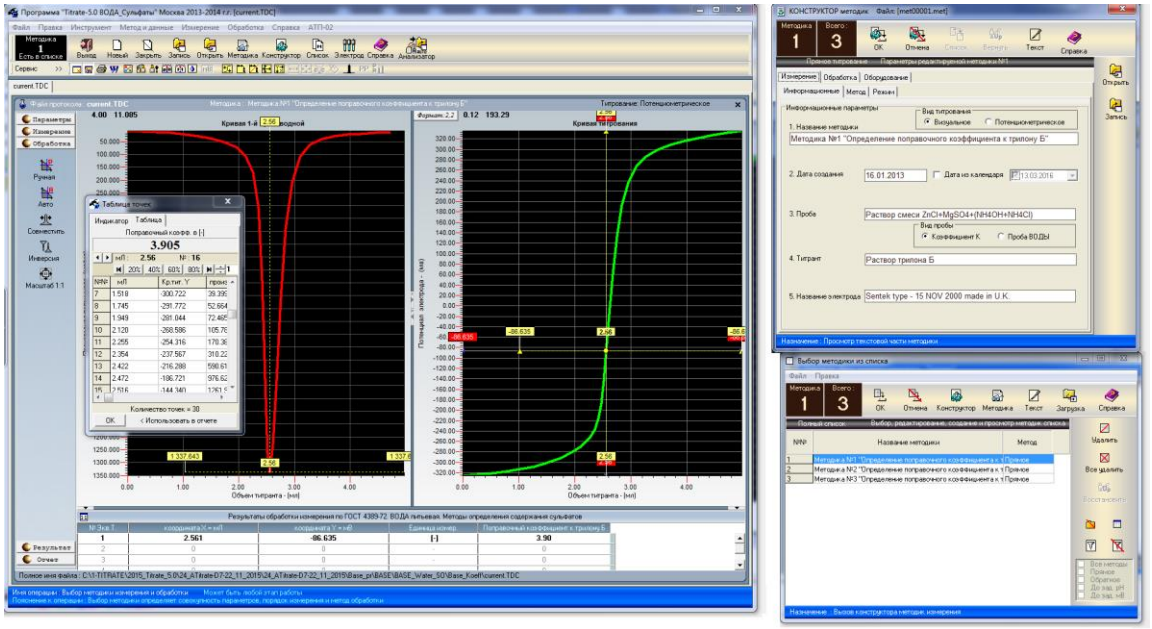
15. Программный комплекс "Titrate ВОДА-Хлориды" - спецкомплектация. Измерение, определение содержания хлоридов Cl- в питьевой ВОДЕ по ГОСТ 4245-72; •

Программа "Titrate ВОДА_Хлориды" предназначена для измерений, обеспечивающих определение содержания хлор-иона в питьевой ВОДЕ согласно ГОСТ 4542-72 . Метод основан на осаждении хлор-иона в нейтральной или слабощелочной среде азотнокислым серебром в присутствии хромовокислого калия в качестве индикатора. После осаждения хлорида серебра в точке эквивалентности образуется хромовокислое серебро, при этом желтая окраска раствора переходит в оранжево-желтую.

16. Программный комплекс "Titrate Гидрокарбонаты" - спецкомплектация. Измерение, определение массовой концентрации гидрокарбонатов в пробах природных ВОД по ПНД Ф 14.2.99-97; •

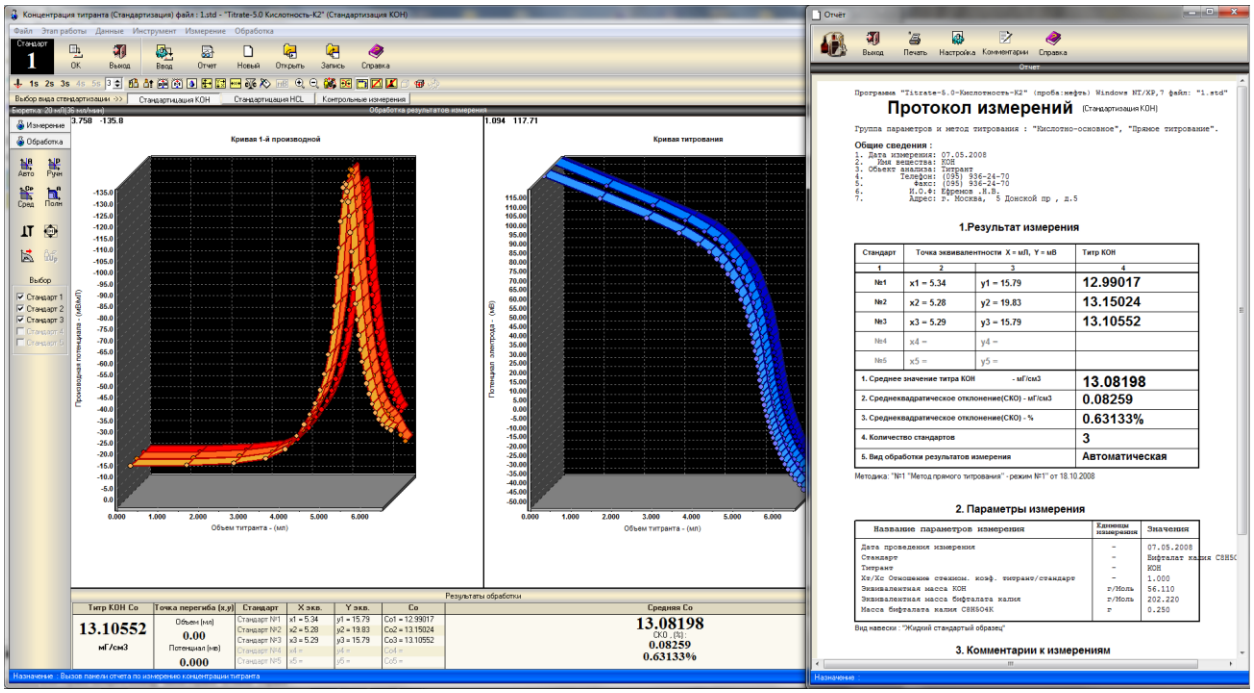
Программа "Titrate Гидрокарбонаты " предназначена для измерений, обеспечивающих определение массовой концентрации гидрокарбонатов в пробах природных ВОД согласно ПНД Ф 14.2.99-97.Настоящий нормативный документ устанавливает методику количественного химического анализа проб природных вод для определения в них массовой концентрации гидрокарбонатов в диапазоне от 10 до 500 мг/дм3 при потенциометрическом титровании (вариант 1)

17. Программный комплекс "Titrate ВОДА-Сульфаты" - спецкомплектация. Измерение, определение содержания сульфатов SO- в питьевой ВОДЕ по ГОСТ 4389-72; •



Программа "Titrate ВОДА_Сульфаты" предназначена для измерений, обеспечивающих определение содержания сульфатов в питьвой ВОДЕ согласно ГОСТ 4389-72 . Метод измерения основан на осаждении ионов SO_4^{2-} хлористым барием. Осадок сернокислого бария растворяют в титрованном растворе трилона Б, избыток которого определяют титрованием раствором хлористого магния. Количество трилона Б, израсходованное на растворение сернокислого бария, эквивалентно количеству сульфат ионов во взятом объеме воды.

18. Программный комплекс "Titrate Кислотность-К2" - спецкомплектация. Измерение, определение Кислотного ЧИСЛА сильных кислот в нефтепродуктах по ГОСТ 11362-96, ИСО 6619-88 и стандартизация титранта (КОН) согласно ГОСТ 25794.1-83;



Программа "Titrate Кислотность-К2" предназначена для измерений, обеспечивающих определение кислотного числа сильных кислот К2 в нефтепродуктах и смазочных материалах согласно ГОСТ 11362-96 (ИСО 6619-88).

Теоретические основы титрования

Термины и определения

Титрование – процесс, в котором определяют количество израсходованного стандартного реагента.

Определяемое вещество – вещество, содержание которого в пробе нужно определить в ходе анализа.

Титруемое вещество – вещество, количество которого определяется непосредственно в процессе титрования.

Титрант – вещество, вступающее в реакцию с титруемым веществом. Концентрация стандартного раствора титранта должна быть определена заранее, перед началом анализа, с точностью не менее трех значащих цифр.

Аликвота – объем раствора, точно отмеренный при помощи калиброванной пипетки.

Кривая титрования – график зависимости наблюдаемого физико-химического свойства от объема добавленного титранта.

Скачок титрования – участок кривой титрования, на котором происходит резкое изменение наблюдаемого свойства системы.

Точка эквивалентности – точка, в которой число эквивалентов титранта равно числу эквивалентов титруемого вещества.

Конечная точка титрования (к.т.т.) – точка на кривой титрования, в которой регистрируется резкое изменение наблюдаемого свойства (например, меняется цвет индикатора).

Ошибка титрования – разность объемов титранта в точке эквивалентности и в конечной точке титрования.

Эквивалентныйо объем – объем титранта в точке эквивалентности.

Индикатор – дополнительное вещество, изменяющее свою окраску вблизи точки эквивалентности.

Классификация методов титрования

В современной лабораторной практике насчитывается много разнообразных методов титрования. Для определения места, которое занимает потенциометрическое титрование среди прочих методов, полезно рассмотреть схему, приведенную на рис.1.

По природе титранта методы титрования можно разделить на объемные (титрантом служит раствор, цель титрования – установить объем раствора, пошедший на титрование) и кулонометрические (в данном случае титрантом является вещество, генерируемое протекающим электрическим током непосредственно в растворе (его количество можно определить по закону Фарадея).

Объемный анализ (или титриметрия) наряду с весовым анализом (гравиметрией) является одним из старейших и самых надежных методов количественного химического анализа. Он возник еще в середине XVIII века и с тех пор вошел в повседневную практику аналитических лабораторий всех без исключения отраслей промышленности благодаря своей простоте, быстроте выполнения анализа и надежности получаемых результатов. Популярность метода обусловлена еще и тем, что он не требует предварительной градуировки приборов.

Титриметрия наиболее широко применяется при определении высоких и средних концентраций веществ в растворах (до $1 \cdot 10^{-4}$ моль/л или до 10 мг/л). Для определения более низких концентраций веществ применять титриметрию нецелесообразно, так как это требует предварительного концентрирования, что заметно удлиняет анализ и увеличивает погрешность измерения. В среднем относительная ошибка титриметрических измерений не превышает 2% и определяется классом используемой мерной посуды.

С помощью титриметрического анализа можно определить концентрацию практически любого неорганического или низкомолекулярного органического вещества. Необходимым условием успешного титрования является наличие подходящей объемной химической реакции, протекающей быстро, полно и стехиометрично и приводящей к заметным изменениям каких-либо физико-химических свойств системы (цвета, величины pH, окислительно-восстановительного потенциала и т.д.).

Кулонометрические методы по сравнению с объемными более точные (позволяют достичь относительной ошибки титрования 0,1%), требуют более серьезного аппаратурного оформления. Кроме того, круг определяемых веществ для этих методов не очень широк. В настоящем руководстве эти методы рассматриваться не будут.

