



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**федеральное государственное бюджетное образовательное**  
**учреждение высшего образования**  
**«Самарский государственный технический университет»**  
**(ФГБОУ ВО «СамГТУ»)**

---

К а ф е д р а аналитической и физической химии

**КОНДУКТОМЕТРИЯ**  
**КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКОЕ И ВЫСОКОЧАСТОТНОЕ**  
**ТИТРОВАНИЕ**

Методические указания  
к лабораторной работе № 16

**Самара**  
**Самарский государственный технический университет**  
**2017**

Печатается по решению методического совета химико-технологического факультета СамГТУ

УДК 543.555

**Кондуктометрия. Кондуктометрическое и высокочастотное титрование:**  
Метод. указ. к лаб. работам / Сост. Б. М. Стифатов, Ю. В. Рублинецкая. –  
Самара; Самар. гос. техн. ун-т, 2017. - 12 с.:ил.

В методических указаниях рассмотрены примеры практического применения кондуктометрического и высокочастотного титрования для количественного определения ряда веществ в водных растворах.

Указания рассчитаны на студентов, изучающих физико-химические методы анализа в рамках бакалавриата по направлениям 240100, 240700, 241000, 260100 и специалитета по направлениям 020100 и 240300.

УДК 543.555

Составитель канд. хим. наук. Б.М. Стифатов,  
докт. хим. наук Ю.В. Рублинецкая.  
Рецензент канд. хим. наук А.Г. Назмутдинов

@ Б.М. Стифатов, Ю.В. Рублинецкая,  
составление, 2017  
@ Самарский государственный  
технический университет, 2017

*Цель работы:* изучение теоретических основ и практических применений кондуктометрического и высокочастотного кондуктометрического титрования как одного из видов физико-химических методов анализа.

## Кондуктометрический анализ

*Кондуктометрия* - это метод анализа, основанный на измерении электропроводности анализируемого раствора.

*Электропроводностью*  $W$  называют величину, обратную сопротивлению  $R$ :  $W = 1/R$ , [ $\text{Ом}^{-1} = \text{См}$  (Сименс)]. Растворы электролитов, являясь проводниками II рода, подчиняются закону Ома:  $R = U/I$ . Чтобы измерить сопротивление раствора, в него погружают электроды и подают внешнее напряжение  $U$ . По аналогии с проводниками I рода сопротивление раствора прямо пропорционально расстоянию между электродами  $l$  и обратно пропорционально площади их поверхности  $S$ :

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (1)$$

где  $\rho$  - удельное сопротивление,  $\text{Ом}\cdot\text{см}$ ;  $\rho = R$  при  $l = 1 \text{ см}$  и  $S = 1 \text{ см}^2$ , т.е.  $\rho$  - сопротивление  $1 \text{ см}^3$  (мл) раствора.

Величину, обратную  $\rho$ , называют *удельной электропроводимостью* ( $\chi$ ):

$$\chi = 1/\rho, [\text{См}\cdot\text{см}^{-1}]. \quad (2)$$

Величина  $\chi$  равна электропроводности  $1 \text{ см}^3$  (мл) раствора, находящегося между электродами с площадью поверхности  $1 \text{ см}^2$ , удаленными друг от друга на расстоянии  $1 \text{ см}$ .

Из закона Ома следует, что  $\chi$  численно равна току, проходящему через слой электролита с  $S = 1 \text{ см}^2$  под действием градиента потенциала  $1 \text{ В}$  на единицу длины.

Электрическая проводимость разбавленных растворов электролитов зависит от суммарного числа ионов в растворе (то есть концентрации) числа элементарных зарядов, переносимых каждым ионом (то есть заряда иона) и от скорости движения одинаково заряженных ионов к катоду или аноду под действием электрического поля. С учетом этих факторов электропроводящие свойства ионов характеризуются *эквивалентной электропроводимостью* ( $\lambda$ ). Ею называют проводимо-

стью раствора, содержащего 1 моль вещества эквивалента и находящегося между двумя параллельными электродами, расстояние между которыми 1 см.

$$\lambda = \frac{1000 \chi}{c(\frac{1}{z} X)}, \quad (3)$$

где  $\lambda$  - эквивалентная электропроводность раствора электролита, См см<sup>2</sup>/моль;  $\chi$  - удельная электропроводность раствора электролита, См·см<sup>-1</sup>;  $c(\frac{1}{z} X)$  - молярная концентрация эквивалента вещества X, моль/л;  $z$  - число эквивалентности.

