

Единицы жесткости воды и прочие концентрации

Очков В.Ф.
доктор техн. наук, профессор
заслуженный работник ЕЭС России

Кафедра технологии воды и топлива
Московского энергетического института (ТУ)

Хуснуллин А.Ш.
студент

Дано описание единиц жесткости воды – современных и устаревших, а также дано описание расчетных сайтов Интернета, с помощью которых можно вести пересчеты концентраций

The description of units of water hardness – the modern and old, as well as a description of the calculation of Internet sites, from which you can conduct recounts concentrations

Данной статьей редакция продолжает цикл по программированному расчету процессов водоподготовки:

- Очков В.Ф. Программированный расчет известкования и коагуляции воды, №7 (19), 2009 г.
- Очков В.Ф., Мельников И.А. Программированный расчет углекислотного равновесия в воде, №8 (20), 2009 г.
- Очков В.Ф. Оптимизация модульных водоподготовительных установок, №9 (21), 2009 г.
- Очков В.Ф. Фронт фильтрования: математическая модель и визуализация, №10 (22), 2009 г.
- Очков В.Ф. Оптимизация «подарка теплотехников плохим химикам-водникам», №11 (23), 2009 г.
- Очков В.Ф., Чудова Ю.В. Обработка охлаждающей воды для предотвращения карбонатных и сульфатных отложений в оборотных системах охлаждения, №1 (25), 2010 г.
- Очков В.Ф., Чудова Ю.В. Анализ качества питательной воды и корректировка производительности для обратноосмотических мембран и нанофильтрационных установок, №2 (26), 2010 г.

«– Грот доказывает еще ту теорию, – бормотал педагог, – что ворота не среднего рода, а мужского. Гм... Значит, писать нужно не красные ворота, а красные... Ну, это пусть он оближется! Скорее в отставку подам, чем изменю насчет ворот свои убеждения.»

А.П.Чехов «В Париж»

Восклицание, повторяющее приведенное в эпиграфе, можно услышать в наше время в отношении к одной водно-химической проблеме: «Международная система (СИ) требует, чтобы количество вещества измерялось только молями. Гм... Значит жесткость и щелочность воды нужно выражать в ммоль/л, а еще точнее в ммоль/дм³, а не в привычных мг-экв/л. Ну, это пусть они (разработчики СИ) оближутся! Скорее я на пенсию уйду, чем изменю насчет миллиграмм-эквивалентов свои убеждения». Один из авторов слышал это восклицание от одного педагога с тридцатилетним стажем – выпускника химфака МГУ, немного обработал его (не педагога, а восклицание) в стиле чеховского эпиграфа, но суть оставил прежний. А она такова. Только-только гидрохимии у нас в стране и за рубежом перестали измерять жесткость воды в *градусах*¹ и перешли на мг-экв/л (международное обозначение meq/l или mEq/l), как и эта единица жесткости была объявлена вне закона. В буквальном смысле слова – использование СИ почти во всех странах не просто рекомендовано, а узаконено.

Требования СИ не позволяют, например, сказать, что «концентрация кальция в растворе равна 1 г-экв/л». Нет больше такой единицы измерения – г-экв. Нельзя также сказать, что «концентрация кальция в растворе равна 1 моль/л». Нужно уточнить, какая концентрация – молярная или нормальная (а точнее, молярная концентрация эквивалентов) здесь имеется в виду, т.е. что является структурной единицей в данном растворе – ионы кальция или заряды ионов (катионов) кальция². Умолчание (недосказанность) здесь может привести к существенной ошибке: зарядов ионов кальция в единице объема раствора в два раза больше чем самих ионов кальция³: если молярная концентрация кальция в растворе равна, например, 1 моль/л, то нормальная

¹ Раньше очень многое измерялось *градусами* – упомянутая жесткость воды, крепость спиртных напитков, твердость металлов, вязкость жидкостей и т.д. Международная система почти полностью изгнала из метрологии все эти градусы, понятные только узким специалистам, заменив их (градусы) на более «физические» единицы измерения. Сейчас нельзя даже сказать «градус Кельвина», если говорить о температуре, – нужно говорить просто «кельвин».

² Для читателей, далеких от химии, этот тезис можно пояснить геометрической аналогией. Нельзя, например, сказать: «Размер окружности равен 20 см». Нужно уточнить, диаметр или радиус окружности тут имеется в виду.

³ Диаметр окружности в два раза больше ее радиуса (см. предыдущую сноску).

(эквивалентная) – 2 моль/л. Старый (устаревший, но не сдающий своих позиций⁴) способ раскрытия этого умолчания заключался в том, что применялись две группы единиц количества вещества, одинаковые по своей физико-химической сути, но разные (как правило) по значению – моли (вернее, грамм-моли, мг-моли, грамм-молекулы и др.) и эквиваленты (грамм-эквиваленты, мг-эквиваленты (мг-экв) и т.д.).

Международная система упразднила единицы измерения, оканчивающиеся на эквиваленты⁵ [1, 2], оставив нам только моли и другой способ указания структурной единицы, учитывающейся при определении концентрации. Теперь, как было уже отмечено выше, нельзя просто сказать, что «концентрация кальция равна тому-то» уточнив структурную единицу в единице (пardon, за тавтологию) концентрации – моль/л или г-экв/л (экв/л). Нужно дополнительно уточнить, о какой концентрации молярной (ионной) или эквивалентной (нормальной, «зарядной») идет речь⁶. Другими словами, требования СИ, допускающие только моли и исключаящие эквиваленты, переносят конкретизацию структурной единицы с единиц измерения, на название физической (вернее, химической, физико-химической) величины.

