

## ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК: 543.5

А. Сарсенов, чл.-корр. НАЕН РК,  
профессор Евразийского национального  
университета им. Л.Н. Гумилева,  
Б. У. Байхожаева, профессор Евразийского  
национального университета им. Л.Н. Гумилева,  
Е. Т. Абсеитов, доцент Евразийского национального  
университета им. Л.Н. Гумилева,  
А. М. Серикбаева, магистр Евразийского национального  
университета им. Л.Н. Гумилева,  
г. Нурсултан, Республика Казахстан.

### МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ВЕЩЕСТВ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ С ПОМОЩЬЮ ГИГРОМЕТРА – ПСИХРОМЕТРИЧЕСКОГО

**Аннотация:** Для определения молекулярной массы, концентрации и степени чистоты вещества используются разные методы: криоскопический метод определения массы, эбуллиоскопический способ и дилатометрический метод подхода. **Все эти методы обладают** недостатками с возможной высокой погрешностью результатов измерения до 40 процентов. В данной статье предлагается использование приборов для измерения относительной влажности воздуха, называемыми гигрометрами-психрометрами (прототип), **но уже предлагается** использование приборов ВИТ по другому назначению, для определения не влажности воздуха, а концентрации растворенного вещества в воде. Альтернативное использование приборов открывает возможности к безреагентному физико-химическому способу измерения количества вещества в воде, основанному на использовании зависимости психрометрической разности температур ( $\Delta T^\circ$ ), «сухого» и «влажного» термометров от концентрации (С) присутствующих веществ, которая влияет на активность молекул растворителя (воды) и изменению показаний «влажного» термометра.

Способ можно использовать для количественного анализа водорастворимых веществ в химических лабораториях, в фармацевтике, в медицине, а также при проведении лабораторно-практических занятий в вузах и колледжах.

**Ключевые слова:** количество вещества, дилатометрический метод, эбуллиоскопический метод, криоскопический метод, молярная масса.

А. Сарсенов, КР УТИА мүчө-корреспонденти,  
Л. Н. Гумилев атындагы Евразия улуттук  
университетинин профессору,  
Б. У. Байхожаева, Л. Н. Гумилев атындагы  
Евразия улуттук университетинин профессору,  
Е. Т. Абсеитов, Л. Н. Гумилев атындагы  
Евразия улуттук университетинин доценти,  
А. М. Серикбаева, Л. Н. Гумилев атындагы  
Евразия улуттук университетинин магистри,  
г. Нурсултан, Казакстан Республикасы.

## ПСИХРОМЕТРИКАЛЫК ГИГРОМЕТРДИ КОЛДОНУУ МЕНЕН СУУ ЭРИТМЕЛЕРИНДЕ ЗАТТАРДЫ АНЫКТОО ЫКМАЛАРЫ

**Аннотация:** молекулярдык салмагы аныктоо, топтоо жана жыштыгына даражасы ар кандай ыкмаларды колдонгон: массалык эбуллиоскопиялык ыкмасын жана дилатометриялык мамилени аныктоо үчүн криоскопиялык ыкмасы. Булардын баары өлчөө жыйынтыгы боюнча 40 пайызга чейин жогорку тактык менен мүмкүн болгон кемчиликтерди турат. Бул макалада салыштырмалуу нымдуулук, жылуулугунун аталган психометрик (прототип) өлчөө үчүн инструменттерди колдонуу сунуш кылынат. Макаала аба нымдуулукту жана суу менен гана чечим болбосун, кунт аныктоо үчүн эмес, башка максаттар үчүн пайдалануу таштап түзмөктөрүн сунуштайт. Колдонуу альтернативдүү түзүлүштөрдү чен өлчөмүн реагентсиз заттардын курамы, суунун физика-химиялык методдор мүмкүндүк берет, температуранын айырмасы ( $\Delta T$  °), "куркак" жана "нымдуу" термометрлерди, таасир этүүчү заттардын концентрациясына таасир этүүчү (C) негизделген пайдалануу жараша. молекулы эриткич (суу) жана "нымдуу" термометрлерди көрсөткүчтөрүнүн өзгөрүшү. Бул ыкма суу-ээрүүчү сандык талдоо ыкмасы үчүн химиялык лаборатория, дарыкана жана медицинада мындан тышкары, университеттер лабораториялык жана практикалык сабактарда пайдаланууга болот.