Эквивалентная электропроводность уменьшается с увеличением концентрации за счет увеличения межионных взаимодействий. В бесконечно разбавленных растворах приобретает постоянное и максимальное значение  $\lambda_{\infty}$ :

$$\lambda_{\infty} = \lambda_{\infty}^{+} + \lambda_{\infty}^{-}, \quad (4)$$

где  $\lambda_{\infty}^{+}$  и  $\lambda_{\infty}^{-}$  - подвижность катионов и анионов раствора.

Подвижность - это величина, относящаяся к эквиваленту иона (то есть частице с единичным зарядом, например,  $K^{+}$ ,  $\frac{1}{2} Mg^{2+}$ ,  $\frac{1}{3} Al^{3+}$  и т.п.) и равна произведению абсолютной скорости движения иона ( $v$ ) на число Фарадея ( $F$ ):

$$\lambda_{\infty}^{+} = v^{+} \cdot F, \quad \lambda_{\infty}^{-} = v^{-} \cdot F. \quad (5)$$

При измерении электропроводности прохождение тока вызывает химические реакции (электролиз), которые могут производить изменение состава раствора у электрода и вызывать поляризацию электродов. Это может являться источником погрешностей при измерениях. Во избежание этого электропроводность измеряют при переменном токе. Незначительная поляризация постоянно уничтожается при перемене направления тока. Поляризацию уничтожает также платинирование электродов, т. е. покрытие их тонкоизмельченной платиной (платиновой чернью), увеличивающей поверхность электродов. Обычной аппаратурой для измерения сопротивления, а, следовательно, и электропроводности является мостик Уитстона.

Метод для измерения электропроводности с переменным током был впервые применен Кольраушем и носит его имя. Схема прибора Кольрауша приведена на рис. 1.

Сосуд с раствором электролита для измерения его электропроводности образует одно плечо мостика с сопротивлением  $R_x$ , постоянное сопротивление  $R_M$  (магазин сопротивлений) образует другое, калибро-

ванная проволока «ab» с движком «с» образует третье ( $R_2$ ) и четвертое ( $R_3$ ) плечи моста.

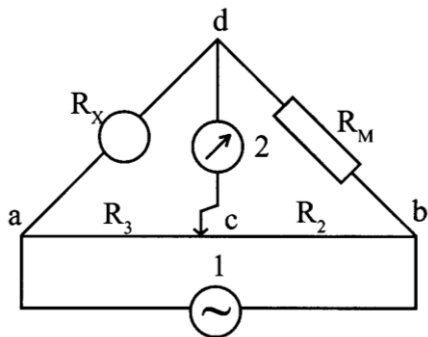


Рис. 14.1. Схема прибора Кольрауша для измерения электропроводности растворов.

Положение передвигного контакта «с» подбирается таким, чтобы нуль-инструмент 2 не показывал ток (или ток был минимален), тогда сопротивление ячейки  $R_X$  можно рассчитать по формуле:

$$R_X = R_M \frac{R_3}{R_2} = R_M \frac{l(ac)}{l(bc)}.$$

Неизвестное значение электропроводности раствора рассчитывают по формуле:

$$W_X = \frac{1}{R_X} = \frac{R_2}{R_M R_3}.$$

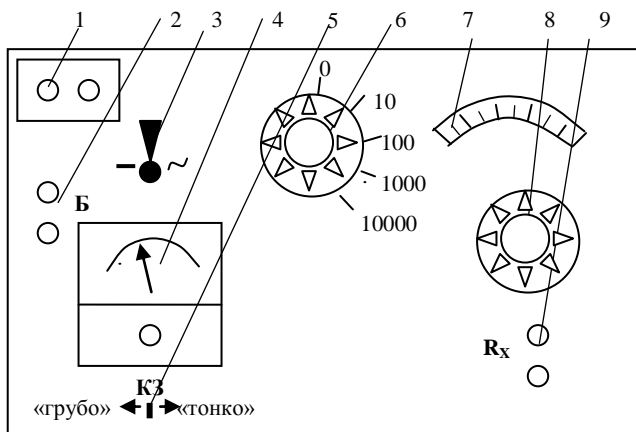


Рис. 2. Вид верхней панели реохордного моста Р-38: 1 - гнезда для подключения прибора к электрической сети; 2 - гнезда для подключения батареи аккумулятора; 3 - тумблер для переключения прибора на постоянный или переменный ток; 4 - гальванометр; 5 - переключатель для грубых и тонких измерений; 6 - ручка магазина сопротивлений; 7 - шкала реохорда; 8 - ручка реохорда; 9 - гнезда для подключения штекеров ячейки.