Объемные методы, в свою очередь, можно разделить по способу регистрации конечной точки титрования на фотометрические, турбидиметрические, потенциометрические, амперометрические и кондуктометрические.

Фотометрический и турбидиметрический методы традиционно наиболее широко применяются в лабораториях. Оба метода в качестве регистрирующего устройства используют человеческий глаз, который отмечает изменение окраски раствора (фотометрический метод или метод индикаторного титрования) или появление осадка (турбидиметрический метод). В таком варианте для титрования нужен только комплект лабораторной посуды и реактивы. В соответствующих титраторах в качестве регистрирующего устройства используют фотоэлемент.

Амперометрическое титрование, в отличие от потенциометрического, не требует установления равновесия в растворе. Оно основано на изменении силы тока, протекающего через раствор, по мере титрования. Метод требует аппаратурного оформления, позволяющего измерять силу тока.

Кондуктометрическое титрование основано на изменении электропроводности растворов в процессе титрования. Метод требует хорошего аппаратурного оформления. Широко применяется для определения слабых кислот и оснований в водных растворах, для определения концентрации плавиковой кислоты.

Следует подчеркнуть, что для определения одного и того же вещества может быть предложено несколько методов титрования. Какой из них будет выбран, зависит от требуемой точности и быстроты анализа, имеющегося оборудования и требований нормативных документов.

Виды титрования

Все объемные титрования можно разделить на четыре вида по типу реакции, лежащей в их основе: кислотно-основное, осадительное, окислительно-восстановительное и комплексометрическое.

Кислотно-основное титрование

Кислотно-основное титрование основано на реакции нейтрализации:

$$H^+ + OH^- = H_2O$$
$$OH^- + H^+ = H_2O$$

Это самый распространенный вид титрования. Для детектирования конечной точки применяют кислотно-основные индикаторы, pH-метрические электроды, кондуктометрию.

Этим методом определяют концентрацию кислот и оснований, а также солей слабых кислот и оснований, кислотные и щелочные числа, число нейтрализации, кислотность, щелочность.

Кроме того, в сочетании с различными способами пробоподготовки кислотно-основное титрование может быть применено для определения параметров далеких, на первый взгляд, от кислотно-основных свойств веществ. Приведем два подобных примера.

Определение связанного азота по Кьельдалю. Анализируемый образец окисляют горячей концентрированной серной кислотой; в процессе окисления связанный азот превращается в ион аммония. Затем раствор обрабатывают избытком сильного основания, и выделившийся в результате отгонки аммиак титруют стандартным раствором кислоты.

Определение серы в органических и биологических материалах. Образец сжигают в токе кислорода. Образовавшиеся оксиды серы (IV) и (VI) поглощают разбавленным раствором перекиси водорода: $SO_2 + H_2O_2 = H_2SO_4$. Серную кислоту титруют стандартным раствором щелочи.

Осадительное титрование

Осадительное титрование основано на реакции осаждения. Самый распространенный случай осадительного титрования – аргентометрическое титрование, в ходе которого определяют концентрацию анионов (Hal^-, CN^-, PO_4^{3-}, CrO_4^{2-} и др.), образующих малорастворимые соединения или устойчивые комплексы с ионами Ag^+:

$$Ag^+ + Cl^- = AgCl\downarrow$$

Конечную точку определяют по появлению мути в растворе, с помощью адсорбционных индикаторов, потенциометрически.

Окислительно-восстановительное титрование

В основе титрования лежит равновесная объемная окислительно-восстановительная реакция. Конечную точку титрования определяют с помощью окислительно-восстановительных индикаторов по появлению (исчезновению) собственной окраски титранта, титруемого вещества или продуктов реакции фотометрически, потенциометрически, амперометрически, кулонометрически.

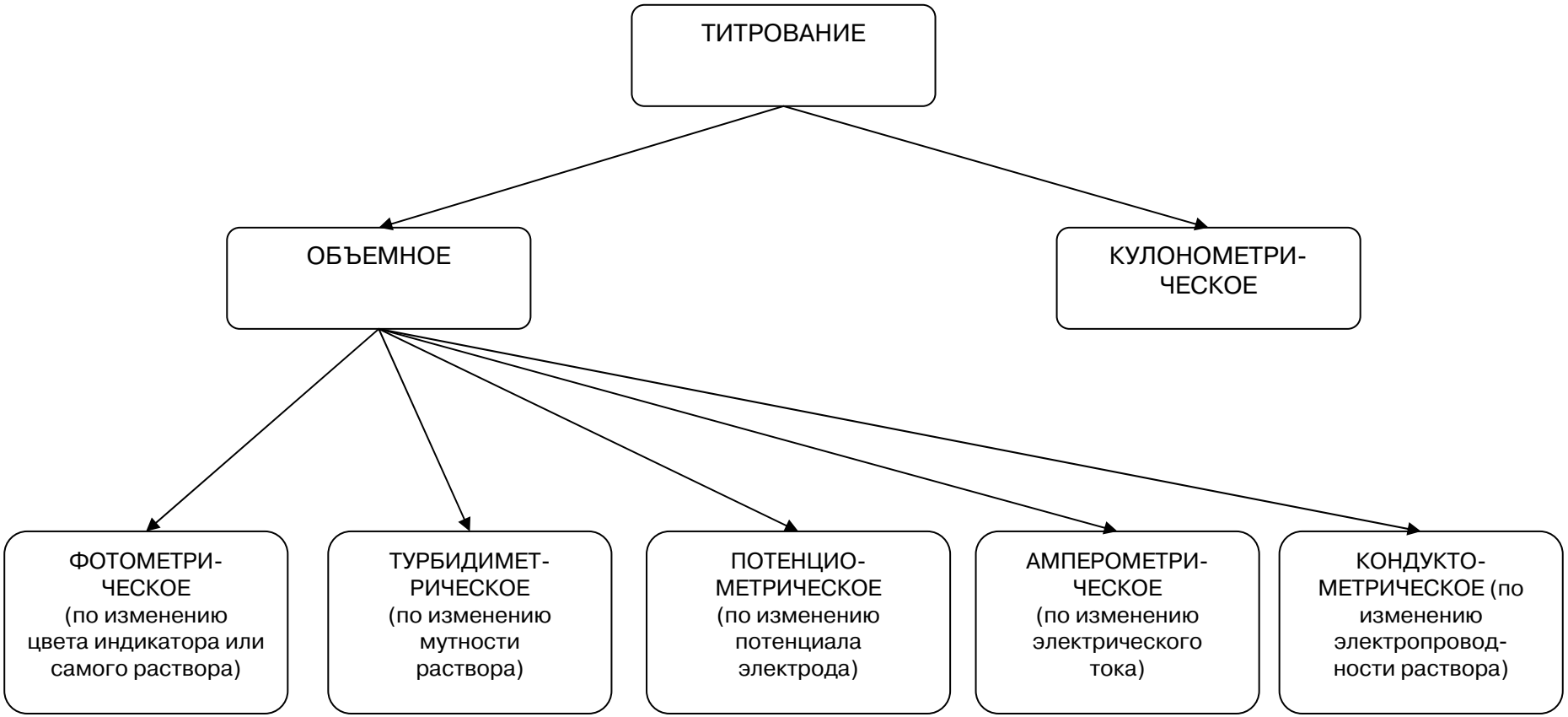


Рис. 1. Классификация методов титрования

Перманганатометрия. Перманганат калия – один из наиболее широко применяемых стандартных окислителей. Разнообразие возможных продуктов реакции может иногда приводить к неопределенности стехиометрии окисления перманганатом. К тому же его растворы не очень устойчивы, разложение растворов ускоряется на свету, при нагревании, под действием кислот, оснований ионов марганца(II) и диоксида марганца. В связи с этим часто используют обратное титрование с перманганат-ионом. Перманганатометрию применяют для определения широкого круга восстановителей неорганического и органического происхождения**.**

Дихроматометрия (бихроматометрия, хроматометрия) – титриметрический метод определения восстановителей, а также катионов металлов, образующих малорастворимые хроматы. Основана на применении в качестве титранта стандартного раствора $K_2Cr_2O_7$. Конечную точку титрования устанавливают с помощью внутренних окислительно-восстановительных индикаторов, реже – с помощью внешних индикаторов, например, $AgNO_3$, $K_3[Fe(CN)_6]$, образующих окрашенные осадки с избытком титранта, или по появлению окраски ионов Cr^{VI}. Дихроматометрию применяют для определения Fe^{II}, Te^{IV}, W^{III}, Mo^{III}, Sn^{II}, Ti^{III},V^{IV}, SO_3^{2-}, $Fe(CN)_6^{4-}$, органических веществ (гидрохинона, аскорбиновой кислоты и др.).

Броматометрия – титриметрический метод определения восстановителей, а также органических соединений, вступающих с бромом в реакции присоединения или замещения. Основана на применении в качестве титранта солянокислого раствора $KBrO_3$. Конечную точку титрования устанавливают с помощью окислительно-восстановительных индикаторов по появлению желтой окраски брома, образующегося при взаимодействии избытка BrO_3^- с Br^-, а также потенциометрически или фотометрически.

Бромное число – масса брома (в граммах), присоединяющегося к 100 г органического вещества. Характеризует степень ненасыщенности органических соединений.

Иодометрия – титриметрический метод определения окислителей и восстановителей, основанный на реакции: $I_3^- + 2e^- = 3I^-$. Ион I_3^- образуется при растворении иода в воде в присутствии KI. Восстановители определяют прямым титрованием раствором I_2 в присутствии избытка KI (этот метод часто называют иодиметрией), окислители – косвенным методом по количеству йода, образовавшегося при их взаимодействии с KI. Иод оттитровывают, как правило, раствором $Na_2S_2O_3$. Конечную точку титрования обнаруживают визуально по появлению или исчезновению окраски иода (иногда в слое органического растворителя) с помощью индикаторов, а также потенциометрически, амперометрически или другими методами.

Комплексометрическое титрование

В основе титрования лежит реакция комплексообразования, в результате которой образуется достаточно устойчивый комплекс. Наиболее распространенный случай комплексометрического титрования – это комплексонометрическое титрование (титрование с трилоном Б - динатриевой солью этилендиаминтетрауксусной кислоты $Na_2H_2Y\cdot 2H_2O$):

$$Ca^{2+} + H_2Y^{2-} = CaH_2Y$$
$$Mg^{2+} + H_2Y^{2-} = CaH_2Y$$

Конечную точку титрования определяют с помощью металлоиндикаторов или потенциометрически с соответствующим ионселективным электродом.