**Ачкыч сөздөр:** буюм өлчөмү, дилатометриялык ыкмасы, эбуллиоскопиялык ыкмасы, криоскопиялык ыкмасы, азуу салмак.

A. Sarsenov, professor  
of Eurasian National  
University named after L.N. Gumilyov  
B.U. Baikhozhaeva,  
professor of Eurasian National  
University named after L.N. Gumilyov,  
E. T. Abseitov,  
associate professor of Eurasian National  
University named after L.N. Gumilyov,  
A. M. Serikbayeva,  
master of Eurasian National  
University named after L.N. Gumilyov,  
Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan.

## METHODS FOR DETERMINING THE CONTENT OF SUBSTANCES IN AQUEOUS SOLUTIONS USING A PSYCHROMETRIC HYGROMETER

**Abstract:** different methods are used to determine the molecular weight, concentration and degree of frequency: cryoscopic method of mass determination, ebullioscopic method and dilatometric approach. All of these methods have drawbacks with a possible high measurement error of up to 40 percent. This article proposes the use of devices for measuring relative humidity, called hygrometers-psychrometers (prototype). The article suggests the use of VIT devices for another purpose, to determine not the humidity of the air, but the concentration of the dissolved substance in water. The alternative use of the devices opens up possibilities for a reagent-free physico-chemical method of measuring the amount of substance in water, based on the use of the dependence of the psychrometric temperature difference ( $\Delta T$ °), "dry" and "wet" thermometers

on the concentration (C) of the substances present, which affects the activity of the solvent molecules (water) and the change in the readings of the "wet" thermometer.

The method can be used for quantitative analysis of water-soluble substances in chemical laboratories, in pharmaceuticals, in medicine, as well as during laboratory and practical training in universities and colleges.

**Key words:** amount of substance, dilatometric method, ebullioscopic method, cryoscopic method, molar mass.

**Введение.** Изобретение относится к безреагентным физико-химическим методам анализа водорастворимых веществ и может быть использовано для количественного анализа, например, индивидуальных солей элементов первой и второй групп таблицы Д.И. Менделеева, в частности соединений лития, магния, натрия, калия, кальция, стронция, или других водорастворимых веществ в химических лабораториях, в фармацевтике и в учебном процессе при проведении лабораторно-практических занятий в вузах и колледжах.

**Недостатки существующих методов.** Известен криоскопический метод определения молярной массы и концентрации растворенного вещества, основанный на измерении понижения температуры замерзания его разбавленного раствора по сравнению с температурой замерзания чистого растворителя [1].

Согласно закона Рауля, это понижение температуры определяется концентрацией растворенного вещества. Этот традиционный, широко-применяемый в физико-химических исследованиях метод обладает следующими недостатками:

- 1) Требуется длительного времени для проведения анализов из-за необходимости замораживания водного раствора;
- 2) Требуется расходования специальных сложных в приготовлении и использовании охлаждающих смесей;
- 3) Требуется использования громоздкого дорогостоящего оборудования (термометр Бекмана, охладителей-кристаллизаторов с хладагентом или морозильных камер) [4].

Известен патент эбуллиоскопического определения молекулярной массы, концентрации и степени частоты растворенного в воде вещества путем измерения разности температуры кипения раствора и чистого растворителя,  $\Delta T$  отличающейся тем, что для повышения точности анализа, после измерения температуры кипения раствора, в стационарном режиме производят атгонку порции чистого растворителя в градуированный приемник, измеряет массу этой порции, а молекулярную массу вещества (M) определяют используя зависимость между концентрацией вещества в стационарном режиме (C) и  $\Delta T$ -промежуточным значением изменения температур в точке кипения:  $M \approx \frac{C}{\Delta T}$ ;  $C \approx M \times \Delta T$  [2].

Эбуллиоскопический метод имеет следующие недостатки:

- 1) Имеют достаточно сложную длительную и трудоемкую методику измерений;

2) В следствие явлений перегрева и трудности достижения термодинамического равновесия, ошибка измерений достигает 30-40%

Существует дилатометрический метод определения концентраций вещества, свойств растворов с нано-размерными образованиями и супрамолекулярными эффектами при изменении температуры и состава различных растворов [3].