Промышленно выпускаются различные приборы для измерения электропроводности, в том числе и с цифровой индикацией.

По принципу моста Кольрауша работает промышленно выпускаемый *реохордный мост Р-38*. Верхняя панель прибора имеет вид приведенный на рис. 2.

Для измерения проводимости растворов электролитов используют специальные *кондуктометрические ячейки*.

Кондуктометрические ячейки обычно имеют вид стеклянного колоколообразного сосуда, в дно которого впаяны два параллельных плоских платиновых электрода, площадью приблизительно  $1 \text{ см}^2$  (рис. 3). Такая ячейка погружается в стаканчик с раствором, объемом примерно 20 - 30 мл. Ячейка соединительными проводами подключается к прибору Кольрауша.

Экспериментально измеряемая величина сопротивления раствора зависит от многих факторов, не всегда поддающихся точному учету: размера электродов, их формы, взаимного расположения и мн. др.).

Поэтому истинная электрическая проводимость раствора  $\chi$  связана с экспериментальной  $\chi'$  посредством поправочного коэффициента  $K$ , называемого *константой сосуда*:

$$\chi = K\chi'$$

Из уравнений (14.1) и (14.2) следует, что

$$K = l/S.$$

Константу сосуда  $K$  находят экспериментально с помощью стандартных растворов с известными  $\chi$  в широкой области температур и концентраций.

Обычно в качестве стандартного раствора используют водные растворы  $\text{KCl}$  и  $\text{NaCl}$ .

Константу сосуда находят по уравнению

$$K = R_{cm} \cdot \chi_{cm}.$$

Сопротивление стандартного раствора  $R_{cm}$  измеряют прибором Р-38, удельную электропроводность стандартного раствора  $\chi_{cm}$  берут из соответствующей таблицы справочника физико-химических величин.

Различают *прямой* и *косвенный* кондуктометрический анализ.

*Прямая кондуктометрия* (ПК) является неселективным методом анализа - все виды подвижных ионов, находящихся в растворе (или

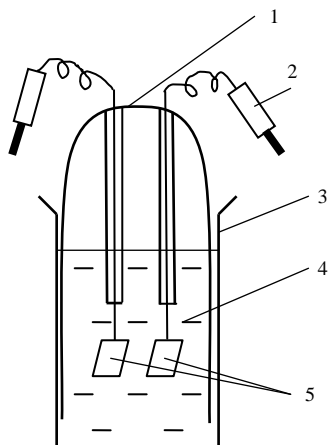


Рис. 3. Схема кондуктометрической ячейки: 1 – корпус ячейки; 2 – штекер для подключения ячейки; 3 – стакан; 4 – раствор электролита; 5 – платиновые пластинчатые электроды.

другой исследуемой среде) вносят свой вклад в электропроводность и по измеренным значениям нельзя выявить долю участия отдельных видов. Поэтому ПК используют для определения общей концентрации ионов в растворе, например, при непрерывном или периодическом анализе растворов в производственных процессах, степени минерализации природных вод, при контроле процессов промывания осадков и материалов, качества воды после очистки или перегонки. В практической работе обычно используют градуированные графики зависимости электропроводности растворов от концентрации тех или иных электролитов. Малая эффективность является существенным ограничением метода ПК.

Более широко применяется *косвенная кондуктометрия - кондуктометрическое титрование* (КТ). КТ основано на изменении электропроводности титруемого раствора вблизи точки эквивалентности, вследствие резкого изменения ионного состава раствора в этот момент. КТ применяют для установления конца кислотно-основного, окислительно-восстановительного, осадительного титрования разбавленных, сильно разбавленных, мутных или окрашенных растворов, когда переход окраски обычных индикаторов не происходит или не виден. К достоинствам метода относится возможность титрования очень разбавленных растворов (меньше  $10^{-4}$  моль/л) с погрешностью, не превышающей 2%.