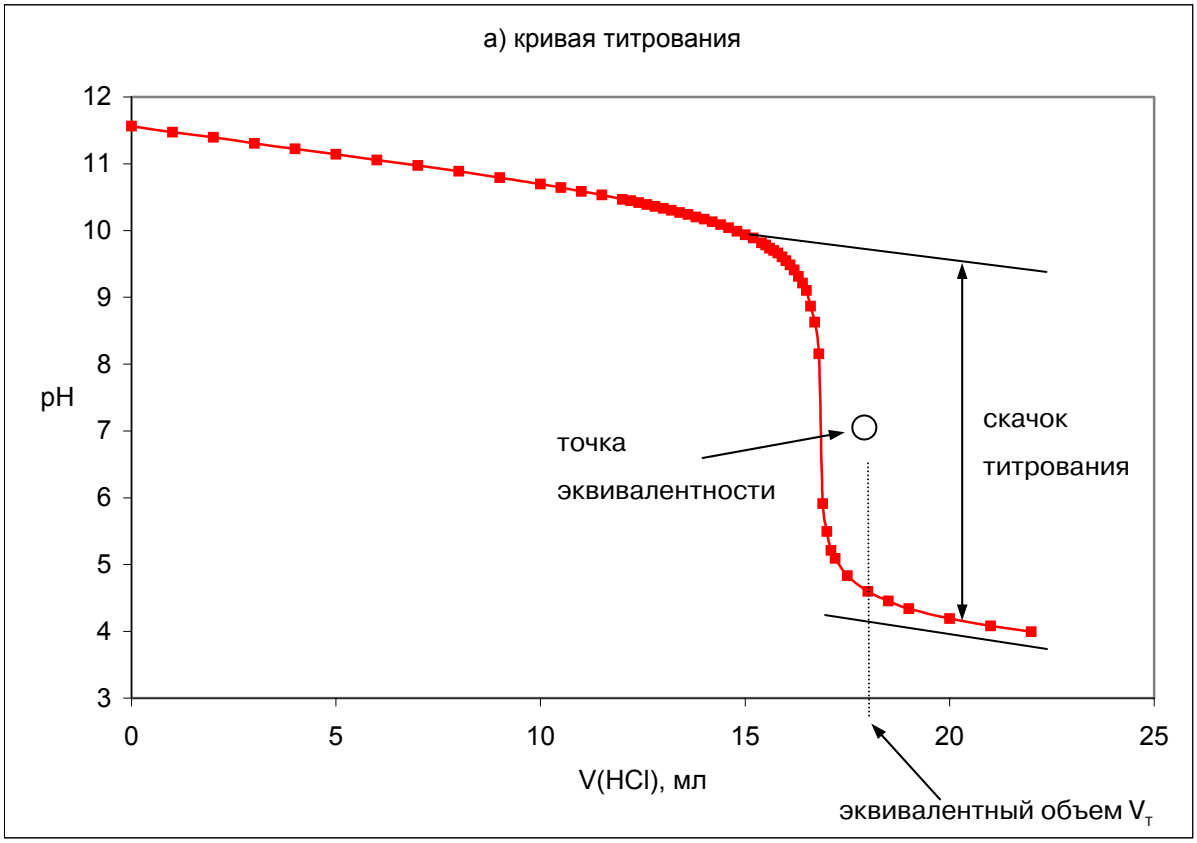
Кривая титрования

Классический вид кривой кислотно-основного титрования приведен на рис. 2а. По оси X откладывается объем добавленного титранта в миллилитрах, а по оси Y – величина pH раствора. Кривая титрования имеет характерную S-образную форму с резким скачком pH вблизи точки эквивалентности.

При дифференцировании кривой титрования (по оси Y откладывается величина производной) получается кривая пиковой формы (рис. 2б) с максимумом (или минимумом) в точке эквивалентности.

Объемный анализ основан на законе эквивалентов, и поэтому все титриметрические расчеты ведутся с учетом нормальных концентраций веществ в растворах.

Эквивалент – это количество вещества, которое взаимодействует с 1 молем атомов водорода или электронов или выделяет 1 моль атомов водорода или электронов в химических реакциях. Эквивалент может принимать следующие значения: 1, 1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6 и т.д. Следует помнить, что эквивалент ни при каких обстоятельствах не может быть больше единицы.



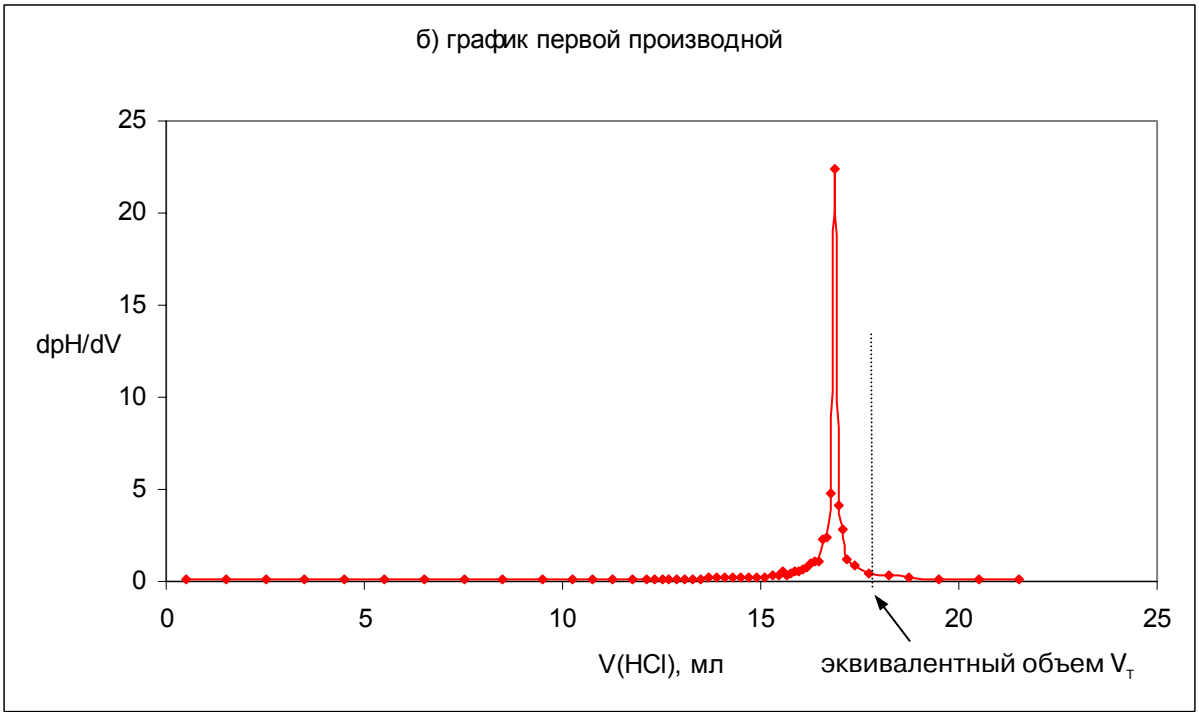


Рис.2. Кривая титрования (а) и график первой производной кривой титрования (б)
Титруемое вещество - NaOH, титрант - HCl
Маркерами отмечены экспериментальные точки

Нормальная концентрация (N) – это число эквивалентов вещества, содержащееся в 1 литре раствора. Рассчитывается делением молярной концентрации на эквивалент, либо умножением молярной концентрации вещества на его кислотность (основность) в случае кислотно-основного титрования или на число электронов, отданных (принятых) в ходе окислительно-восстановительной реакции.

Закон эквивалентов – вещества реагируют друг с другом в количествах, пропорциональных их эквивалентам.

Целью титрования является установление эквивалентного объема титранта, то есть такого объема, в котором содержится столько же эквивалентов титранта, сколько эквивалентов титруемого вещества присутствует в пробе.

Соответствующий этой точке объем титранта $V_т$ и есть искомая величина. По закону эквивалентов:

$$N_т \cdot V_т = N_{т.в.} \cdot V_{т.в.}$$

где $N_т$ – нормальная концентрация титранта,

$V_т$ – эквивалентный объем титранта,

$N_{т.в.}$ – нормальная концентрация титруемого вещества,

$V_{т.в.}$ – объем титруемого вещества.

Отсюда можно выразить искомую концентрацию титруемого вещества:

$$N_{т.в.} = \frac{N_т \cdot V_т}{V_{т.в.}}$$

Эквиваленты наиболее широко распространенных реагентов, используемых в кислотно-основном и окислительно-восстановительном титрованиях, приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Эквиваленты некоторых кислот и оснований

Вещество	Основность/кислотность	Эквивалент
HCl	1	1
$HClO_4$	1	1
CH_3COOH	1	1
H_2SO_4	2	1/2
NaOH	1	1
KOH	1	1
NH_4OH	1	1
$Ba(OH)_2$	2	1/2

Таблица 2. Эквиваленты некоторых окислителей и восстановителей

Вещество	Превращение	Число электронов, отданное (принятое) одной молекулой вещества	Эквивалент
$KMnO_4$	$MnO_4^- + 5e^- \rightarrow Mn^{2+}$	5	1/5
	$MnO_4^- + 3e^- \rightarrow 1/2MnO_2$	3	1/3
	$MnO_4^- + e^- \rightarrow MnO_4^{2-}$	1	1
$CrCl_3$	$Cr^{3+} - 3e^- \rightarrow 1/2Cr_2O_7^{2-}$	3	1/3
	$Cr^{3+} + e^- \rightarrow Cr^{2+}$	1	1
$K_2Cr_2O_7$	$Cr_2O_7^{2-} + 6e^- \rightarrow 2Cr^{3+}$	6	1/6
KI	$I^- - e^- \rightarrow 1/2I_2$	1	1
I_2	$I_2 + 2e^- \rightarrow 2I^-$	2	1/2
$Na_2S_2O_3$	$S_2O_3^{2-} - e^- \rightarrow 1/2S_4O_6^{2-}$	1	1
$H_2C_2O_4$	$C_2O_4^{2-} - 2e^- \rightarrow 2CO_2$	2	1/2
$(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$	$Fe^{2+} + e^- \rightarrow Fe^{3+}$	1	1

Прямое и обратное титрование

Существует два способа титрования – прямое и обратное. В случае прямого титрования определяемое вещество непосредственно вступает в реакцию с титрантом, т.е. является титруемым веществом. Данная реакция должна протекать стехиометрично, достаточно быстро, селективно и полностью (в реакции участвует 100% определяемого вещества).

Если такая реакция отсутствует, проводят обратное титрование: к определяемому веществу добавляется избыток реагента, непрореагировавшая часть которого оттитровывается подходящим титрантом (в этом случае титруемым веществом является добавленный реагент). Количество определяемого вещества ищут по разности объемов добавленного и оттитрованного реагента.

Таблица 3. Различия прямого и обратного титрования

	Прямое титрование	Обратное титрование
Реакция	A + B = C	1) $A + B_{(избыток)} = C$ 2) $B_{(неизрасходованный)} + D = E$
Определяемое вещество	A	A
Титруемое вещество	A	B
Титрант	B	D
Величина, определяемая по кривой титрования	V_B	V_D
Формула для расчета концентрации определяемого вещества	$N_A = \frac{N_B \cdot V_B}{V_A}$	1) $V_B = \frac{N_D \cdot V_D}{N_B}$ 2) $N_A = \frac{N_B \cdot V_B - N_D \cdot V_D}{V_A}$
Растворы, подлежащие стандартизации	B	B D

Способы определения конечной точки титрования

Конечную точку титрования определяют различными способами, например визуально, наблюдая за изменением окраски раствора (титрование с индикатором), за появлением осадка (осадительное титрование) или измеряя потенциал индикаторного электрода.

Описание установки для титрования

Классическая титровальная установка состоит из двух основных частей: сосуда для титрования и бюретки.