Но вернемся к градусам жесткости. На кафедре Технологии воды и топлива МЭИ(ТУ) создан расчетный сервер, часть интерфейса которого, касающаяся водной химии, показана на рис. 1.

⁴ В этом легко убедиться, заглянув в книги по водоподготовке и в Интернет, где никак не могут изгнать миллиграммы-эквиваленты в течение уже 30 лет со времен принятия СИ.

⁵ Заодно были упразднены *грамм-моли*, *мг-моли*, *грамм-молекулы*, грамм-ионы, миллиграмм-ионы и т.д.

⁶ Иногда уточняют, *массовая* или *молярная* (нормальная) концентрация имеется в виду. Но этого делать не нужно, если это уточняется в единице концентрации: г/л или моль/л. Иногда споры перемещаются и в знаменатель. Считается, что в знаменателе нельзя ставить *литры* (единицы *вместимости*), их нужно заменять на дм^3 (единица объема, единица длины в кубе). Ведь, концентрация – это отношение чего-то там к объему, а не к *вместимости*. Когда нашему эмоциональному преподавателю химии сказали, что жесткость воды нельзя измерять не только в *мг-экв/л*, но и в *ммоль/л*, а только в *ммоль/дм³* (*моль/м³*), то он не стал это комментировать, а просто лишился дара речи. В теплоэнергетике, где вода (плюс водяной пар) является основным рабочим телом, жесткость воды часто относят не к объему (*мг-экв/л*), а к массе раствора (*мг-экв/кг*): объем воды сильно меняется при нагреве (а тем более при парообразовании), а масса не меняется.

The screenshot shows a web browser window with the URL http://twit.mpei.ac.ru/ochkov/WPU_Book_New/mas/index.html. The page title is "Расчетный сервер МЭИ (ТУ)".

On the left side, there is a search bar with the text "Поиск по сайту:" and a "Поиск" button. Below it is a navigation menu with the following items:

- Оглавление
- Интерактивные справочники (Interactive Reference books)
- Онлайн расчеты
 - Общая теплоэнергетика
 - Общая электроэнергетика
 - Тепломассообмен
 - Водная химия
 - Водоподготовка
 - Энергосбережение, экология и охрана труда
 - Экономика
 - Паровые котлы и водные режимы
 - Аналитическая химия
 - АСУТП электростанций
 - Строительное дело
 - Разное
- Труды В.Ф.Очкова по информационным технологиям в энергетике

The main content area is titled "Водная химия" and contains a list of links:

- Кривая титрования буферного раствора (углекислота)
- Пересчет жесткости в различных единицах
- Пересчет концентраций
- Удельная электропроводность растворов
- Таблица значений коэффициента активности иона
- "-" вариант 2
- Параметры раствора серной кислоты: $C(p)$ $C(p, t)$
- Параметры раствора соляной кислоты
- Параметры раствора азотной кислоты
- Параметры раствора КОН
- Параметры раствора NaOH
- Параметры раствора аммиака $C(p)$ $C(p, t)$
- Параметры раствора ортофосфорной кислоты
- Параметры раствора Na_3PO_4
- Задачи их мультимедийного решебника по химии
- Плотность известкового молока
- Плотность и концентрация раствора NaCl
- Скорость оседания частиц
- Показатели преломления...
- Растворимость 372 соединений
- Расчет параметров адсорбции ПАВ по данным поверхностного
- Интерактивные задачи по химии - Maple [натяжения на границе](#)
- Уд. электропроводность чистой воды [раствор-воздух](#)
- Диэлектрическая постоянная чистой воды
- Концентрация и электропроводность NaCl
- Температура замерзания некоторых водных растворов
- Задачи по химии (1 курс МЭИ)
- Хим. кинетика [1](#) [2](#) [3](#)
- Задачи по химической кинетике
- Плотность и pH серной кислоты

Рис. 1. расчетный сервер МЭИ: раздел по водной химии.

Со страницы Интернета, показанной на рис. 1, по соответствующей гиперссылке «Пересчет жесткости в различных единицах» можно перейти на расчетную страницу, показанную на рис. 2. На ней посетитель сайта может указать исходное значение жесткости, единицу ее измерения (мг-экв/л, немецкие Ger° , английские Eng° , французские Fr° или американские US° градусы жесткости), единицу измерения жесткости, в которую нужно перевести введенное значение, нажать клавишу Recalculate и получить требуемый ответ. В частности, на рис. 2 рассчитано, что 3.4 немецкого градуса жесткости – это 4.257 английских градусов жесткости.