Применение кондуктометрического кислотно-основного титрования основано на аномальной (значительно большей) величине подвижностей  $\text{OH}^-$  и  $\text{H}^+$  ионов по сравнению с подвижностями других ионов. Например, до начала титрования сильноразбавленного раствора гидролиза натрия его эквивалентная электропроводность равна сумме подвижностей ионов  $\text{Na}^+$  и  $\text{OH}^-$ , составляет

$$\lambda_{\infty}(\text{NaOH}) = \lambda_{\infty}(\text{Na}^+) + \lambda_{\infty}(\text{OH}^-) = 50 + 199 = 249 \text{ [См см}^2\text{/моль]}.$$

В момент полной нейтрализации щелочи (ТЭ) например, соляной кислотой, в растворе имеются только ионы  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$  и эквивалентная электропроводность раствора равна

$$\lambda_{\infty}(\text{NaCl}) = 50 + 76,4 = 126,4 \text{ [См см}^2\text{/моль]}.$$

Следовательно, в процессе титрования электропроводность раствора изменяется от 249 до 126,4  $\text{См} \cdot \text{см}^2/\text{моль}$ .

При перетитровании кислотой электропроводность раствора снова начинает расти и становится равной:

$$350 + 76,4 + 50 + 76,4 = 553,8 \text{ [См}\cdot\text{см}^2/\text{моль}].$$

Кривая титрования гидроксида натрия соляной кислотой (или наоборот) имеет вид представленный на рис. 4. Аналогичные процессы приводят к этому же виду кривые титрования других сильных оснований сильными кислотами или наоборот.

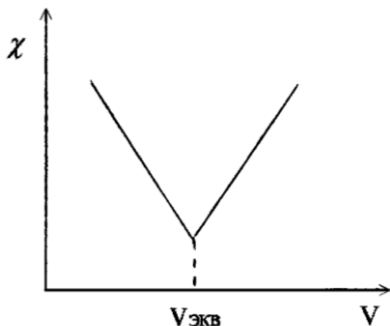


Рис. 4. Вид кривой кондуктометрического титрования сильных кислот (оснований) сильными основаниями (кислотами).

несвязанных  $\text{H}^+(\text{OH}^-)$  ионов и к резкому росту электропроводности (рис.5, а). При титровании смеси сильной и слабой кислот (основания) описанные выше процессы приводят к двум изломам на кривой титрования, позволяющим зафиксировать обе ТЭ (рис. 14.5, б). Различия в подвижностях ионов позволяет проводить их кондуктометрическое определение титрованием.

При титровании слабых оснований (слабых кислот) сильными кислотами (сильными основаниями), вследствие слабой диссоциации веществ титруемых растворов и связывании в воду  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$  ионов, добавляемых с титрантом, электропроводность до точки эквивалентности растет очень слабо. Избыток титранта после ТЭ приводит к появлению в титруемом растворе

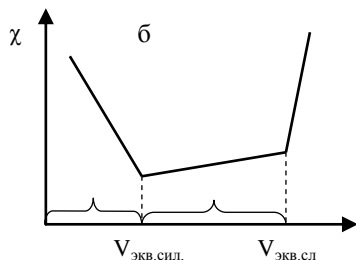
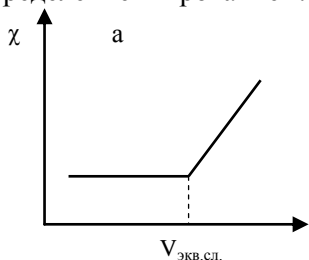


Рис. 5. Вид кривых кондуктометрического титрования: а - слабой кислоты (основания) сильным основанием (кислотой); б - смеси слабой и сильной кислот (оснований) сильным основанием (кислотой).



Для проведения кондуктометрического титрования может использоваться *реохордный мост Р-38* или специальный прибор - *кондуктометр*, позволяющий непосредственно измерять электропроводимость.

*Высокочастотное кондуктометрическое титрование* - одна из разновидностей КТ. В этом случае анализируемый раствор подвергают действию высокочастотного электрического поля с частотой порядка нескольких мегагерц. При повышении внешнего электрического поля электропроводность растворов электролитов увеличивается, так как снимается тормозящий движение ионов релаксационный эффект. Поле высокой частоты деформирует молекулу, поляризуя ее (деформационная поляризация) и заставляет полярную молекулу определенным образом перемещаться. В результате таких поляризационных эффектов возникают кратковременные токи, изменяющие электропроводность, диэлектрические свойства и магнитную проницаемость растворов. Функциональная зависимость этих электрохимических параметров от состава раствора сложна и не может использоваться для прямого высокочастотного анализа.

Широкое распространение получил метод высокочастотного кондуктометрического титрования с использованием кислотно-основной, окислительно-восстановительной, осадительной и комплексообразовательной реакций.