В данной работе предлагается прецизионный дилатометрический метод исследования жидкостей, основанный на одновременном измерении при нагревании от нуля до 100°C трех объемных свойств жидкости: изотермической сжимаемости, термического коэффициента объемного расширения и плотности.

Метод имеет следующие недостатки:

1) В настоящее время промышленность стран СНГ не выпускает указанный в этом источнике информации прецизионный дилатометр, вследствие чего указанный прибор дефицитен и недоступен для массового использования в практике физико-химического анализа жидких систем, и в частности водных растворов;

2) Использование метода требует значительного нагревания исследуемой жидкости от комнатной (18°-25°C) до температуры 90°-100°C, что приводит к неконтролируемому изменению свойств жидкости, например к усилению процессов гидролиза, полимеризации и др.

Активность молекул воды в данном растворе зависит от концентрации растворенного вещества, а давление насыщенного пара над раствором, как следствие, зависит от активности молекул воды.

Относительная влажность воздуха над раствором, в свою очередь, зависит от активности молекул растворителя (воды). Известен способ и приборы для измерения относительной влажности воздуха, называемые гигрометрами-психрометрами (прототип). Это приборы ВИТ-1 и ВИТ-2 [5].

**Преимущества альтернативного использования приборов ВИТ.** Нами предлагается использование приборов ВИТ по другому назначению, для определения не влажности воздуха, а концентрации растворенного вещества в воде.

С помощью данных приборов типа ВИТ измеряют разность температур между «влажным» и «сухим» термометрами  $\Delta T$ . Нами установлено, что величина  $\Delta T$  (психометрическая разность температур) зависит от концентрации растворенного вещества в воде. Приборы ВИТ работают при невысоких температурах, близких к обычным температурам от 5° С до 40° С.

С целью устранения недостатков, указанных в аналогах и прототипе, в настоящем изобретение предлагается использование указанных гигрометров-психрометров для количественного определения содержания веществ в водных растворах.

Положительными техническими результатами при использовании приборов типа ВИТ для определения концентрации растворенных в воде веществ являются:

1) Не требуется специального дополнительного устройства нагрева или охлаждения анализируемого раствора;

2) Рабочими температурами являются температуры, близкие к комнатным, поэтому не происходят нежелательные изменения анализируемых растворов в виде процессов гидролиза, растущих при увеличении температуры, гидролитической полимеризации и поликонденсации с получением нежелательных осадков, мути или образованием опалесцирующих коллоидных систем. Перечисленные изменения растворов искажают результаты измерений практически до 40-50%.

Первичными графиками являются кривые охлаждения в координатах температуры ( $^{\circ}\text{C}$ ) и время (мин.) в течении 15-20 мин. ход кривой охлаждения выходит на плато, что соответствует установлению теплового равновесия с окружающей средой.

Величина  $\Delta T$  является разницей между начальной температурой водного раствора и температурой установления теплового равновесия.

Концентрированные водные растворы, благодаря тому что молекулы воды удерживаются в гидратных оболочках растворенного вещества сильнее удерживают молекулы воды от испарения, а поскольку при испарении воды температура её понижается, то величина  $\Delta T^{\circ}\text{C}$  будет для концентрированных растворов меньше, чем для разбавленных.

Наибольшей величиной  $\Delta T^{\circ}\text{C}$  обладает чистый растворитель-вода, а разница  $T^{\circ}\text{C}$  между чистой дистиллированной водой, разбавленными и концентрированными может достигать, как это установлено нами, может достигать  $5-7^{\circ}\text{C}$ . Поэтому, при цене деления приборов ВИТ  $0,9^{\circ}\text{C}$  имеется возможность изучения до 25-35 растворов анализируемых веществ в воде.

Прибор ВИТ-1 имеет температурную шкалу от  $5^{\circ}\text{C}$  до  $25^{\circ}\text{C}$ , а ВИТ-2 от  $15^{\circ}\text{C}$  до  $40^{\circ}\text{C}$ . Цена деления шкалы  $0,2^{\circ}\text{C}$  т.е. приборы ВИТ имеют достаточную точность. Для измерения концентраций, предварительно готовят стандартные растворы, содержащие точные навески растворенных веществ. Для работы используют психрометр типа ВИТ, состоящий из двух одинаковых термометров на одном штативе. Питатель «влажного» термометра смачивают при работе первоначально чистой водой, затем стандартными растворами исследуемого вещества. Температуру окружающей среды определяют после установления теплового равновесия по сухому термометру ( $t^{\circ}_{\text{сух.}}$ ), а психрометрическую разность температур  $\Delta T^{\circ}$  находят вычитанием показания «влажного» термометра ( $t^{\circ}_{\text{влажн.}}$ ) от показаний «сухого».