Пересчет значений жесткости воды

| Значение жесткости | Исходная единица | Требуемая единица |
|--------------------|---|---|
| 3.4 | <input type="radio"/> meq/L <input checked="" type="radio"/> Germ° <input type="radio"/> Eng° <input type="radio"/> Fr° <input type="radio"/> US° | <input type="radio"/> meq/L <input type="radio"/> Germ° <input checked="" type="radio"/> Eng° <input type="radio"/> Fr° <input type="radio"/> US° |

 Ответ = 4.257

Пояснения к расчету

Немецкий градус жесткости (Germ°) соответствует раствору с концентрацией CaO 10 мг/л

$$\text{Germ}^\circ = \frac{10 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{\left(\left| \begin{array}{c} \text{Ca} \\ 40.078 \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} \text{O} \\ 15.9994 \end{array} \right| \right) \frac{\text{gm}}{\text{mole}}} = 0.357 \text{ meq/L}$$

Английский градус жесткости (Eng°) соответствует раствору с концентрацией CaCO₃ 1 гран/галлон

$$\text{grain} = \frac{\text{lb}}{7000} = 64.799 \text{ mg} \quad \text{galUK} = 4.5461 \text{ L} \quad 1 \frac{\text{grain}}{\text{galUK}} = 14.254 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$\text{Eng}^\circ = \frac{1 \frac{\text{grain}}{\text{galUK}}}{\left(\left| \begin{array}{c} \text{Ca} \\ 40.078 \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} \text{C} \\ 12.011 \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} \text{O} \\ 15.9994 \end{array} \right| \times 3 \right) \frac{\text{gm}}{\text{mole}}} = 0.285 \text{ meq/L}$$

Французский градус жесткости (Fr°) соответствует раствору с концентрацией CaCO₃ 10 мг/л

$$\text{Fr}^\circ = \frac{10 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{\left(\left| \begin{array}{c} \text{Ca} \\ 40.078 \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} \text{C} \\ 12.011 \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} \text{O} \\ 15.9994 \end{array} \right| \times 3 \right) \frac{\text{gm}}{\text{mole}}} = 0.19983 \text{ meq/L}$$

Американский градус жесткости (US°) соответствует раствору с концентрацией CaCO₃ 1 мг/л

$$\text{Am}^\circ = \frac{1 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{\left(\left| \begin{array}{c} \text{"Ca"} \\ 40.078 \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} \text{"C"} \\ 12.011 \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} \text{"O"} \\ 15.9994 \end{array} \right| \times 3 \right) \frac{\text{gm}}{\text{mole}}} = 0.01998 \text{ meq/L}$$

Рис. 2. Пересчет значений жесткости

На расчетном сайте, показанном на рис. 2, не только ведется пересчет значений жесткости, но и показано, что это такие градусы жесткости «разной национальности». Наиболее сложен английский градус жесткости, который соответствует водному раствору, в один английский галлон (galUK), в который добавили один гран (grain – одна семитысячная фунта) карбоната кальция.

Теперь, если наш уважаемый читатель увидит в старой литературе по водной химии или в описании импортного анализатора жесткости значение, выраженной в

градусах – немецких, английских, французских или американских, то ему достаточно зайти на сайт, показанный на рис. 2, и не просто сделать нужные пересчеты, а дополнительно уточнить, что это такое градусы жесткости.

По такому же принципу построен расчетный сайт для пересчета значений концентраций в разных единицах – см. рис. 3.

Пересчет значений концентраций

Значение исходной концентрации: Input Value := 20

Исходная единица: Титр, г/мл Массовая доля, % Молярность, моль/л Моляльность, моль/кг

Требуемая единица: Титр, г/мл Массовая доля, % Молярность, моль/л Моляльность, моль/кг

Введите дополнительные данные, если необходимо

Плотность: $\rho := 1.15$ г/см³

Молярная масса: $M := 98$ г/моль

Recalculate

Ответ: Output Value = 2.3469

Пояснения Explanation

| | |
|---|---|
| $\text{gm/mL} \xrightarrow{\%} (x, \rho) = \frac{x}{\rho}$ | $\% \text{gm/mL} (x, \rho) = \rho \cdot x$ |
| $\text{gm/mL} \xrightarrow{\text{mole/L}} (x, M) = \frac{x}{M}$ | $\text{mole/L} \xrightarrow{\text{gm/mL}} (x, M) = M \cdot x$ |
| $\text{gm/mL} \xrightarrow{\text{mole/kg}} (x, M, \rho) = \frac{x}{M \cdot (\rho - x)}$ | $\text{mole/kg} \xrightarrow{\text{gm/mL}} (x, M, \rho) = \frac{x \cdot \rho \cdot M}{1 + x \cdot M}$ |

Рис. 3. Расчетный сайт по пересчету концентраций

Но на сайте, показанном на рис. 2, запрашивается и дополнительная информация – плотность раствора и молярная масса растворенного вещества. Ведь, чтобы, например, пересчитать титр в массовую долю (функция $\text{gm/mL} \xrightarrow{\%}$ ⁷) или сделать обратный пересчет (функция $\% \text{gm/mL}$) нужно дополнительно знать и плотность раствора. Если же тут задействована молярность или моляльность раствора, то тут нужно знать и молярную массу растворенного вещества.

Кстати, о плотности раствора. Известно, что есть прямая функциональная зависимость между концентрацией и плотностью раствора. В различных химических справочниках можно найти таблицы, связывающие эти два параметра для конкретных веществ, растворенных в воде. Плотность водного раствора измерить намного проще, чем его концентрацию – достаточно опустить в раствор ареометр, работающий по закону

⁷ Двойка (2) в имени этой и других таких функций (см. низ рис. 3) означает союз «к» – от титра (gm/L) к массовому проценту (%).