Установки для высокочастотного титрования во многом отличаются от установок обычной низкочастотной кондуктометрии. Ячейка с анализируемым раствором при высокочастотном титровании помещается или между пластинками конденсатора, или внутри индукционной катушки. Соответственно этому в первом случае ячейку называют конденсаторной или емкостной, или С-ячейкой, а во втором - индуктивной или L-ячейкой (рис. 6).

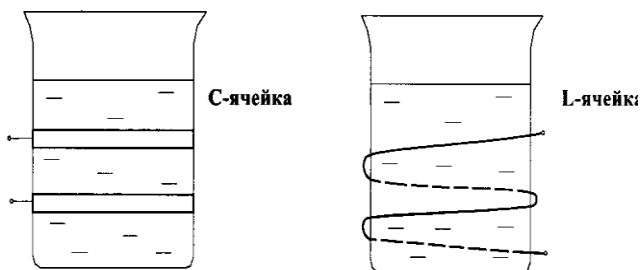


Рис. 6. Схемы установок для высокочастотного кондуктометрического титрования: С- ячейка ; L- ячейка.

Изменения в ячейке, происходящие в результате реакции титрования, вызывают изменения в режиме работы высокочастотного генератора. В ячейках высокочастотного титрования электроды не соприкасаются с исследуемым раствором, что является одним из существенных достоинств метода, позволяющих анализировать высокоагрессивные растворы, пасты и эмульсии.

Промышленностью выпускаются стандартные высокочастотные титраторы. В лабораторной практике хорошо зарекомендовали себя высокочастотные титраторы марки ТВЛ-6Л с емкостной ячейкой.

РАБОТА 16.1	<b>Анализ смеси сильной кислоты и соли слабого основания кондуктометрическим титрованием с помощью реохордного моста Р-38</b>
-------------	---

### *Сущность анализа*

Раздельное определение компонентов смеси сильной кислоты и соли слабого основания (или сильного основания и соли слабой кислоты) можно провести методом кондуктометрического титрования.

В ходе титрования сначала в реакцию титрования вступает более сильный электролит, подавляющий диссоциацию более слабого, а затем, по окончании этой реакции, с титрантом начинает взаимодействовать более слабый электролит.

При кондуктометрическом титровании регистрируют изменение электропроводности (сопротивления) титруемой смеси после добавления каждой порции титранта.

В результате на построенной кривой кондуктометрического титрования проявляются два излома (см. рис. 14.3, б), по которым можно определить эквивалентные объемы титранта, пошедшие на реакцию с обоими веществами смеси.

Кривые кондуктометрического титрования, являющиеся графиком зависимости электропроводности от добавленного объема титранта, можно заменить кривыми, отображающими зависимость электросопротивления от добавленного объема титранта. При этом отпадает необходимость расчета удельной электропроводности, а, следовательно, и определения сосуда (ячейки) для кондуктометрических исследований.

## *Приборы и реактивы*

1. Реохордный мост Р-38.
2. Мерная колба на 100 мл.
3. Аналитическая пипетка на 10 мл.
4. Бюретка на 25 мл (или микродозатор вместимостью 0,2 мл)
5. Стандартный 0,1 М раствор гидроксида натрия.
6. Пинцет.
7. Магнитная мешалка.
8. стержень магнитной мешалки.

## *Выполнение работы*

Контрольный раствор получают в мерную колбу вместимостью 100 мл, доводят до риски дистиллированной водой и тщательно перемешивают.

В сосуд с электродами (ячейку) помещают пипеткой 20 мл раствора контрольной смеси. Соединительными проводами подключают ячейку к клеммам  $R_x$  реохордного моста на его передней панели.

С помощью корректора устанавливают стрелку гальванометра на реохордном мосте на нуль при положении переключателя гальванометра «точно». Переводят переключатель гальванометра в положение («КЗ» – короткозамкнутый).

Включают прибор вилкой в электрическую сеть при положении переключателя питания « $\sim$ » - переменный ток.

Добавляют из бюретки или микродозатором порции титранта к анализируемому раствору по 0,2 мл, тщательно перемешивают раствор с помощью стержня магнитной мешалки и измеряют электросопротивление раствора после каждой порции титранта.

Для измерения электросопротивления переключатель гальванометра ставят в положение «грубо» и вращением ручек магазина сопротивлений и реохорда устанавливают стрелку гальванометра на нуль. Затем переводят переключатель в положение «точно» и снова устанавливают гальванометр на нуль.

Значение электросопротивления раствора получают как произведение значения на переключателе магазина сопротивлений на значение на шкале реохорда при нулевом положении стрелки гальванометра.

После окончания каждого измерения электросопротивления переключатель гальванометра переводят в положение «КЗ» и добавляют следующую порцию титранта.