При титровании с индикатором в качестве сосуда используют колбу Эрленмейера (широкогорлую коническую колбу), в которой удобно вести перемешивание раствора после прибавления каждой порции титранта для скорейшего установления равновесия.

Если для регистрации кривой титрования используются электроды, колбу заменяют стаканом, и в этом случае перемешивание раствора ведется с помощью магнитной мешалки.

Бюретка представляет собой градуированную стеклянную трубку с запирающим устройством на нижнем конце – краном или бусиной, которое предотвращает самопроизвольное вытекание титранта и позволяет добавлять его в титровальный сосуд малыми порциями и даже по каплям.

Таблица 4. Способы регистрации конечной точки титрования

Вид титрования	Способ регистрации конечной точки титрования
Кислотно-основное	• По изменению цвета кислотно-основного индикатора • pH-метрия
Осадительное	• По появлению мути • По изменению цвета индикатора • Потенциометрия с ионселективным электродом • Амперометрия • Фотометрия • Турбидиметрия
Окислительно-восстановительное	• По изменению цвета раствора (перманганатометрия, иодометрия) • По изменению цвета окислительно-восстановительного индикатора • Потенциометрия с инертным электродом • Фотометрия • Амперометрия • Кулонометрия
Комплексометрическое	• По изменению цвета металлоиндикатора • Потенциометрия с ионселективным электродом

Техника ручного титрования

Перед началом анализа бюретку промывают раствором титранта, заполняют и выгоняют все воздушные пузыри, которые обычно образуются в носике бюретки. Эта процедура очень важна, так как оставленные пузыри могут выйти самопроизвольно в процессе титрования, объем титранта в бюретке уменьшится на неизвестную величину, и результат анализа окажется некорректным.

В сосуд для титрования вносят аликвоту раствора определяемого вещества, обычно с помощью пипетки Мора (пипетка с одной отметкой, калиброванная на 5, 10, 15, 20, 25, 50 или 100 мл).

Если аликвота мала, и работать с таким объемом раствора неудобно, в титровальный сосуд можно добавить некоторое количество подходящего растворителя (дистиллированная вода, буферный раствор, неводный растворитель и т.д.). На конечный результат это разбавление никак не повлияет, так как в ходе анализа определяется число эквивалентов титруемого вещества, которое затем относится к объему аликвоты, а не к конечному объему, полученному после разбавления.

Стандартизация растворов

В любом из видов титрования используют стандартный раствор титранта. Точность, с которой известна его концентрация, ограничивает точность метода в целом, поэтому приготовлению стандартных растворов уделяется особое внимание.

Концентрацию стандартного раствора определяют либо прямо (если само вещество является первичным стандартом), либо косвенно, если вещество не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к первичным стандартам. В первом случае берут тщательно взвешенное количество вещества и разбавляют до точно известного объема. Во втором случае раствор, содержащий тщательно взвешенное количество вещества, титруют раствором первичного стандарта.

Вещества, которые могут рассматриваться как хорошие первичные стандарты, должны обладать рядом важных свойств: иметь высокую степень чистоты, быть устойчивыми к атмосферным воздействиям, иметь низкую гигроскопичность и низкую склонность к выветриванию, быть легкодоступными, иметь достаточно высокую эквивалентную массу. Лишь немногие вещества удовлетворяют этим требованиям, поэтому число первичных стандартов весьма ограничено.

Таблица 5. Первичные стандарты для разных видов титрования

Титрант	Первичный стандарт
Кислотно-основное титрование	
Кислота (HCl, H_2SO_4)	Карбонат натрия Na_2CO_3
	Тетраборат натрия $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$
	Трис-оксиметил-аминометан $(HOCH_2)_3CNH_2$
Основание (NaOH, KOH, $Ba(OH)_2$)	Бифталат калия $KHC_8H_4O_4$
	Щавелевая кислота $H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$
	Бензойная кислота C_6H_5COOH
	Бииодат калия $KH(IO_3)_2$
Осадительное титрование	
Нитрат серебра $AgNO_3$	Не требуется*
Роданид калия KSCN	Не требуется
Окислительно-восстановительное титрование	
Перманганат калия $KMnO_4$	Оксалат натрия $Na_2C_2O_4$
	Иодид калия KI
Бихромат калия $K_2Cr_2O_7$	Не требуется
Бромат калия $KBrO_3$	Не требуется
Йодат калия KIO_3	Не требуется
Тиосульфат натрия $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$	Иодат калия KIO_3
	Бихромат калия $K_2Cr_2O_7$
Комплексометрическое титрование	
Динатриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты (трилон Б) $Na_2C_{10}H_{14}N_2O_8$	Не требуется

* После надлежащей очистки и высушивания вещество само может являться первичным стандартом

Фиксаналы (стандарт-титры, первичные стандарты) – вещества в строго определенном количестве, обычно 0,1 эквивалент, содержащиеся в стеклянных ампулах. Фиксаналы предназначены для приготовления стандартных растворов. При этом ампулу разбивают специальным бойком в воронке, содержимое переносят количественно в мерную колбу и разбавляют до определенного объема. Полученный раствор часто используют в титриметрии как титрант, либо для определения концентрации другого титранта. В качестве фиксаналов применяют, например, $KMnO_4$, $K_2Cr_2O_7$, NaCl, щавелевую кислоту, соляную кислоту, $AgNO_3$. Соединения, используемые как фиксаналы, должны быть предельно чистыми, устойчивыми при комнатной температуре, не должны адсорбировать воду и углекислый газ из воздуха.

Титраторы

При проведении массовых однотипных анализов удобно и экономически выгодно использовать титраторы – приборы, предназначенные для частично или полностью автоматизированного проведения измерений.

Полуавтоматические титраторы обслуживаются лаборантом. Лаборант, как и в случае ручного титрования, порциями добавляет титрант в титровальный стакан. При этом титратор регистрирует величину измеряемого физико-химического свойства и формирует таблицу измерений в виде: «объем поданного титранта/величина свойства». Программное обеспечение, прилагаемое к титратору, позволяет автоматически по полученным данным построить кривую титрования, определить конечную точку титрования и рассчитать концентрацию исследуемого раствора.

Автоматические титраторы работают по заданной программе без участия лаборанта. Различают промышленные и лабораторные варианты автоматических титраторов.

Промышленные приборы встраиваются в технологические линии предприятий и снабжаются пробоотборными устройствами. Они запрограммированы на проведение конкретных анализов через определенные промежутки времени. Полученные данные поступают к технологическим службам, которые на их основании корректируют параметры текущего технологического процесса или контролируют качество сточных вод.

Лабораторные автотитраторы предназначены для проведения многочисленных однотипных анализов в контрольных лабораториях. Для повышения эффективности работы они зачастую оснащаются автосамплерами – устройствами автоматической подачи пробы, рассчитанными обычно на несколько десятков образцов.

Потенциометрический титратор состоит из двухэлектродной ячейки и устройства для преобразования ее эдс в выходной сигнал. В качестве индикаторных применяют электроды первого (серебряный) и второго (хлорсеребряный) рода, инертные (платиновый, золотой) и мембранные (стеклянные, ионоселективные) электроды.

Автоматический потенциометрический титратор АТП-02

Устройство и принцип работы

Автоматический потенциометрический титратор АТП-02 предназначен для проведения потенциометрического титрования в водных растворах и в ряде неводных растворителей.

Титратор АТП-02 работает под управлением персонального компьютера с помощью программного обеспечения “Titrate” в среде WindowsXP.

Механическая часть титратора производится немецкой компанией SCHOTT, управляющая электроника и программное обеспечение – российской компанией АКВИЛОН.

Общий вид титратора представлен на рисунке 3. Титратор состоит из блока титрования (1), бюретки (2), жидкостного тракта (3), комбинированного электрода для pH-метрии (4), термометра сопротивления (5), магнитной мешалки (6), якоря магнитной мешалки (7) и штатива (8). Электрод, термометр и носик жидкостного тракта (9) погружены в стакан с пробой (10). Титрант находится в бутыли (11).

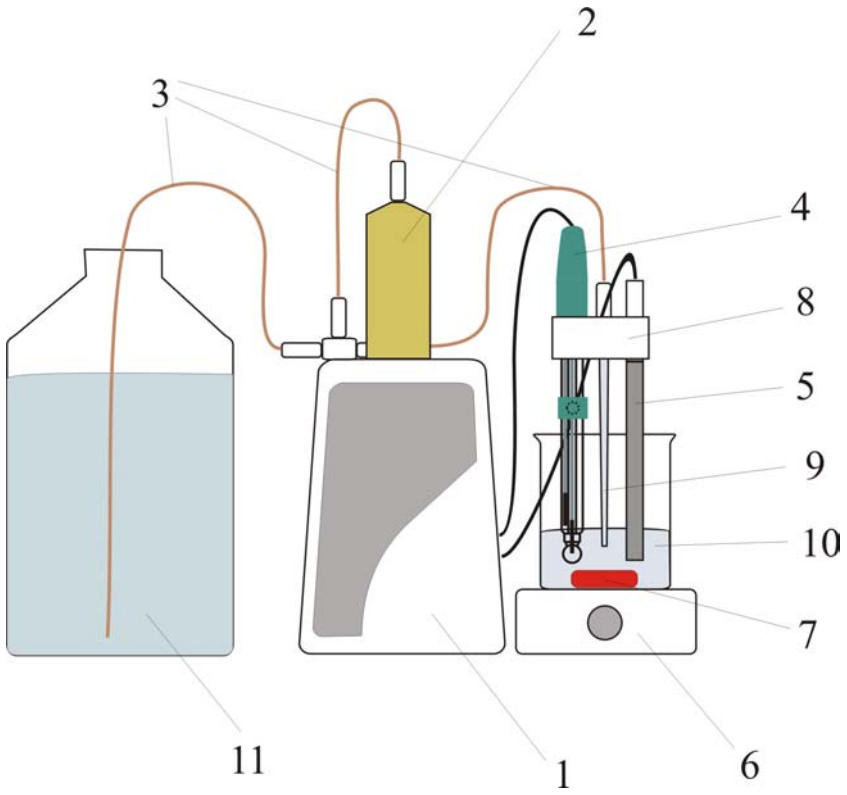


Рис.3. Автоматический потенциометрический титратор АТП-02
1 – блок титрования, 2 – бюретка, 3 – жидкостной тракт, 4 – комбинированный электрод для pH-метрии, 5 – термометр сопротивления, 6 – магнитная мешалка, 7 – якорь магнитной мешалки, 8 – штатив, 9 – носик жидкостного тракта, 10 – стакан с пробой, 11 – бутыль с титрантом

Минимальная порция титранта, которая может быть добавлена в раствор, составляет 0,02 мл. Точность отсчета объема титранта при титровании составляет 0,001 мл.

Перед началом измерения титратор промывают раствором титранта. Для этого активируют опцию «Промывка» в программе «Titrate». После того как бюретка и жидкостной тракт промыты, освобождены от пузырьков воздуха и заполнены раствором титранта, прибор готов к работе.