Архимеда – на ареометр, погруженный в водный раствор, действует сила, равная весу вытесненного раствора⁸. Если знать плотность раствора, то достаточно открыть страницу химического справочника с нужной таблицей соответствия плотности и концентрации и найти требуемую концентрацию. Но можно зайти на сайт, показанный на рис. 4, если речь идет о водном растворе серной кислоты, например, и сделать это автоматически.

⁸ Есть такой старый польский фильм «Гангстеры и филантропы», состоящий из трех новелл. В одной новелле фильма был показан человек, который потерял работу, зашел в ресторан, заказал себе бокал спиртного и стал его рассеянно помешивать ареометром, который оказался у него в кармане (он, по-видимому, потерял работу химика-аналитика). Официанты это увидели, решили, что это ревизор, проверяющий крепость подаваемого спиртного, и дали ему взятку. Наш химик-аналитик понял, что на этом можно заработать, и стал проделывать этот фокус в других ресторанах.



Рис. 4. Расчет концентрации по плотности

На сайте, показанном на рис. 4, посетитель вводит плотность водного раствора серной кислоты, нажимает клавишу Recalculate и получает значение концентрации в разных единицах измерения. Кроме того расчетная точка показывается на графике, интерполирующем данные из таблицы справочника.

Но как известно, серная кислота имеет температуру 20° С только в лаборатории и то не всегда. В химическом производстве серная кислота хранится и при других температурах. На сайте, показанном на рис. 5, авторы собрали и обработали данные по

серной кислоте для одной температуры – для 20°C. Это позволило вводить в расчет и температуру (рис. 5) и вести интерполяцию и по температуре.

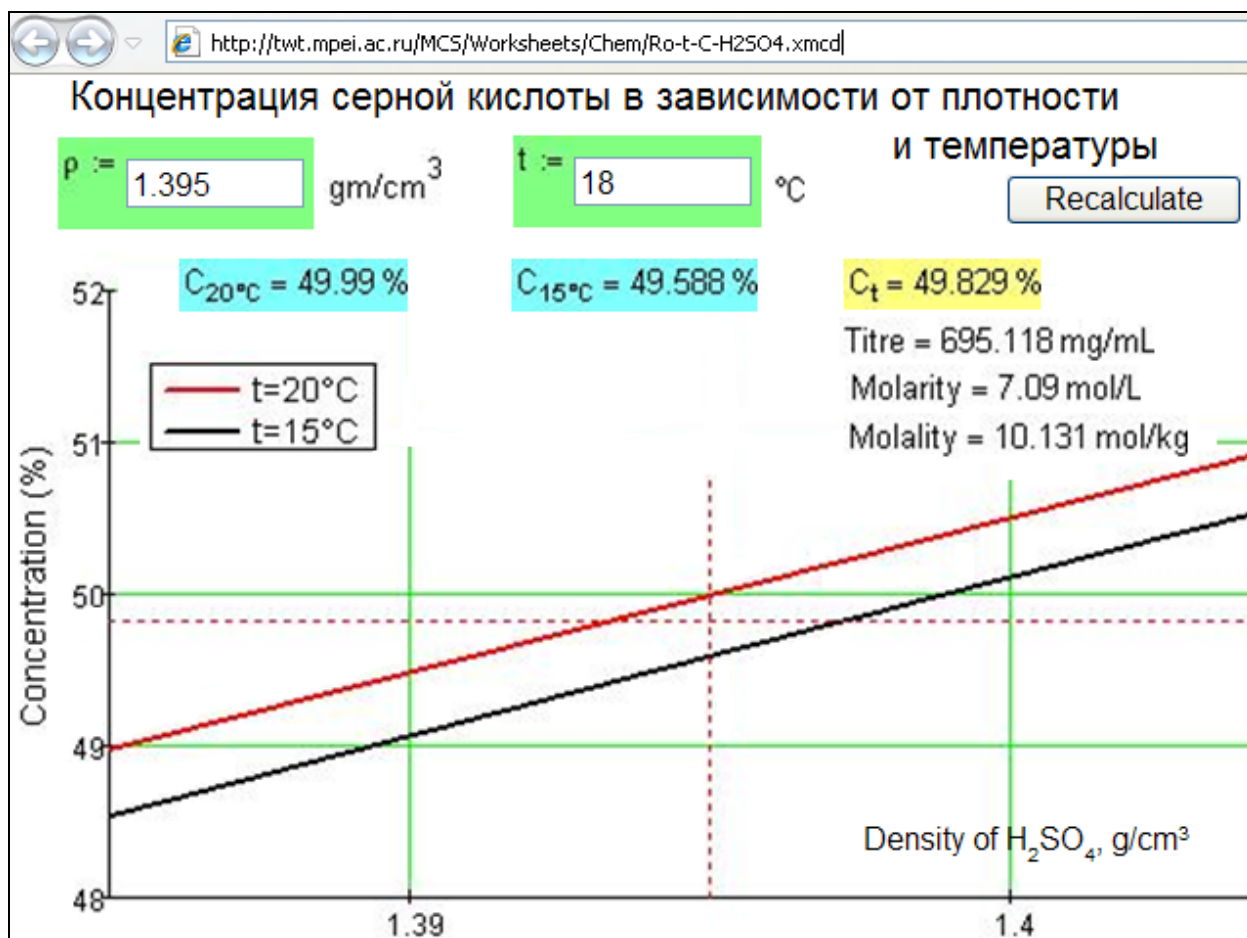


Рис. 5. Расчет концентрации по плотности и температуре

На расчетном сайте, показанном на рис. 1, можно найти ссылки по расчетам и по другим веществам (реагентами), используемым в практике водообработки.