По результатам измерений строят кривую титрования (см. рис.3) в координатах «электросопротивление – объем добавленного титранта». По изломам на кривой определяют значения эквивалентных объемов титранта, по которым, пользуясь формулами титриметрического анализа, находят массу компонентов смеси в 100 мл контрольного раствора.

РАБОТА 16.2	<b>Определение содержания хлороводородной кислоты кондуктометрическим титрованием с помощью кондуктометра</b>
-------------	---

### *Сущность анализа*

Применение кондуктометра значительно упрощает кондуктометрический анализ, поскольку кондуктометр снабжен шкалой отградуированной непосредственно в сименсах ( $\text{Ом}^{-1}$ ), благодаря чему отпадает необходимость в расчете измеряемых значений электросопротивления и пересчете их в значения электропроводности, имеющая место у обычных кондуктометров мостиковой схемы. В остальном методика кондуктометрического определения аналогична методике анализа с Р-38.

В работе для кондуктометрического титрования используется кондуктометр ОК 102/1 (Венгрия) – рис. 7.

Кондуктометр типа ОК 102/1 предназначен для определения электропроводности жидкостей. Основные области применения кондуктометра:

1. Физико-химические измерения: определение электропроводности, подвижности ионов, постоянно диссоциации, коэффициента растворимости и т.д.

2. Кондуктометрические титрования: весьма точный метод индикации титрования, связанного с изменением электропроводности.

3. Контроль промышленных процессов: измерение содержания соли питательных вод, степени загрязнения охлаждающих и промышленных вод.

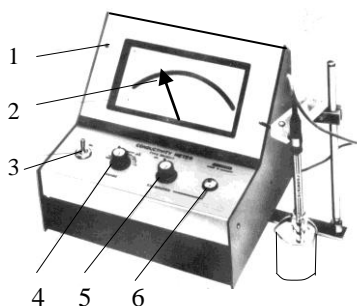


Рис. 7. Кондуктометр ОК 102/1: 1 – корпус прибора; 2 – измерительная шкала; 3 – тумблер «Сеть»; 4 – переключатель пределов измерения «Range»; 5 – ручка калибровки потенциометра «Calibration»; 6 – кнопка калибровки «Calibration».

В конструкции прибора учтены основные требования современной техники измерения. Предел измерения регулируемый от 0,1 микросименс до 0,5 сименс, что обеспечивает возможность измерения электропроводности, встречающейся на практике.

Кроме этого прибор снабжен разъемом для подключения регистрирующего устройства или компенсографа, при помощи которых может производиться непрерывная запись или автоматическое регулирование изменений электропроводности.

### *Приборы и реактивы*

1. Кондуктометр ОК 102/1 (Венгрия).
2. Мерная колба на 100 мл.
3. Аналитическая пипетка на 10 мл.
4. Бюретка на 25 мл (или микродозатор вместимостью 0,2 мл)
5. Стандартный 0,1 М раствор гидроксида натрия.
6. Пинцет.
7. Магнитная мешалка.
8. стержень магнитной мешалки.

### *Выполнение работы*

Контрольный раствор получают в мерную колбу вместимостью 100 мл, доводят до риски дистиллированной водой и тщательно перемешивают.

Подключают кондуктометр вилкой к электрической сети и тублером 3 и прогревают в течение 5 мин и проводят калибровку прибора. Для этого переключатель пределов измерения 4 «Range» поставить в положение 500 мкСм, затем нажать кнопку 6 «Cal» и ручкой «Calibra-

tion» калибровки потенциометра 5 установить стрелку шкалы 2 прибора на красную метку. То же самое повторить в положении переключатель пределов измерения 4 «Range» 150 мкСм, но установить стрелку шкалы 2 прибора на красную метку с помощью потенциометра «Cal» на задней панели прибора.

В стаканчик на 100 мл помещают пипеткой 25 мл контрольного раствора, стержень магнитной мешалки и кондуктометрическую ячейку (рис. 3).

Стаканчик с раствором устанавливают на магнитную мешалку и включают перемешивание.

Для проведения кондуктометрических измерений поставить переключатель пределов измерения 4 «Range» в положение 500 мкСм. Штекерами соединительных проводов ячейки подключают ячейку к паре гнезд  $G_x$  на задней панели кондуктометра без соблюдения полярности. Последовательно менять положения переключателя 4 «Range» в сторону уменьшения до тех пор, пока по шкале прибора не получится хорошо отсчитываемое показание.