$$\Delta T^{\circ}\text{C} = t^{\circ}_{\text{сух.}} - t^{\circ}_{\text{влажн.}}$$

Величина  $\Delta T^{\circ}\text{C}$  зависит от концентрации растворенного вещества, что используют для определения концентрации этого вещества в воде.

Далее получают зависимость  $\Delta T^{\circ}\text{C}$  от концентрации растворенного вещества (С) и строят калибровочный график в координатах ( $\Delta T^{\circ}$ ) - концентрация (С).

Аналогичные действия проводят с раствором неизвестной концентрации и находят для него значение  $\Delta T_x$  и по полученному графику определяют неизвестную концентрацию  $C_x$ .

Пробы стандартных и исследуемых растворов в питатель влажного термометра удобно доставлять химической пипеткой или медицинским шприцом. Время установления теплового равновесия (время одного опыта) равно 15-20 минут.

Относительная ошибка метода зависит от точности измерения температуры и для прибора типа ВИТ равна  $\pm 0,4\%$ . Приборы марки ВИТ являются недорогими, надежными, несложными и удобными при эксплуатации.

Достижимыми положительными практическими результатами являются также то, что анализ является нетрудоемким, безреагентным, надежным, достаточно быстрым и достаточно точным. Теоретической основой метода служит явление фазового перехода молекул воды из жидкости в газ, который сопровождается снижением температуры в результате потери жидкой фазой активных более «горячих» молекул  $H_2O$ , в связи с чем температура жидкой фазы понижается до определенного значения, обусловленного тепловым равновесием с окружающей средой.

Для проведения работы проводят следующую последовательность действий над используемым материальными объектами (прибор ВИТ и водные растворы)

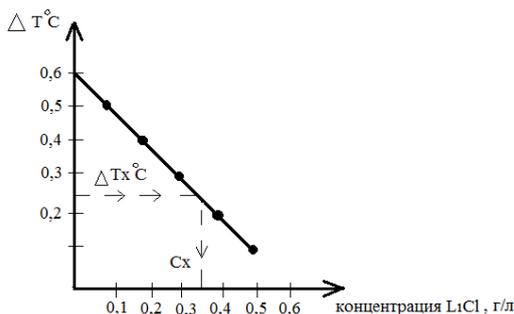
- 1) Готовят стандартные растворы веществ с известной концентрацией.
- 2) После выравнивания температур исследуемых растворов с температурой окружающей среды проводим, для полученных стандартных растворов, определение психрометрической разности температур  $\Delta T_x^\circ$  по сравнению с дистиллированной водой. Затем строим калибровочный график зависимости ( $\Delta T^\circ$ ) от известной концентрации стандартных растворов (С), (моль/л, по калибровочным графику, зная величину  $\Delta T_x^\circ$  для раствора неизвестной концентрации находим искомое значение  $C_x$ , г-экв/л, или с использованием процентной концентрации).

3) С целью экономии времени используют не один, а несколько заранее подготовленных питателей и фитилей «влажного» термометра, соответственно количеству измеряемых проб.

Метод пригоден как для использования молекулярно растворенных веществ (например сахар, глюкоза или  $H_3BO_3$ ), так и для диссоциированных веществ (растворы солей, например LiCl, NaCl, KCl).

Пример 1: Поставлена задача определения неизвестной концентрации соли лития LiCl в воде. Первым этапом работы является приготовление стандартных растворов LiCl с известной концентрацией соли (г/х): 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5. Затем проводят психрометрической разности температур  $\Delta T^\circ C$ , между «влажным» и «сухим» термометрами по описанной выше методике.

Используя полученные данные строят калибровочную прямую в координатах  $T^{\circ}C$  и концентрации  $LiCl$  (рис.1).