Ремарка-послесловие

Водоподготовка для энергетики требует очень низких концентраций примесей в добавочной воде энергоблоков. По некоторым примесям такая концентрация не должна, например, превышать 0.5 мкг/кг. Так вот тут некоторые «инициативные» химики-аналитики предлагают писать не 0.5 мкг/кг, а 500 наногрaмм на кг. Технология подготовки такой воды сразу перейдет в разряд нанотехнологий!

Литература:

1. Физические величины: Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1991 г.

2. Степин Б.Д. Применение Международной системы единиц физических величин в химии: Практическое пособие. – М.: Высшая школа, 1990 г.
3. Очков В.Ф. «Физические и экономические величины в Mathcad и Maple». М.: «Финансы и статистика», 2002 г. (см. http://www.exponenta.ru/educat/news/ochkov/book_ochkov4.asp)

Интернет-отклики по ключевым словам статьи:

(То, что авторы выудили из Интернета (www.yandex.ru – «Яндекс знает все!») по ключевым словам статьи)

Жесткость воды (БСЭ), совокупность свойств, обусловленных содержанием в воде ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} . Суммарная концентрация ионов Ca^{2+} (кальциевая Ж. в.) и Mg^{2+} (магниева Ж. в.) называется общей Ж. в. Различают Ж. в. карбонатную и некарбонатную. Карбонатная Ж. в. соответствует той части ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} , которая эквивалентна содержащимся в воде гидрокарбонат-ионам.

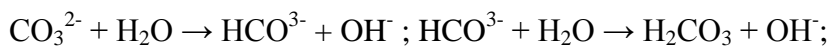
В СССР величину жесткости природных вод выражают в миллиграмм-эквивалентах на 1 л (мг-экв/л), а жесткость вод умягченных, обессоленных и т.п. – в микрограмм-эквивалентах на 1 кг (мкг-экв/кг). До 1952 в СССР Ж. в. выражали в градусах жесткости (1° соответствует 0,357 мкг-экв/л – эквивалентно немецким градусам жесткости – см рис. 2). Жесткость природных вод колеблется в очень широких пределах – от 0,1-0,2 мг-экв/л в водах рек и озер, расположенных в зонах тайги и тундры, до 80-100 мг-экв/л в некоторых подземных водах и водах морей и океанов. Повышенная Ж. в. природных источников обусловлена преимущественно контактом воды с горными породами, содержащими карбонаты и сульфаты Са и Mg. Использование жесткой воды недопустимо в теплоэнергетике, производстве искусственного волокна и ряде др. отраслей. Ж. в. ведет к усиленному образованию накипи в котлах и отопительных приборах, что ухудшает теплообмен. Ж. в. увеличивает расход мыла при стирке, т. к. часть его образует с ионами Ca^{2+} нерастворимый осадок. В жесткой воде плохо развариваются овощи и мясо, т. к. ионы Ca^{2+} образуют с белками пищевых продуктов нерастворимые соединения; ухудшается вкус чая. Высокая Ж. в. способствует образованию мочевых камней у человека. Допустимый предел Ж. в., используемой для централизованного водоснабжения, – 7 мг-экв/л; в исключительных случаях по согласованию с органами санитарного надзора может быть допущена большая Ж. в. – до 14 мг-экв/л. При

необходимости использования водоисточника с высокой Ж. в. применяют специальные методы умягчения воды.

Жесткость воды – water hardness (Интернет-гидрогеологический словарь – <http://www.geology.pu.ru/Books/slovar/SLOW99.html>), hardness of water. Свойство воды образовывать нерастворимые осадки при кипячении, обусловленное содержанием в ней растворенных солей кальция и магния и затрудняющее ее использование в технических и бытовых целях. Различают Ж. в. общую, связанную с присутствием всех солей Са и Mg, временную (устраняемую, карбонатную), вызванную наличием в воде гидрокарбонатов и карбонатов Са и Mg, и постоянную (неустраняемую, остаточную), равную разности между общей и временной Ж. в. и обусловленную наличием хлоридов, сульфатов, нитратов и др. солей (некарбонатов) Са и Mg. Временная Ж. в. может быть устранена кипячением. Ж. в. выражается в ммоль/л Са и Mg. 1 ммоль/л соответствует содержанию Ca^{2+} в воде 20,04 мг/л или Mg^{2+} 12,16 мг/л. В ряде стран Ж. в. измеряется в градусах жесткости воды, отражающих содержание солей Са и Mg. По величине общей Ж. в. различают воды очень мягкие (до 1,5 ммоль/л), мягкие (1,5-3,0 ммоль/л), умеренножесткие (3,0-6,0 ммоль/л), жесткие (6,0-8,0 ммоль/л) и очень жесткие (свыше 9 ммоль/л). Для питьевых целей употребляется вода с жесткостью до 7 ммоль/л, для многих технич. целей требуется более мягкая вода.