В разделе «Исследователь» формируется методика измерения, где подробно задаются все параметры измерения:

- Способ титрования – прямое или обратное.
- Режим подачи титранта (с постоянной скоростью или с уменьшением скорости по мере приближения к точке эквивалентности, непрерывная подача титранта или подача титранта порциями с задержкой во времени после подачи каждой порции).
- Скорость подачи титранта (1 – 36 мл/мин для бюретки объемом 20 мл и 1 – 90 мл/мин для бюретки объемом 50 мл).
- Способ нахождения конечной точки титрования (по точке экстремума на графике первой производной кривой титрования либо по достижении заданного значения pH или заданного потенциала).
- Количество скачков титрования, которые будут обрабатываться (от 1 до 5).
- Формула для расчета концентрации определяемого вещества.

Когда методика готова, пользователь активирует процесс измерения. По окончании титрования программа автоматически может выполнять следующие действия:

- Обработка кривой титрования (сглаживание шума, дифференцирование).
- Поиск точек эквивалентности.
- Расчет концентрации определяемого вещества в пробе.
- Запись протокола измерения в память компьютера.
- Распечатка протокола измерения.
- Формирование сводного протокола измерения за смену (в среде MS Excel).
- Заполнение бюретки титрантом.

Протокол измерения содержит следующие разделы.

- График кривой титрования.
- График первой производной кривой титрования.
- Эквивалентный объем титранта.
- Концентрация определяемого вещества.
- Параметры измерения.

Выбор электродов

Важнейшим элементом потенциометрического титратора является индикаторный электрод. Потенциал индикаторного электрода ($E_{инд.}$) является функцией концентрации анализируемого иона в растворе (C). И именно чувствительность электрода к изменению концентрации ионов создает основу для проведения анализа данным способом:

$$E_{инд.} = f(C).$$

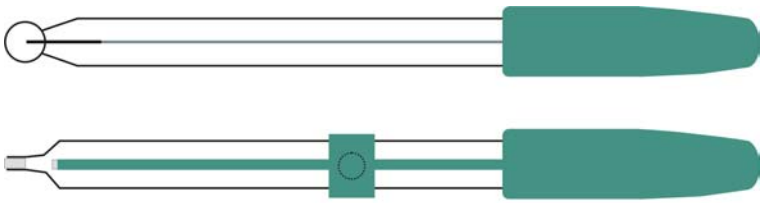
Наличие индикаторного электрода является необходимым, но не достаточным условием для проведения потенциометрического титрования, так как у нас нет физической возможности измерить потенциал отдельно взятого электрода. Однако возможно измерить разность потенциалов двух электродов. Для того чтобы разность потенциалов также была функцией концентрации анализируемого иона, необходимо, чтобы потенциал второго электрода в течение анализа оставался неизменным. Такой электрод принято называть электродом сравнения:

$$E_{ср.} = \text{const},$$
$$\Delta E = E_{инд.} - E_{ср.} = f(C).$$

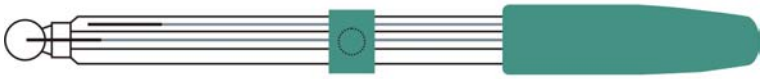
Таким образом, только при наличии пары электродов можно корректно определить изменение потенциала индикаторного электрода, обусловленное изменением концентрации анализируемого иона в растворе.

В современной лабораторной практике широко используются комбинированные электроды, которые представляют собой ни что иное, как пару электродов (индикаторный электрод и электрод сравнения), объединенных в одном корпусе (см. рис. 4).

В таблице 6 указаны типы индикаторных электродов, применяемых для различных видов титрования.



а)



б)

Рис.4. Электроды для pH-метрии: а) измерительный стеклянный электрод и хлорсеребряный электрод сравнения; б) комбинированный электрод

Таблица 6. Выбор электродов для различных видов титрования.
В скобках приведены наиболее распространенные случаи

Вид титрования	Пара электродов		Комбинированный электрод
	Индикаторный	Электрод сравнения	
Кислотно- основное	Стеклянный	Хлорсеребряный	Стеклянный\хлорсеребряный
Осадительное	Ионселективный (Ag/AgCl, Ag/Ag_2S)	Хлорсеребряный* или стеклянный**	Ионселективный/стеклянный** (Ag/AgCl /стеклянный***)
Окислительно-восстановительное	Инертный (Pt, Au)	Хлорсеребряный или инертный****	Инертный/хлорсеребряный (Pt/ хлорсеребряный)
Комплексо-метрическое	Ионселективный	Хлорсеребряный	Ионселективный/хлорсеребряный (есть для некоторых ионов – пр-во Hanna Instruments)

* при определении галогенид-ионов электрод заполняют раствором нитрата калия
** применяют только в условиях постоянства pH среды
*** применяют при определении органических хлоридов в нефти в условиях постоянства pH
**** применяют при титровании марганца в рудах

Возможности и ограничения

С помощью АТП-02 можно выполнить практически любое кислотно-основное, окислительно-восстановительное и осадительное титрование.

Кроме того, АТП-02 позволяет реализовать довольно большое количество методик комплексометрического (в том числе, и комплексонометрического) титрования.

Ниже перечислен ряд случаев, когда титратор АТП-02 не может быть применен для работы.

- Отсутствует подходящий электрод. Чаще всего речь идет об отсутствии нужного ионселективного электрода.
- Низкая чувствительность электрода. Например, при титровании водных растворов слабых кислот потенциал pH-метрического электрода меняется незначительно, поэтому в этом случае предпочтительнее использовать кондуктометрическое детектирование конечной точки титрования.
- Низкая селективность электрода. В растворе присутствуют посторонние ионы в таких концентрациях, которые мешают надежному определению анализируемого иона. Список мешающих ионов и коэффициенты селективности обычно указаны в паспорте к электроду.
- Условия определения иона не совпадают с условиями эксплуатации электрода. Например, для определения ионов Mg^{2+} в присутствии ионов Ca^{2+} необходимо поддерживать pH на уровне 12-13, а магний-селективный электрод может работать только в интервале pH 4,5-9,5. Таким образом, в данном случае нельзя проводить определение ионов магния методом потенциометрического титрования.

- Компоненты анализируемого раствора агрессивны по отношению к материалу жидкостного тракта и электродов. Например, при работе со стеклянными электродами нельзя использовать растворы, содержащие фторид-ионы, а также вещества, образующие пленки на мембране электрода. В неводных растворителях нельзя использовать электроды в пластмассовом корпусе и электроды с пластифицированными мембранами, так как они растворяются.
- Титратор АТП-02 не предназначен для кулонометрического определения воды по Карлу Фишеру.

Общие рекомендации по комплектации титратора АТП-02

Базовый комплект АТП-02

Базовый комплект АТП-02 предназначен для проведения кислотно-основного титрования в водных растворах в интервале pH 0–12 при температуре 0–40^{0}C. Он включает в себя следующие компоненты:

- Блок титрования
- Бюретка объемом 20 мл
- Магнитная мешалка
- Якорь для магнитной мешалки
- Жидкостной тракт (3 капилляра и носик)
- Комбинированный электрод для pH-метрии для работы в интервале pH 0 – 12 при температуре растворов 0–40^{0}C
- Термометр сопротивления
- Штатив
- Программное обеспечение “Titrate” для работы в среде WindowsXP
- Кабель для подключения к компьютеру (порт RS232)
- Дискета с файлом регистрации блока титрования

Изменение базового комплекта

В зависимости от используемой методики в стандартный комплект могут быть внесены существенные изменения:

- Замена комбинированного электрода для pH-метрии на другие электроды (рекомендации по подбору электродов см. в разделе «Стандартные комплектации»).
- Замена комбинированного электрода для pH-метрии на пару электродов – в случае кислотно-основного титрования в неводных растворителях (анализ нефтепродуктов, масел, смазок).
- Замена бюретки с 20 на 50 мл – если эквивалентный объем титранта составляет 20 - 50 мл и более или нормативные документы требуют применения бюретки на 50 мл.

Для корректной комплектации прибора удобно получить от клиента ответ на 4 вопроса (см. схему). Кроме того, желательно иметь подробное описание методики или нормативный документ, по которому работает клиент. Это дает возможность грамотно предложить дополнительные принадлежности, о существовании которых клиент, как правило, не подозревает.

Кроме того, во многих нормативных документах нет упоминания о возможности поиска точки эквивалентности потенциометрическим методом. Поэтому клиенту необходимо разъяснить (предварительно в этом убедившись), что его методика может быть реализована с помощью АТП-02. К тому же точность результатов будет лучше, чем при титровании с индикаторами, так как ошибка титрования у АТП-02 значительно ниже (за счет того, что получается вся кривая, которая потом дифференцируется).