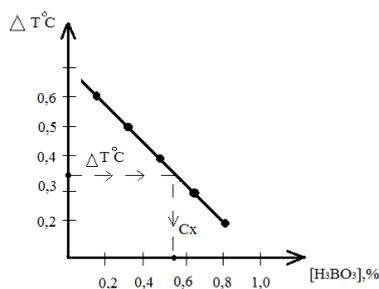


**Рис. 1 - Зависимость психометрической разности  $\Delta T^{\circ}$  и концентрации  $LiCl$  (калибровочная прямая)**

Чтобы найти концентрацию  $LiCl$  в неизвестном растворе, для образца этого раствора, после того как часть его помещают в приемную кювету «влажного» термометра определяют величину  $\Delta T^{\circ}x$

Эта величина оказалась равной  $0,25^{\circ}C$  до калибровочной прямой и опуская перпендикуляр на ось концентрация, находим концентрацию  $LiCl$  в исследуемом растворе равную  $C_x = 0,35$  г/л.

Пример 2. Требуется определить неизвестную концентрацию борной кислоты  $H_3BO_3$ , в водном растворе. Готовим стандартные растворы  $H_3BO_3$ , с концентрацией %: 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0. Выполнив последовательные действия, описанные в примере 1, строим калибровочную прямую (рис 2). Используя прямо пропорциональную зависимость между величинами  $\Delta T^{\circ}C$  и концентрацией борной кислоты (весовой %), после экспериментального определения  $\Delta T^{\circ}C$ , находим по графику искомое значение  $C_x$  для борной кислоты, равное 0,55%



**Рис. 2 - Зависимость между величинами  $\Delta T^{\circ}C$  и концентрацией борной кислоты (весовой %)**

**Заключение.** Предложен безреагентный физико-химический способ измерения количества растворенных веществ в воде, основанный на использовании зависимости психометрической разности температур ( $\Delta T^{\circ}$ ), «сухого» и «влажного» термометров от концентрации ( $C$ ) присутствующих веществ, которая влияет на активность молекул растворителя (воды) и изменение показаний «влажного» термометра. В результате снижения

скорости испарения воды температура «влажного» термометра понижается. Степень этого понижения зависит от концентрации вещества, растворенного в воде.

1. Способ определения количества растворенного в воде вещества отличающийся тем, что концентрацию определяют по значению психрометрической разности температур  $\Delta T^\circ$  между «сухим» и «влажным» термометрами, когда фитиль питателя «влажного» термометра смачивается предварительно дистиллированной водой, затем поочередно растворами стандартных веществ и исследуемой пробы неизвестной концентрации.

2. Способ по п.1 отличающийся тем, что показания термометров снимают после достижения термодинамического (температурного) равновесия с окружающей средой;

3. Способ по п.1 отличающийся тем, что измерения проводят с помощью гигрометра-психрометрического.

4. Способ по п.1 отличающийся тем, что неизвестную концентрацию растворенного вещества ( $C_x$ ) определяют по калибровочному графику зависимости  $\Delta T^\circ$  от концентрации стандартных растворов ( $C$ ).

5. Способ по п.1 отличающийся тем, что с целью сокращения времени, затрачиваемого на анализ, используют не один, а несколько сменных питателей и фитилей «влажного» термометра, подготавливаемых заранее, в соответствии с количеством измеряемых проб.

Неизвестную концентрацию растворенного вещества находят по калибровочному графику в координатах ( $\Delta T^\circ - C$ ). Способ является малозатратным, достаточно простым, быстрым, надежным и обладает рядом преимуществ перед другими физико-химическими методами определения содержания растворенных в воде веществ.

В качестве вывода по данной статье, предлагаем что метод можно использовать для количественного анализа водорастворимых веществ в химических лабораториях, в фармацевтике, в медицине, а также при проведении лабораторно-практических занятий в вузах и колледжах.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Советский энциклопедический словарь - М.: Сов. Энциклопедия. – 662 с.
2. Пат. SU 693188, 1979.
3. Карцев В.Н. Прецизионная dilatометрия жидкофазных систем. Автореферат дисс. ... д-ра наук. - Саратовский госуниверситет, 2004. – 56 с.
4. Киреев В.А. Курс физической химии. -М.: Химия, 1975. – 776 с.
5. АТЛАС ИНВЕСТ. Средства измерений, КИПиА, поверка и калибровка СИ [электронный ресурс] - режим доступа : [www.atlasmetr.com](http://www.atlasmetr.com) – Загл. с экрана.