Кстати, в 2005 году опять была сделана попытка возврата градусов жесткости – уже российских: см. статью Резник Я.Е. «ЕЩЕ РАЗ – К ВОПРОСУ О ЕДИНИЦАХ ИЗМЕРЕНИЯ ЖЕСТКОСТИ ВОДЫ» в журнале «Энергосбережение и водоподготовка» № 3 за 2005 (<http://www.energija.ru>).

Щелочность воды – water alkalinity. Свойство воды, обусловленное наличием в ней анионов слабых кислот, гл. обр. угольной. Анионы, гидролизуясь, образуют гидроксильные ионы:



Концентрация анионов слабых кислот (HCO_3^- , CO_3^{2-} , H_2BO_3^- и HPO_4^-) выражается молярной концентрацией вещества – эквивалента кислоты (ммоль/л). Щ. в. является важной характеристикой, по которой можно судить о гидрохимич. и геохимич. процессах: формировании химич. состава воды, образовании осадочных пород, в частности карбонатных, и т.д.

Грамм-молекула, моль, число граммов простого или сложного химического вещества, равное его молекулярной массе. Так, если молярные массы азота N_2 и серной кислоты H_2SO_4 соответственно 28,0134 и 98,078, то их Г.-м. равны 28,0134 г и 98,078 г. При расчетах значения Г.-м. часто округляют до грамма. Число молекул в одной Г.-м. любого

вещества одинаково и равно Авогадро числу, т. е. $6,02252 \cdot 10^{23}$. Г.-м. любых веществ, находящихся в состоянии идеального газа, при нормальных условиях [0°C и давлении 101325 н/м^2 (760 мм. рт. ст.)] занимают приблизительно один и тот же объем, равный 22,4 л. Исходя из этого соотношения, легко рассчитать объем, занимаемый при этих условиях любым количеством газа с известной молекулярной формулой. Так, 66 г CO_2 (молярная масса 44) составляют 1,5 Г.-м. и, следовательно, при нормальных условиях занимают объем 22,4 л. $1,5 = 33,6$ л. Условно можно говорить и о Г.-м. смеси; так, Г.-м. воздуха принимается равной 29 г.

Понятием Г.-м. (а также килограмм-молекула, тонна-молекула) широко пользуются при различных расчетах в химии, физике, технике.

Грамм-эквивалент, число граммов химического элемента или соединения, равное массе его эквивалента химического. Г.-э. химического элемента численно равен частному от деления атомной массы элемента на его валентность: например, Г.-э. железа (атомная масса 55,847) 2-валентного равен 27,92 г, а 3-валентного 18,62 г. Г.-э. кислоты – количество ее в граммах, содержащее один Г.-э. водорода, способного замещаться металлом с образованием соли. Г.-э. основания – количество его в граммах, необходимое для полного взаимодействия с одним Г.-э. кислоты. Г.-э. соли – количество ее в граммах, содержащее один Г.-э. металла. Понятие Г.-э. широко применяется в объемном анализе.

Эквивалент химический элемента, его масса (выраженная в углеродных единицах), которая присоединяет или замещает одну атомную массу водорода или половину атомной массы кислорода.

Э. х. кислоты равен ее молярной массе, деленной на основность (число ионов водорода) кислоты.

Э. х. основания равен его молярной массе, деленной на кислотность (число гидроксильных групп) основания.

Э. х. соли равен ее молярной массе, деленной на сумму зарядов образующих ее катионов или анионов.

В реакциях окисления-восстановления Э. х. окислителя равен частному от деления его молярной массы на число электронов, полученное атомом (или атомами) восстановленного элемента. В зависимости от числа принятых окислителем электронов Э. х. может быть различным. Понятие Э. х. широко применяется в стехиометрических расчетах химических реакций.

Концентрация в химии, величина, выражающая относительное количество данного компонента (независимой составной части) в физико-химической системе (смеси, растворе, сплаве). Чаще всего применяют следующие способы выражения К. Долевая К.

по массе (весовая долевая K) – отношение массы данного компонента к массе всей системы; это отношение, умноженное на 100, дает процентную K по массе (весовые проценты). Атомная (мольная) долевая K отношение числа грамм-атомов (молей) данного компонента к общему числу грамм-атомов (молей) системы; это отношение, умноженное на 100, дает K в атомных (мольных) процентах. Объемная долевая K – отношение объема данного компонента к общему объему системы; умноженная на 100, она дает K в объемных процентах. K жидких систем часто выражают массой вещества, растворенного в 100 г (иногда в 1 л) растворителя, или же числом молей вещества в 1000 молей растворителя. В учении о растворах постоянно пользуются понятиями молярность (число молей растворенного вещества, содержащееся в 1 л раствора) и моляльность (число молей вещества, растворенного в 1000 г растворителя). В объемном анализе K выражают нормальностью (числом грамм-эквивалентов действующей составной части в 1 л раствора) и титром (числом граммов действующего или определяемого вещества, отвечающим 1 мл раствора).

На практике для определения K служат как обычные приемы количественного анализа, так и некоторые инструментальные методы, позволяющие быстро и достаточно точно установить содержание главной составной части (например, определение K водных растворов кислот, щелочей, солей, этилового спирта по измерению плотности ареометром).