Затем проверить калибровку прибора, нажав кнопку 6 «Calibration». Стрелка прибора должна совпадать с красной меткой. В случае отклонения калибровка производится с помощью потенциометра «Cal» на задней панели прибора.

Провести титрования порции контрольного раствора, записывая показания прибора при каждом добавленном объеме титранта. Порции титранта по 0,5 мл добавлять микродозатором или из бюретки.

Титрования вести до момента перемены хода (на увеличение или уменьшение) регистрируемых значений электропроводности. После этого момента произвести 4-5 добавлений титранта и закончить титрование.

По результатам измерений построить кривую титрования в координатах «электропроводность – объем добавленного титранта». По излому на кривой определить значения эквивалентного объема титранта, по которому, пользуясь формулами титриметрического анализа, рассчитать массу определяемого вещества в 100 мл контрольного раствора.

*Сущность анализа*

Содержание хлороводородной (соляной) кислоты определяют высокочастотным титрованием порции анализируемого раствора стандартным раствором гидроксида натрия. После каждого добавления титранта регистрируют значение тока по шкале высокочастотного титратора и по результатам титрования строят график зависимости тока от объема добавленного титранта. Кривая титрования имеет излом, соответствующий положению точки эквивалентности. Измеренный по графику эквивалентный объем титранта пересчитывают в массу определяемой кислоты по формуле закона эквивалентов.

Особенностью титрования является наложение электродов поверх сосуда, в котором производится титрование, что исключает контакт раствора с электродами и позволяет титровать сильно окрашенные и сильно агрессивные жидкости, а также использовать вместо платиновых электродов электроды из других более дешевых металлов, например, стальные.

В работе используют высокочастотный титратор ТВ-6Л1 (Россия), представлены на рис. 8.

Титратор ТВ-6Л1 представляет собой прибор, относящийся к типу Z-метров. Z-метры – это приборы, позволяющие измерять импеданс исследуемого образца. Импеданс  $Z$  представляет собой сопротивление электрохимической системы переменному току и складывается из омической  $R_s$  и емкостной  $C_s$  составляющих. Сопротивление электрохимической цепи  $R_s$  и ее емкость  $C_s$  связаны между собой интегральными соотношениями. Поэтому изменение в ходе титрования сопротивления  $R_s$  ведет к одновременному изменению величины  $C_s$ , что может быть зарегистрировано с помощью емкостной C-ячейки.

*Приборы и реактивы*

1. Высокочастотный титратор ТВ-6Л1.
2. Широкогорлая пробирка вместимостью 100 мл.
3. Стержень магнитной мешалки.

4. Мерная колба вместимостью 100 мл.
5. Аналитическая пипетка вместимостью 20 мл.
6. Бюретка вместимостью 25 мл.
7. Стандартный раствор гидроксида натрия, 0,1 М.
8. Микродозатор вместимостью 0,5 мл.
9. Пинцет.

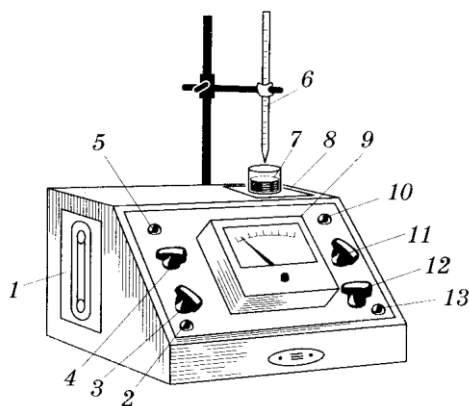


Рис. 8. Высокочастотный титратор ТВ-6Л1 [5]: 1 – переключатель напряжения сети; 2 – тумблер включения мешалки; 3 – ручка регулятора скорости перемешивания; 4 – ручка установки чувствительности прибора; 5 – индикаторная лампа включения прибора; 6 – бюретка с титрантом; 7 – ячейка для титрования; 8 – датчик; 9 – шкала микроамперметра; 10 – индикаторная лампа включения прибора; 11, 12 – ручки «грубого» и «тонкого» установления деления шкалы; 13 – тумблер включения прибора..

### *Выполнение работы*

Контрольный анализируемый раствор хлороводородной кислоты получают в мерную колбу вместимостью 100 мл, доводят до риски дистиллированной водой и тщательно перемешивают.

Титратор подключают к электросети вилкой и тумблером, подключение проверяют по загоранию сигнальной лампочки «Сеть» на передней панели прибора. Прибор прогревают 40 мин.