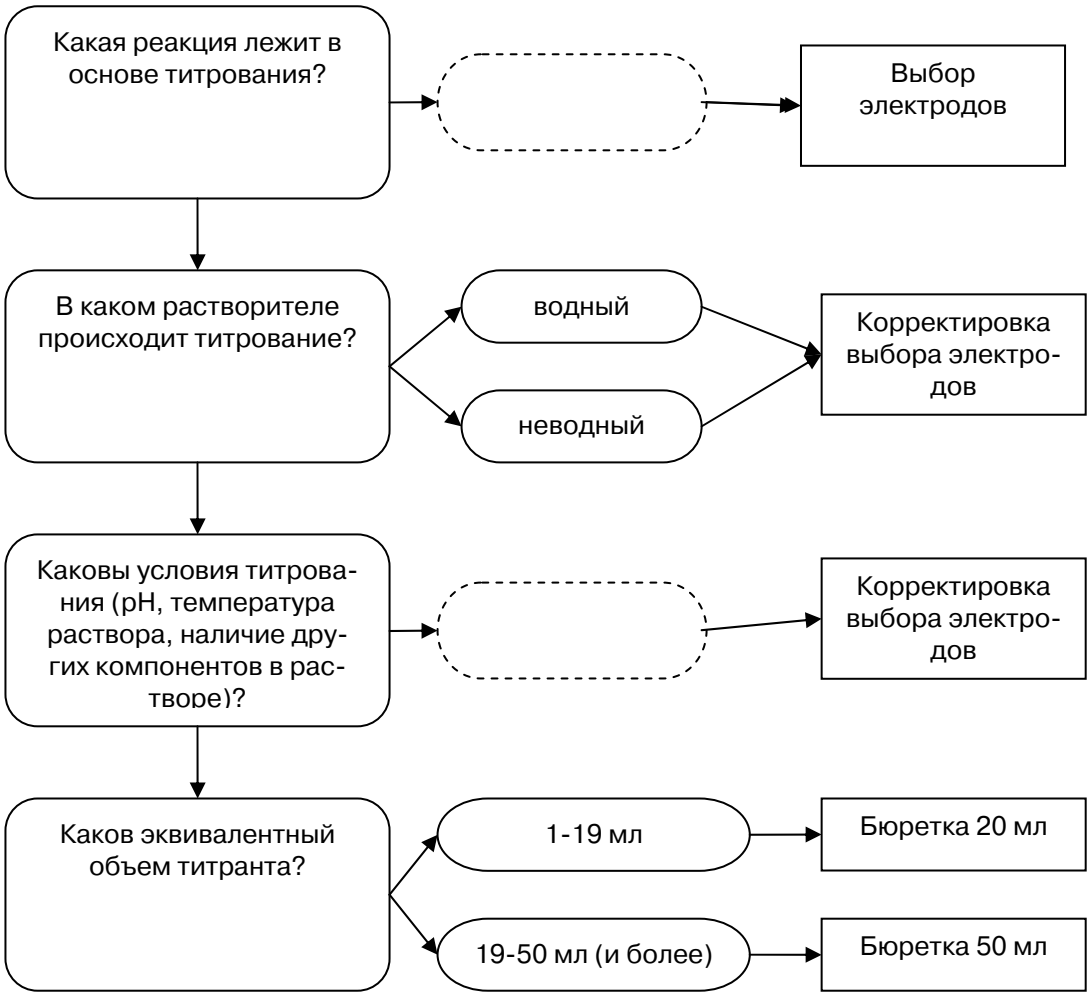


Рис.4. Схема выбора электродов и объема бюретки

Дополнительные принадлежности

- Сменные бюретки и жидкостные тракты – для работы с несколькими титрантами на одном титраторе.
- Бутыль для титранта объемом 1 или 2 литра. Для фотохимически нестойких титрантов (например, для растворов перманганата калия) нужны бутыли из темного стекла.
- Стаканы химические – объем и количество зависят от требований методики.
- Диспенсеры «Аквастеп» – для дозирования сопутствующих растворов (например, для введения в пробу буферного раствора или для разбавления пробы водой до заданного объема).
- Пипет-дозаторы – взамен пипетки Мора для отбора аликвоты анализируемого раствора.
- Стандарт-титры – для приготовления стандартных растворов, в том числе буферов для pH-метрии (см. таблицу).
- Промывалка полиэтиленовая – объемом 500 мл для промывки электродов, термометра и носика жидкостного тракта.
- Якоря для магнитной мешалки.
- Магнитная ловушка для якорей.

Таблица 6. Ассортимент стандарт-титров

№	Наименование	№	Наименование
1	Набор для определения жесткости воды	22	Магний сернокислый 0,1N
2	Азотная кислота 0,1N	23	Натрий гидроокись 0,1N
3	Аммоний роданистый 0,1N	24	Натрий двууглекислый 0,1N
4	Аммоний хлористый 0,1N	25	Натрий серноватистокислый 0,1N
5	Аммоний щавелевокислый 0,1N	26	Натрий тетраборнокислый 0,1N
6	Барий хлористый 0,1N	27	Натрий углекислый 0,1N
7	Набор для pH-метрии	28	Натрий хлористый 0,1N
8	Иод 0,1N	29	Натрий щавелевокислый 0,1N
9	Калий бромид-бромат 0,1N	30	pH-метрия, тип 1 (pH = 1,65)
10	Калий бромистый 0,1N	31	pH-метрия, тип 2 (pH = 3,56)
11	Калий бромноватокислый 0,1N	32	pH-метрия, тип 3 (pH = 4,01)
12	Калий гидроокись 0,1N	33	pH-метрия, тип 4 (pH = 6,86)
13	Калий двухромовокислый 0,1N	34	pH-метрия, тип 5 (pH = 9,18)
14	Калий железосинеродистый 0,1N	35	pH-метрия, тип 6 (pH = 12,45)
15	Калий иодистый 0,1N	36	Серная кислота 0,1N
16	Калий иодноватокислый 0,1N	37	Соль Мора 0,1N
17	Калий марганцовокислый 0,1N	38	Соляная кислота 0,1N
18	Калий роданистый 0,1N	39	Трилон Б 0,1N
19	Калий хлористый 0,1N	40	Уксусная кислота 0,1N
20	Калий хромовокислый 0,1N	41	Щавелевая кислота 0,1N
21	Калий щавелевокислый 0,1N	42	Янтарная кислота 0,1N

Автоматизированная установка «Каппа»

Автоматизированная установка “Каппа” предназначена для определения числа Каппа в пробах целлюлозы и полуцеллюлозы по ГОСТ 10070-74 (ИСО 302-81).

Число Каппа характеризует степень провара (делигнификации) целлюлоз и полуцеллюлоз. Метод основан на окислении лигнина перманганатом калия и последующим иодометрическом определении его расхода.

В ходе анализа одна навеска целлюлозы диспергируется в воде с помощью мешалки. Титратор №1 дозирует в полученную пробу серную кислоту, титратор №2 – раствор перманганата калия. Смесь выдерживают в течение 10 минут для окисления лигнина. Затем титратор №3 дозирует раствор иодида калия, после чего титратор №4 оттитровывает выделившийся иод раствором тиосульфата натрия. Параллельно во второй навеске целлюлозы определяют влажность. По окончании обоих анализов программа рассчитывает содержание лигнина (число Каппа) в сухой целлюлозе.

Установка «Каппа» состоит из четырех блоков титрования и анализатора влажности, подключенных к персональному компьютеру, и управляется с помощью программного комплекса “Kappa-1.0” в среде WindowsXP.

Базовый комплект установки «Каппа» включает в себя следующие компоненты:

- Блок титрования – 4 шт.
- Анализатор влажности АВ-50
- Мешалка
- Персональный компьютер с принтером
- Расширитель COM-портов
- Программный комплекс “Kappa-1.0” для работы в среде WindowsXP
- Дискета с файлом регистрации блока титрования
- Электрод платиновый
- Электрод хлорсеребряный

Стандартные комплектации АТП-02

Область применения	Определяемый параметр	Вид титрования	Реакция, лежащая в основе титрования	Электроды (индикаторный/ электрод сравнения)	Требования к электродам	Нормативные документы
1	2	3	4	5	6	7
Экология. Воды питьевые, природные, сточные	Кислотность	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$H^+ + OH^- = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов. Можно использовать электроды в пластмассовом корпусе	
	Щелочность	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$OH^- + H^+ = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов. Можно использовать электроды в пластмассовом корпусе	ПНД Ф 14.1:2.242-07
	Общая жесткость	Комплексонометрическое титрование	$Ca^{2+} + H_2Y^{2-**} = CaH_2Y$ $Mg^{2+} + H_2Y^{2-**} = CaH_2Y$	Кальций-селективный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов. Электрод на общую жесткость имеет меньшую чувствительность, чем кальций-селективный электрод	ГОСТ Р 52407-2005 титрование с индикатором
	ХПК (Бихроматная окисляемость)	Окислительно-восстановительное титрование	$Cr_2O_7^{2-} + 6Fe^{2+} + 14H^+ = 6Fe^{3+} + 2Cr^{3+} + 7H_2O$	Платиновый/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ПНД Ф 14.1:2.19-95 – потенциометрическое титрование, ПНД Ф 14.1:2.100-97 титрование с индикатором
	Перманганатная окисляемость	Окислительно-восстановительное титрование	$5C_2O_4^{2-} + 2MnO_4^- + 16H^+ = 2Mn^{2+} + 10CO_2\uparrow + 8H_2O$	Платиновый/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ПНД Ф 14.2:4.154-99 титрование с индикатором

1	2	3	4	5	6	7
	БПК	Окислительно-восстановительное титрование	$I_2 + 2S_2O_3^{2-} = 2I^- + S_4O_6^{2-}$	Платиновый/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97 титрование с индикатором
	Содержание растворенного кислорода по Винклеру	Окислительно-восстановительное титрование	$I_2 + 2S_2O_3^{2-} = 2I^- + S_4O_6^{2-}$	Платиновый/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ПНД Ф 14.1:2.101-97 титрование с индикатором
	Содержание общего азота	Кислотно-основное титрование	$OH^- + H^+ = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ПНД Ф 14.1:2.206-04
	Содержание хлоридов	Осадительное титрование	$Cl^- + Ag^+ = AgCl\downarrow$	Серебряный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов. Электрод сравнения заполняют раствором нитрата калия	ГОСТ 4245-72, ПНД Ф 14.1:2.96-97 титрование с индикатором
	Содержание гидрокарбонатов	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$HCO_3^+ + H^+ = CO_2\uparrow + H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ПНД Ф 14.2.99-97
	Содержание сероводорода, гидросульфидов и сульфидов	Окислительно-восстановительное титрование	$I_2 + 2S_2O_3^{2-} = 2I^- + S_4O_6^{2-}$	Платиновый/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	
	Содержание сульфит- и тиосульфат-ионов	Окислительно-восстановительное титрование	$2S_2O_3^{2-} + I_2 = S_4O_6^{2-} + 2I^-$	Платиновый/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ПНД Ф 14.1:2:4.163-2000 титрование с индикатором
	Содержание активного хлора	Окислительно-восстановительное титрование	$I_2 + 2S_2O_3^{2-} = 2I^- + S_4O_6^{2-}$	Платиновый/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ГОСТ 18190-72, ПНД Ф 14.1:2.113-97 титрование с индикатором
	Содержание остаточного озона	Окислительно-восстановительное титрование	$I_2 + 2S_2O_3^{2-} = 2I^- + S_4O_6^{2-}$	Платиновый/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ГОСТ 18301-72 титрование с индикатором

1	2	3	4	5	6	7
	Содержание сульфатов	Осадительное титрование	$SO_4^{2-} + Pb^{2+} = PbSO_4\downarrow$	Свинец-селективный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	РД 52.24.453-95
Экология. Почвы	Содержание ионов карбоната и бикарбоната в водной вытяжке	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$OH^- + H^+ = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ГОСТ 26424-85
	Содержание иона хлорида в водной вытяжке	Осадительное титрование	$Cl^- + Ag^+ = AgCl\downarrow$	Серебряный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов. Электрод сравнения заполняют раствором нитрата калия	ГОСТ 26425-85
Экология. Твердые и жидкие отходы производства и потребления, осадки, шламы, активный ил, донные отложения	Щелочность	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$OH^- + H^+ = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ПНД Ф 16.2.2:2.3:3.31-02
	Содержание хлоридов	Осадительное титрование	$2Cl^- + Hg^{2+} = HgCl_2\downarrow$	Серебряный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов. Электрод сравнения заполняют раствором нитрата калия	ПНД Ф 16.2.2:2.3:3.28-02 титрование с индикатором
	Содержание мышьяка в твердых сыпучих материалах	Окислительно-восстановительное титрование	$2S_2O_3^{2-} + I_2 = 2I^- + S_4O_6^{2-}$	Платиновый/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ПНД Ф 16.1:2.2:3.16-98 титрование с индикатором
Экология. Атмосферный воздух и воздух рабочей зоны	Содержание едких щелочей и карбонатов (суммарно) в газовых выбросах	Кислотно-основное титрование	$OH^- + H^+ = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ПНД Ф 13.1.52-06

1	2	3	4	5	6	7
	Содержание сероводорода и метилмеркаптана в парогазовых выбросах предприятий	Осадительное титрование	$S^{2-} + 2Ag^{+} = Ag_2S\downarrow$	Сульфидсеребряный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ПНДФ 13.1.34-02
	Содержание аминофенилуксусной кислоты в атмосферном воздухе.	Кислотно-основное титрование	$H^{+} + OH^{-} = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	МУК 4.1.593-96
	Содержание цианата натрия в воздухе рабочей зоны.	Кислотно-основное титрование	$OH^{-} + H^{+} = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	МУК по титриметрическому измерению концентраций цианата натрия в воздухе рабочей зоны Приказ Главного государственного санитарного врача СССР от 10.10.1991 N 6019-91
	Содержание бромида калия в воздухе рабочей зоны.	Осадительное титрование	$Br^{-} + Ag^{+} = AgBr\downarrow$	Бромид-селективный электрод/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов. Электрод сравнения заполняют раствором нитрата калия	МУК по измерению концентраций бромида калия потенциометрическим титрованием с ионселективным электродом в воздухе рабочей зоны. Приказ Главного государственного санитарного врача СССР от 12.12.1988 N 4901-88