Титр (от франц. titre – качество, характеристика), в аналитической химии концентрация раствора, выраженная количеством (в граммах) растворенного вещества в 1 мл раствора или количеством какого-либо вещества, реагирующего с 1 мл данного раствора.

Соответственно различают T по растворенному веществу (например, T раствора соляной кислоты – HCl) или T по определяемому веществу (например, T раствора соляной кислоты по едкому натру – HCl/NaOH). T рассчитывается по формуле: $T = P/V$, где T – титр раствора в г/мл, P – масса навески в г, V – объем мерной колбы в мл. Растворы с известным T – стандартные растворы – используются в титриметрическом анализе.

Молярность раствора, концентрация раствора, выраженная числом молей (грамм-молекул) растворенного вещества, содержащегося в 1 л раствора.

Нормальность в химии, концентрация раствора, выраженная числом грамм-эквивалентов растворенного вещества, содержащегося в 1 л раствора. Способ выражения концентрации растворов через N широко используется в аналитической химии.

Моляльность раствора, концентрация раствора, выраженная числом молей (грамм-молекул) растворенного вещества, содержащегося в 1000 г растворителя

Стандартный раствор, титрованный раствор, раствор с точно известной концентрацией реактива химического. С. р. применяется в методах титриметрического анализа для установления количества определяемого вещества посредством титрования до точки эквивалентности, обычно фиксируемой по изменению окраски индикатора химического или титруемого раствора. Для расчетов результатов устанавливают количество (объем, иногда масса) С. р., затраченного на взаимодействие с определяемым веществом. Точность определений зависит от правильности установления концентрации С. р. Обычно ее выражают нормальностью. Для практических целей пользуются также титром. С. р. получают: а) растворением точной навески вещества в точном объеме растворителя; при этом исходное вещество должно быть химически чистым, устойчивым при хранении в твердом виде и в растворе, состав должен точно соответствовать формуле химической; б) титрованием по другому раствору, имеющему точно известную концентрацию; удобство метода в том, что он позволяет, не прибегая к точным навескам, устанавливать концентрацию многих растворов; в) с помощью фиксаля, представляющего собой сухое вещество или раствор в количестве, необходимом для приготовления 1 л раствора определенной концентрации (фиксали выпускаются промышленностью в форме запаянных стеклянных ампул). С. р. должны храниться в условиях, обеспечивающих постоянство их состава с учетом химической природы растворенного вещества.

Три дивертисмента

Химико-лингвистический дивертисмент

На границе 1 г/л лежит некий водораздел. И в прямом (вода), и в переносном смысле. Вода по солесодержанию (с/с) делится на пресную (с/с < 1 г/л) и соленую (солонватую – с/с > 1 г/л). Водораздел тут проходит не только по воде (еще раз прошу простить за тавтологию), но и по языкам человеческого общения. В русском слове «пресная» вместе с недостатком соли чувствуется и некая отрицательность: «Названия эти хозяин давал только потому, что без прозвищ все как-то выходило пресно, а он пресного не любил; сам был добр душой, но словцо любил пряное» – так Н.В.Гоголь характеризует одного своего героя «Мертвых душ». Пресная вода – это что-то не очень вкусное – то, что хранят в бочонках на кораблях. Колодезная или родниковая вода – это другое дело! Но в болгарском языке, языке очень близкому к русскому, «пресная вода» – это «сладкая вода»: по-болгарски «пресноводная рыба» – «сладководная рыба». Такое же «хорошее» отношение к пресной воде можно встретить и во Франции. Там «пресная вода» – это тоже «сладкая вода» (l'eau douce). В английском же языке «пресная вода» – это «свежая вода»

(fresh water), т.е. опять же «хорошая вода» (см. статью «Вода в научном, культурологическом и религиозном аспектах» // Водочистка, Водоподготовка, Водоснабжение, №7 (19), 2009 г. С. 64-70).

Дело в том, что в России издревле чувствовалась нехватка соли вообще и в воде в частности, а сама соль очень высоко ценилась. Вспомним тургеневскую Лукерью, которая, несмотря на страшное горе (смерть сына), доедала щи потому, что «они были посоленены». Можно также вспомнить выражение «соль земли», поговорку «съесть пуд соли», примету о просыпанной соли и т.д. В Болгарии, Франции и Англии (а это все приморские, «соленые» страны) ощущался избыток соли, в то время как в России – ее недостаток. Отсюда и данный «лингвистический» водораздел.

Человек по воде судеб или добровольно перенесенный в чужие страны часто страдает не только от ностальгии или климата (ностальгия проходит, климат корректируется одеждой и кондиционерами), но и от чужой, «другой» воды. Хороший чай, к примеру, можно заварить только в Москве (Московское чаепитие!). Ни в Петербурге (Невская вода очень мягкая), ни на Украине или на Юге России (жесткая вода) этого сделать нельзя.

Химико-финансовый дивертисмент

Рассказывают такую историю. В одном договоре, стороны не стали проставлять стоимость выполненных работ ни в рублях (боязнь инфляции) и ни в долларах США (порыв патриотизма), а в... массе золота: «За выполненные в Договоре работы Заказчик передает Исполнителю 500 (Пятьсот) мкг золота...». При расчете Заказчик принес Исполнителю полграмма золота (в денежном эквиваленте), но Исполнитель не стал их брать, а открыл Договор и сказал, что мкг это не микро (10^{-6}), перемноженные на граммы, а мили (10^{-3}) перемноженные на килограммы. Ведь в СИ основной единицей массы является не грамм, а килограмм: стоимость договора полкило, а не полграмма золота.