Для проведения титрования ослабляют пружинный зажим держателя пробирки на правой торцевой части титратора и извлекают из гнезда титратора широкогорлую пробирку. Пробирку ополаскивают дистиллированной водой и помещают в гнездо титратора между кольцами емкостных электродов, закрепляют зажимом. В подготовленную пробирку переносят пипеткой аликвоту анализируемого раствора из мерной колбы и доливают дистиллированной воды столько, чтобы уровень раствора в пробирке был выше уровня верхнего электрода на 3-5 мм.



Для перемешивания раствора в процессе титрования в пробирку опускают стержень магнитной мешалки и запускают магнитную мешалку тумблером 2 на передней панели, отлаживая скорость перемешивания ручкой 3, чтобы в растворе не образовывалась воронка.

Переключатель чувствительности 4 выставляют в положение «4» и выставляют ручками «Грубо» 11 и «Тонко» 12 стрелку на табло амперметра титратора на середину шкалы. При необходимости меняют чувствительность переключениями ручки 4 из положения «4» в положения «3», «2» и «1», соответственно.

Титруют раствор хлороводородной кислоты в пробирке 0,1М раствором NaOH, добавляя его по 0,5 мл с помощью микродозатора или из бюретки.

Записывают показания стрелки на табло титратора после добавления каждой порции титранта. По результатам титрования строят график зависимости  $I = f(V_{\text{титр.}})$ , определяют по графику  $V_{\text{экв.}}(\text{NaOH})$  и рассчитывают по этому значению массу хлороводородной кислоты в 100 мл контрольного раствора по формуле:

$$m(\text{HCl}) = \frac{c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH}) \cdot M(\text{HCl})}{1000} \cdot \frac{V_{\text{МК}}}{V_{\text{пип}}},$$

где  $m(\text{HCl})$  – масса хлороводородной кислоты, г;  $c(\text{NaOH})$  – молярная концентрация стандартного раствора NaOH, моль/л;  $V(\text{NaOH})$  – эквивалентный объем стандартного раствора NaOH, мл;  $M(\text{HCl})$  молярная масса HCl, г/моль;  $V_{\text{МК}}$  – объем контрольного раствора в мерной колбе, мл;  $V_{\text{пип}}$  – объем раствора в пипетке, мл.

### Контрольные вопросы

1. На чем основаны электрохимические методы анализа (ЭМА)? Классификация.
2. На чем основаны кондуктометрические методы анализа?
3. Принцип деления на прямую и косвенную кондуктометрию, примеры применения.
4. В чем сущность высокочастотного кондуктометрического титрования? Ячейки, применение.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аналитическая химия. В 2ч. Ч.2.Физико-химические методы анализа: Практикум./ В.В. Слепушкин, Б.М. Стифатов, Ю.8. Рублинецкая, Е.Ю. Мошенская. - Самара: Самар. гос. тех. ун-т, 2011.-286 с.
2. Аналитическая химия. Физические и физико-химические методы анализа: Учеб. для вузов / Под ред. О. М. Петрухина.- М.:Химия, 2001.
3. Основы аналитической химии. Практическое руководство: Учеб. пособие для вузов/Под ред. Ю. А. Золотова. -М.:Высш.шк., 2001.
4. Алесковский В.В. и др. Физико-химические методы анализа. - М.:Химия,1987.
5. Аналитическая химия. Лабораторный практикум: Пособие для вузов/Под ред.В.П. Васильева.-М.: Дрофа, 2004.
6. Стифатов Б.М, Лосева М.А., Рублинецкая Ю.В. Аналитическая химия и физико-химические методы анализа. Учеб. пособие. - Самара: СамГТУ, 2004.
7. Краткий справочник физико-химических величин / Под ред. Равделя А.А. и Пономарёвой А.М., СПб.: Специальная литература, 1998. - 232 с.

**Кондуктометрия. Кондуктометрическое  
и высокочастотное титрование**

Составитель: *СТИФАТОВ Борис Михайлович*  
*РУБЛИНЕЦКАЯ Юлия Вячеславовна*

Печатается в авторской редакции  
Компьютерная верстка Стифатов Б.М.

Подписано в печать 14.02.17  
Формат 60х84/16  
Усл. п.л. 1,06. Уч. изд.л. 1,09  
Тираж 50 экз.

---

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Самарский государственный технический университет»  
443100. г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244. Г. главный корпус.

Отпечатано в типографии Самарского  
государственного технического университета  
443100. г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244. Корпус №8.