1	2	3	4	5	6	7
	Содержание гидрохлорида три(оксиметил) аминометана в воздухе рабочей зоны.	Осадительное титрование	$Cl^- + Ag^+ = AgCl\downarrow$	Серебряный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов. Нельзя применять электроды в пластмассовом корпусе. Электрод сравнения заполняют 1М $(NH_4)_2SO_4$	МУК 4.1.0.396-96
Пищевая промышленность	Кислотность молока и молочных продуктов	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$H^+ + OH^- = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов. Нельзя применять электроды в пластмассовом корпусе	ГОСТ 3624-92
	Содержание хлористого натрия в молочных продуктах	Осадительное титрование	$Ag^+ + SCN^- = AgSCN\downarrow$ $Cl^- + Ag^+ = AgCl\downarrow$	Серебряный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов. Электрод сравнения заполняют раствором нитрата калия	ГОСТ 3627-81 титрование с индикатором
		Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$H^+ + OH^- = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов.	ГОСТ 3627-81
	Содержание общего азота по Къельдалю и белка в молоке и молочных продуктах	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$OH^- + H^+ = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов. Нельзя применять электроды в пластмассовом корпусе	ГОСТ 23327-98
	Содержание белка в молоке	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$H^+ + OH^- = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов. Нельзя применять электроды в пластмассовом корпусе	ГОСТ 25179-90

1	2	3	4	5	6	7
	Раскисление молока	Два кислотно-основных титрования до заданного значения pH	$OH^- + H^+ = H_2O$ $H^+ + OH^- = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов. Нельзя применять электроды в пластмассовом корпусе	ГОСТ 30637-99
	Содержание соды в молоке	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$H^+ + OH^- = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ГОСТ 24065-80
	Титруемая кислотность йогуртов	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$H^+ + OH^- = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов. Нельзя применять электроды в пластмассовом корпусе	ГОСТ Р 51331-99, ГОСТ 51455-99
	Кислотность молочных сгущенных консервов и молочных сухих продуктов	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$H^+ + OH^- = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов. Нельзя применять электроды в пластмассовом корпусе	ГОСТ 30305.3-95
	Содержание сахаров в молочных консервах	Окислительно-восстановительное титрование	$I_2 + 2S_2O_3^{2-} = 2I^- + S_4O_6^{2-}$	Платиновый/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ГОСТ 29248-91 титрование с индикатором
	Кислотность молочных продуктов для детского питания	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$H^+ + OH^- = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов. Нельзя применять электроды в пластмассовом корпусе	ГОСТ 30648.4-99
	Содержание общего белка в молочных продуктах для детского питания	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$OH^- + H^+ = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов. Нельзя применять электроды в пластмассовом корпусе	ГОСТ 30648.2-99

1	2	3	4	5	6	7
	Содержание сахарозы в молочных продуктах для детского питания	Окислительно-восстановительное титрование	$I_2 + 2S_2O_3^{2-} = 2I^- + S_4O_6^{2-}$	Платиновый/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ГОСТ 30648.7-99 титрование с индикатором
	Свободная кислотность казеинов	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$H^+ + OH^- = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ГОСТ Р 51468-99
	Содержание белка в казеинах и казеинатах	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$OH^- + H^+ = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ГОСТ Р 51470-99
	Кислотность и кислотное число животных и растительных жиров и масел	Кислотно-основное титрование	$H^+ + OH^- = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Только пара электродов. Нельзя применять электроды в пластмассовом корпусе	ГОСТ Р 52110-2003, ГОСТ Р 50457-92, ГОСТ 8285-91, ГОСТ 5476-80
	Йодное число растительных масел	Окислительно-восстановительное титрование	$I_2 + 2S_2O_3^{2-} = 2I^- + S_4O_6^{2-}$	Платиновый/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ГОСТ 5475-69 титрование с индикатором
	Перекисное число растительных масел и животных жиров	Окислительно-восстановительное титрование	$I_2 + 2S_2O_3^{2-} = 2I^- + S_4O_6^{2-}$	Платиновый/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ГОСТ 26593-85, ГОСТ Р 51487-99, ГОСТ 8285-91 титрование с индикатором
	Число омыления растительных масел и натуральных жирных кислот	Кислотно-основное титрование	$OH^- + H^+ = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Только пара электродов. Температура раствора 90-95^{0}С. Нельзя применять электроды в пластмассовом корпусе	ГОСТ 5478-90
	Содержание мыла в растительных маслах	Кислотно-основное титрование	$OH^- + H^+ = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Только пара электродов. Температура раствора до 90^{0}С. Нельзя применять электроды в пластмассовом корпусе	ГОСТ 5480-59

1	2	3	4	5	6	7
	Кислотность маргарина	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$H^+ + OH^- = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Только пара электродов. Нельзя применять электроды в пластмассовом корпусе	ГОСТ Р 52179-2003, ГОСТ 976-81
	Содержание поваренной соли в маргарине	Осадительное титрование	$Cl^- + Ag^+ = AgCl\downarrow$	Серебряный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов. При титровании по Codex Stan 32-1981 только пара электродов. Электрод сравнения заполняют раствором нитрата калия	ГОСТ Р 52179-2003, ГОСТ 976-81 титрование с индикатором
	Содержание консервантов (бензойной кислоты, бензоата натрия, сорбиновой кислоты, сорбата калия(натрия)) в маргарине	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$H^+ + OH^- = H_2O$ $OH^- + H^+ = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Только пара электродов. Нельзя применять электроды в пластмассовом корпусе	ГОСТ Р 52179-2003
	Кислотность зерна, крупы, муки, отрубей, толокна; комбикормов и комбикормового сырья	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$H^+ + OH^- = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ГОСТ 26971-86, ГОСТ 27493-87, ГОСТ 26312.6-84, ГОСТ 13496.12-98
	Содержание белка в зерне и продуктах его переработки	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$OH^- + H^+ = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ГОСТ 10846-91

1	2	3	4	5	6	7
	Общая кислотность пищевых концентратов и сухих продуктах детского и диетического питания	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$H^+ + OH^- = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ГОСТ 15113.5-77
	Содержание сахарозы в пищевых концентратах	Окислительно-восстановительное титрование	$5Fe^{2+} + MnO_4^- + 8H^+ = 5Fe^{3+} + Mn^{2+} + 4H_2O$	Платиновый/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ГОСТ 15113.6-77 титрование с индикатором
	Содержание поваренной соли в пищевых концентратах, хлебе и хлебобулочных изделиях	Осадительное титрование	$Cl^- + Ag^+ = AgCl\downarrow$	Серебряный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов. Электрод сравнения заполняют раствором нитрата калия	ГОСТ 15113.7-77, ГОСТ 5698-51 титрование с индикатором
	Кислотность макаронных, хлебобулочных и кондитерских изделий	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$H^+ + OH^- = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ГОСТ Р 51865-2002, ГОСТ Р 52377-2005, ГОСТ 5670-96, ГОСТ 5898-87
	Щелочность кондитерских изделий	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$OH^- + H^+ = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ГОСТ 5898-87
	Содержание свободных жирных кислот в яичных продуктах	Кислотно-основное титрование	$H^+ + OH^- = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Только пара электродов. Нельзя применять электроды в пластмассовом корпусе	ГОСТ 30364.1-97
	Кислотность майонезов	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$OH^- + H^+ = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ГОСТ 30004.2-93-2
	Содержание поваренной соли в майонезе	Осадительное титрование	$Cl^- + Ag^+ = AgCl\downarrow$	Серебряный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов. Электрод сравнения заполняют раствором нитрата калия	ГОСТ 30004.2-93-2 титрование с индикатором

1	2	3	4	5	6	7
	Свежесть мяса	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$H^+ + OH^- = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ГОСТ 23392-78
Нефтегазодобывающая промышленность	Общее щелочное число нефтепродуктов	Кислотно-основное титрование	$OH^- + H^+ = H_2O$	Стеклянный/ каломельный (или хлорсеребряный)	Только пара электродов. Необходим солевой мостик Нельзя применять электроды в пластмассовом корпусе.	ГОСТ 30050-93 (ИСО 3771-77)
	Щелочные числа нефтепродуктов, присадок и смазочных материалов	Кислотно-основное титрование	$OH^- + H^+ = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Только пара электродов. Нельзя применять электроды в пластмассовом корпусе.	ГОСТ 11362-76, ГОСТ 11362-96 (ИСО 6619-88)
	Кислотные числа и кислотность нефтепродуктов, присадок и смазочных материалов	Кислотно-основное титрование	$H^+ + OH^- = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Только пара электродов. Нельзя применять электроды в пластмассовом корпусе.	ГОСТ 11362-76, ГОСТ 11362-96 (ИСО 6619-88)
	Содержание органических хлоридов в сырой нефти	Осадительное титрование	$Cl^- + Ag^+ = AgCl\downarrow$	Серебряный (покрытый хлоридом серебра)/ стеклянный	Комбинированный электрод либо пара электродов. В качестве электрода сравнения используют стеклянный электрод, так как величина pH раствора в ходе титрования не изменяется, и потенциал электрода остается постоянным.	ГОСТ 21534-76, ASTM D4929-04

1	2	3	4	5	6	7
	Йодные числа и содержание непредельных углеводородов в светлых нефтепродуктах	Окислительно-восстановительное титрование	$I_2 + 2S_2O_3^{2-} = 2I^- + S_4O_6^{2-}$	Платиновый/ хлорсеребряный	Только пара электродов	ГОСТ 2070-82 титрование с индикатором
	Содержание меркаптановой и сероводородной серы в природных горючих газах, сжиженных газах и топливе для двигателей	Осадительное титрование	$RSH + 2Ag^+ = Ag_2S\downarrow + R^+ + H^+$ $S^{2-} + 2Ag^+ = Ag_2S\downarrow$	Сульфидсеребряный/ хлорсеребряный	Только пара электродов. Нельзя применять электроды в пластмассовом корпусе	ГОСТ 22387.2-97, ГОСТ 22985-90, ГОСТ 17323-71, ГОСТ Р 52030-2003
	Бромное число углеводородов	Окислительно-восстановительное титрование	$I_2 + 2S_2O_3^{2-} = 2I^- + S_4O_6^{2-}$	Платиновый/ хлорсеребряный	Только пара электродов	ASTM UOP304-90
Целлюлозно-бумажная промышленность	Состав щелоков	Кислотно-основное титрование до трех заданных значений pH	$OH^- + H^+ = H_2O$ $S^{2-} + H^+ = HS^-$ $CO_3^{2-} + H^+ = HCO_3^-$ $HS^- + H^+ = H_2S\uparrow$ $HCO_3^- + H^+ = H_2O + CO_2\uparrow$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов. Нельзя применять электроды в пластмассовом корпусе	Методика Марийского филиала ВНИИБ ВНПОбумпрома
	Число Каппа (степень провара) целлюлозы и полуцеллюлозы	Окислительно-восстановительное титрование	$I_2 + 2S_2O_3^{2-} = 2I^- + S_4O_6^{2-}$	Платиновый/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ГОСТ 10070-74
	Остаточная щелочность в сточных водах	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$OH^- + H^+ = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов. Нельзя применять электроды в пластмассовом корпусе	Методика Марийского филиала ВНИИБ ВНПОбумпрома