В англоязычных странах единицу измерения мкг/кг пишут по-другому – ppb (part per billion – миллиардная доля). Но здесь тоже таится умолчание: какая это доля – массовая, молярная или объемная!?

Метрологический дивертисмент (камешек в огород СИ)

Когда вводили метрическую систему мер, то преследовали не только чисто практические цели (удобство пересчета), но и изгоняли из естествознания мистику и суеверия: неметрические (старинные) системы мер и весов базировались на так называемых *сакральных числах*: 3, 7, 12, 16, 21, 40, 7000 и т.д. – в ярде 3 фута, в сажени 7 футов, в аршине 16 вершков, в гинее 21 шиллинг, в пуде 40 фунтов, в фунте 7000 гран и т.д. и т.п. Почему в СИ семь основных физических величин (масса – килограмм, длина – метр, время – секунда, сила тока – ампер, температура – кельвин, сила света – кандела и

количество вещества – моль), а не шесть или восемь? Такое чувство, что создатели СИ не устояли перед магией сакральных (прекрасных) чисел: в СИ семь основных размерностей потому, что... в радуге семь цветов, в октаве семь нот, в неделе семь дней, в истории семь мудрецов и т.д. и т.п.

Основные размерности СИ можно условно разделить на три группы: (1) масса, длина и время; (2) сила тока и температура и (3) сила света и количество вещества. Первая группа (масса, длина и время) является основой не только для СИ, но и для самой стройной системы измерений СГС (сантиметр – грамм – секунда), которую разработал еще великий Гаусс, и которую до сих пор физики (и теоретики и экспериментаторы) ни на что не променяют. Вторая группа – это плод развития физики после Гаусса, развития, в частности, электро- и термодинамики. Третья же группа – это то, что докладывают в набор, делая его «подарочным». Почему в СИ есть сила света, но нет силы звука, например, или силы запаха. Ведь, свет – это более субъективная субстанция, чем звук. Свет – это узкая полоса широчайшего диапазона электромагнитных колебаний (частиц), видимая глазом. Но акустиков в СИ не пустили – им пришлось довольствоваться (деци)белами (недоединица измерений – логарифм отношения двух величин)!? Наверное, потому в СИ присутствуют светотехники, но нет там акустиков; что через зрение мы получаем до 90% информации, остальное приходится на слух, обоняние и пр.

А что такое по своей сути моли?! Это ни что иное, как штуки, к которым приписан множитель – число Авогадро. Обычно такой множитель кратен десяти: дека, гекто, кило, мега, гига, всеми нами любимые нано и т.д. В случае со штуками эти множители оказались, в основном, неметрическими: пара, две пары, десяток, полдюжины, дюжина, чертова дюжина и т.д. до... числа Авогадро – до моля. Так что, в принципе, подводя итог наших споров о молях и эквивалентах, жесткость воды можно записать большим числом с припиской размерности шт/литр. Под штуками здесь будут пониматься заряды ионов кальция и магния.

pH

Своеобразной попыткой избавления от единиц концентрации является использование в химической практике безразмерной величины pH (pNa, pCa и т.д.). Приставка p означает, что берется десятичный логарифм от концентрации указанной компоненты (H^+ , Na^+ , Ca^{2+} и т.д.), а у полученного значения меняется знак:

$$pH = - \lg (H^+).$$

Но концентрация – это размерная величина, от которой нельзя брать логарифм. Здесь уточняют, что берется логарифм не от концентрации, а от безразмерной активности

соответствующей компоненты, которая в разбавленных растворах близка к значению молярной концентрации, выраженной в молях на литр раствора.

Использование значения рН – это частный случай процесса избавления метрологии от конкретных единиц измерения за счет построения разного рода логарифмических шкал. В акустике, например, силу звука оценивают в децибелах. Бел – это десятичный логарифм отношения двух величин одной физической размерности, а децибел (дб) – это, соответственно, одна десятая бела. В этой дроби (отношение) в числителе стоит оцениваемая (измеряемая) величина, а в знаменателе – некая база, реперная точка, от которой ведут отсчет. Использование логарифмической шкалы позволяет не только избавиться от единиц измерения, суть которых теряется во тьме веков, но и сузить диапазоны разброса величин, избавившись от различных приставок – мили, кило, мега и т.д. Так если за базу мощности, например, принять среднюю мощность человеческого сердца (~ 0,373 ватт), то мощность крупнейшей в мире Сургутской ГРЭС-2 составляет что-то около 100 дб (4800 МВт). Другими словами, мощность основных энергетических объектов укладывается в диапазоне от 0 до 100 дб. Возвращаясь к значению рН, можно отметить, что широкий разброс значений концентраций ионов водорода при «логарифмизации» сжимается до значений в диапазоне 0 – 14: рН < 7 – кислая реакция, рН > 14 – щелочная реакция. Возвращаясь к градусам жесткости, можно сказать, что это также было своеобразной попыткой избавления от единиц при измерении этой величины: за базу (реперную точку) принимался стандартный раствор СаО или СаСО₃.