1	2	3	4	5	6	7
Топливно-энергетический комплекс. Контроль вод на электростанциях	Щелочность	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$OH^- + H^+ = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов. Можно использовать электроды в пластмассовом корпусе	Отраслевой НД
	Кислотность	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$H^+ + OH^- = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов. Можно использовать электроды в пластмассовом корпусе	Отраслевой НД
	Содержание общего азота	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$OH^- + H^+ = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	Отраслевой НД
	ХПК	Окислительно-восстановительное титрование	$Cr_2O_7^{2-} + 6Fe^{2+} + 14H^+ = 6Fe^{3+} + 2Cr^{3+} + 7H_2O$	Платиновый/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	Отраслевой НД титрование с индикатором
	Содержание кислорода по Винклеру	Окислительно-восстановительное титрование	$I_2 + 2S_2O_3^{2-} = 2I^- + S_4O_6^{2-}$	Платиновый/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	Отраслевой НД титрование с индикатором
	Содержание хлорид-ионов	Осадительное титрование	$2Cl^- + Hg^{2+} = HgCl_2\downarrow$	Серебряный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов. Электрод сравнения заполняют раствором нитрата натрия	Отраслевой НД титрование с индикатором
	Жесткость	Комплексонометрическое титрование	$Ca^{2+} + H_2Y^{2-**} = CaH_2Y$ $Mg^{2+} + H_2Y^{2-**} = CaH_2Y$	Кальций-селективный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов. Электрод на общую жесткость имеет меньшую чувствительность, чем кальций-селективный электрод	Отраслевой НД титрование с индикатором

1	2	3	4	5	6	7
	Содержание железа	Комплексонометрическое титрование	$Fe^{3+} + H_2Y^{2-**} = FeHY + H^+$	Железо-селективный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	Отраслевой НД титрование с индикатором
Металлургическая промышленность	Содержание серебра в серебряно-медных и палладиево-серебряно-медных сплавах	Осадительное титрование	$Ag^+ + Cl^- = AgCl\downarrow$	Серебряный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов. Электрод сравнения заполняют раствором нитрата калия	ГОСТ 16882.1-71, 16883.1-71, 16321.1-70, 12561.1-78
	Содержание меди в серебряно-медных сплавах	Окислительно-восстановительное титрование	$I_2 + 2S_2O_3^{2-} = 2I^- + S_4O_6^{2-}$	Платиновый/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ГОСТ 16883.2-71 титрование с индикатором
	Содержание золота в сплавах на основе золота	Окислительно-восстановительное титрование	$2Au^{3+} + 3C_6H_6O_2 = 2Au\downarrow + 3C_6H_4O_2 + 6H^+$	Платиновый/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	Методика количественного химического анализа сплавов на основе золота методом потенциометрического титрования МКХА-02.04-04
Горнодобывающая промышленность	Содержание марганца в марганцевых рудах и концентратах, ферромарганце, ферросиликомарганце	Окислительно-восстановительное титрование	$4Mn^{2+} + MnO_4^- + 8H^+ + 15H_2P_2O_7^{2-} = 5Mn(H_2P_2O_7)_3^{3-} + 4H_2O$	Платиновый/ вольфрамовый платиновый/ хлорсеребряный платиновый/ платиновый	Можно использовать любое сочетание электродов в виде пары электродов либо комбинированного электрода	ГОСТ 22772.2-77, 21876.1-76, 16591/3-94 (ИСО 4159-78)
	Содержание двуокиси марганца в марганцевых рудах и концентратах	Окислительно-восстановительное титрование	$5C_2O_4^{2-} + 2MnO_4^- + 16H^+ = 2Mn^{2+} + 10CO_2\uparrow + 8H_2O$, $6Fe^{2+} + Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ = 6Fe^{3+} + 2Cr^{3+} + 7H_2O$	Платиновый/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ГОСТ 22772.3-77 титрование с индикатором

1	2	3	4	5	6	7
	Содержание общего железа в марганцевых рудах и концентратах	Окислительно-восстановительное титрование	$6Fe^{2+} + Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ = 6Fe^{3+} + 2Cr^{3+} + 7H_2O$	Платиновый/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ГОСТ 22772.4-77 титрование с индикатором
	Содержание серы в в марганцевых рудах и концентратах, ферромарганце	Окислительно-восстановительное титрование	$SO_3^{2-} + I_2 + 2OH^- = SO_4^{2-} + 2I^- + H_2O$	Платиновый/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ГОСТ 22772.7-77, 218876.3-76 титрование с индикатором
	Содержание урана в рудах	Окислительно-восстановительное титрование	$U^{4+} + VO_3^- = UO_2^{2+} + VO^+$	Платиновый/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	Методика ВНИИХТ титрование с индикатором
Строительная промышленность	Суммарное одержание CaO и MgO в кальциевой извести	Кислотно-основное титрование	$OH^- + H^+ = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов. Диапазон pH 0-14, температура раствора 95^{0}C. Нельзя применять электроды в пластмассовом корпусе	ГОСТ 22688-77
Химическая промышленность	Содержание аммонийного азота в минеральных удобрениях	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$OH^- + H^+ = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ГОСТ 29313-92
	Содержание общего азота в минеральных удобрениях	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$OH^- + H^+ = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ГОСТ 30181-94
	Содержание фосфатов в минеральных удобрениях	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$OH^- + H^+ = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Только пара электродов. Нельзя применять электроды в пластмассовом корпусе	ГОСТ 20851.2-75

1	2	3	4	5	6	7
	Содержание калия в минеральных удобрениях	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$H^+ + OH^- = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Только пара электродов. Нельзя применять электроды в пластмассовом корпусе	ГОСТ 20851.3-93
		Осадительное титрование	$K^+ + [B(C_6H_5)_4]^+ = K[B(C_6H_5)_4]\downarrow$	Калий-селективный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов. Электрод сравнения заполняют раствором нитрата натрия	
	Содержание аммонийного азота в органических удобрениях	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$OH^- + H^+ = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ГОСТ 26716-85
	Содержание общего азота в органических удобрениях	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$OH^- + H^+ = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ГОСТ 26715-85
	Содержание органического вещества в органических удобрениях	Окислительно-восстановительное титрование	$2MnO_4^- + 5C_2O_4^{2-} + 16H^+ = 2Mn^{2+} + 10CO_2\uparrow + 8H_2O$	Платиновый/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ГОСТ 27980-88 титрование с индикатором
	Содержание азота в карбамиде	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$H^+ + OH^- = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ГОСТ 2081-92
	Содержание свободного аммиака в карбамиде	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$OH^- + H^+ = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ГОСТ 2081-92
	Содержание хлористого водорода в синтетической соляной кислоте	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$H^+ + OH^- = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ГОСТ 857-95

1	2	3	4	5	6	7
	Содержание серной кислоты в технической серной кислоте	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$H^+ + OH^- = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ГОСТ 2184-77
	Содержание свободного серного ангидрида в технической серной кислоте	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$H^+ + OH^- = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ГОСТ 2184-77
	Содержание гидроксида натрия и углекислого натрия в техническом едком натре	Кислотно-основное титрование до двух заданных значений pH	$OH^- + H^+ = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов. Диапазон pH 0-14. Нельзя применять электроды в пластмассовом корпусе	ГОСТ 2263-79
	Содержание хлористого натрия в техническом едком натре	Осадительное титрование	$2Cl^- + Hg^{2+} = HgCl_2\downarrow$	Серебряный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов. Электрод сравнения заполняют раствором нитрата натрия	ГОСТ 2263-79 титрование с индикатором
	Суммарное содержание кальция и магния в техническом едком натре	Комплексонометрическое титрование	$Ca^{2+} + H_2Y^{2-**} = CaH_2Y$ $Mg^{2+} + H_2Y^{2-**} = CaH_2Y$	Кальций-селективный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов. Электрод на общую жесткость имеет меньшую чувствительность, чем кальций-селективный электрод	ГОСТ 2263-79 титрование с индикатором
	Содержание хлорноватокислого натрия в техническом едком натре	Окислительно-восстановительное титрование	$I_2 + 2S_2O_3^{2-} = 2I^- + S_4O_6^{2-}$	Платиновый/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ГОСТ 2263-79 титрование с индикатором

1	2	3	4	5	6	7
	Содержание углекислого натрия в технической кальцинированной соде	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$OH^- + H^+ = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов. Диапазон pH 0-14. Нельзя применять электроды в пластмассовом корпусе	ГОСТ 5100-85
	Содержание хлоридов в технической кальцинированной соде	Осадительное титрование	$2Cl^- + Hg^{2+} = HgCl_2\downarrow$	Серебряный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов. Электрод сравнения заполняют раствором нитрата натрия	ГОСТ 5100-85 титрование с индикатором
	Содержание ацетона в техническом ацетоне	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$H^+ + OH^- = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Только пара электродов. Нельзя применять электроды в пластмассовом корпусе	ГОСТ 2768-84
	Содержание кислот в техническом ацетоне	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$H^+ + OH^- = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Только пара электродов. Нельзя применять электроды в пластмассовом корпусе	ГОСТ 2768-84
	Содержание остаточного винилацетата в поливинилацетатной дисперсии	Окислительно-восстановительное титрование	$C_4H_6O_2 + Br_2 = C_4H_6O_2Br_2$	Платиновый/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ГОСТ 18992-80 титрование с индикатором
	Бромное число поливинилацетатной дисперсии	Окислительно-восстановительное титрование	$I_2 + 2S_2O_3^{2-} = 2I^- + S_4O_6^{2-}$	Платиновый/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов	ГОСТ 18992-80
	Содержание кислот в этиленгликоле	Кислотно-основное титрование до заданного значения pH	$H^+ + OH^- = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Только пара электродов. Нельзя применять электроды в пластмассовом корпусе	ГОСТ 19710-83

1	2	3	4	5	6	7
	Содержание хлора в полипропилене и сополимерах пропилена	Осадительное титрование	$Cl^- + Ag^+ = AgCl\downarrow$	Серебряный/ хлорсеребряный	Комбинированный электрод либо пара электродов. Электрод сравнения заполняют раствором нитрата калия	ГОСТ 26996-86
	Кислотное число лесохимических продуктов	Кислотно-основное титрование	$H^+ + OH^- = H_2O$	Стеклянный/ хлорсеребряный	Пара электродов	ГОСТ 17823.3-80

** $Na_2H_2Y \cdot 2H_2O$ – трилон Б, динатриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты