

# Л и т е р а т у р а

[1] Д. П. Добычин, Ю. И. Рутковский, М. Л. Давтян ■ Т. М. Буркат, ЖНХ, XLVIII, 6, 1286 (1975). — [2] В. В. Кафаров. Основы массопередачи. Изд. «Высшая школа», М., 217 (1972). — [3] М. Л. Давтян, Д. П. Добычин, Ю. И. Рутковский. XXVI Герценовские чтения ЛГПИ им. А. И. Герцена. Изд. «Химия», Л., ч. I, 88 (1973). — [4] Справочник химика. М.—Л., т. 3, 316 (1964). — [5] П. В. Д а н к в е р т с. Газожидкостные реакции. Изд. «Химия», М., 32 (1973).

Поступило в Редакцию  
22 декабря 1976 г.

№ 5, 1978 г.

УДК 546.561/562'131 : 532.13/14 : 537.311

## ПЛОТНОСТЬ, ВЯЗКОСТЬ И ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ СОЛЯНОКИСЛЫХ РАСТВОРОВ ХЛОРИСТОЙ И ХЛОРНОЙ МЕДИ

Л. Е. Воропаев, Г. И. Повиков, В. Н. Аникеев, И. М. Жарский, П. К. Рудыко

Белорусский технологический институт имени С. М. Кирова

Солянокислые растворы хлористой и хлорной меди используются для очистки газов от хлора и хлористого водорода [1], в производстве хлорномедномагнетевых батарей [2].

В настоящей работе приведены результаты определения плотности, вязкости и электропроводности растворов в системе  $\text{CuCl}_2\text{—CuCl—HCl—H}_2\text{O}$  в широкой области изменений составов при температурах 25 и 40°.

### ТАБЛИЦА 1

Экспериментальные данные плотности,  
вязкости и электропроводности в системе  
 $\text{CuCl}_2\text{—CuCl—HCl—H}_2\text{O}$  при 25 и 40°

| Состав раствора (моль/л) |               |              | $d$ (г/см <sup>3</sup> ) |        | $\nu$ (с Ст) |        | $\kappa$ (Ω <sup>-1</sup> · см <sup>-1</sup> ) |        |
|--------------------------|---------------|--------------|--------------------------|--------|--------------|--------|------------------------------------------------|--------|
| $\text{CuCl}_2$          | $\text{CuCl}$ | $\text{HCl}$ | 25°                      | 40°    | 25°          | 40°    | 25°                                            | 40°    |
| 2.362                    | 0.728         | 2.301        | 1.5472                   | 1.3320 | 1.7304       | 1.3119 | 0.2725                                         | 0.3265 |
| 1.750                    | 0.708         | 2.405        | 1.2898                   | 1.7959 | 1.5671       | 1.2526 | 0.3200                                         | 0.3761 |
| 1.440                    | 0.716         | 2.417        | 1.2593                   | 1.2475 | 1.4640       | 1.2062 | 0.2910                                         | 0.3421 |
| 2.713                    | 0.967         | 2.286        | 1.4012                   | 1.3846 | 1.9485       | 1.4712 | 0.2455                                         | 0.3005 |
| 2.211                    | 0.000         | 2.313        | 1.2794                   | 1.2759 | 1.6599       | 1.3093 | 0.2796                                         | 0.3317 |
| 1.727                    | 0.107         | 2.374        | 1.2363                   | 1.2231 | 1.5301       | 1.2372 | 0.3298                                         | 0.3874 |
| 0.581                    | 0.206         | 4.518        | 1.1458                   | 1.1386 | 1.4588       | 1.1341 | 0.5064                                         | 0.5642 |
| 1.003                    | 0.299         | 4.340        | 1.1977                   | 1.1891 | 1.4434       | 1.2011 | 0.4627                                         | 0.5315 |
| 1.379                    | 0.264         | 4.247        | 1.2349                   | 1.2278 | 1.5258       | 1.2578 | 0.4288                                         | 0.4986 |
| 1.679                    | 0.232         | 4.316        | 1.2582                   | 1.2477 | 1.5877       | 1.2784 | 0.4325                                         | 0.4836 |
| 1.141                    | 0.529         | 4.246        | 1.2378                   | 1.2192 | 1.4640       | 1.1959 | 0.4316                                         | 0.4977 |
| 1.297                    | 0.583         | 4.440        | 1.2514                   | 1.2431 | 1.5258       | 1.2268 | 0.4288                                         | 0.4947 |
| 1.540                    | 0.544         | 4.397        | 1.2717                   | 1.2736 | 1.5774       | 1.2784 | 0.3921                                         | 0.4561 |
| 0.583                    | 0.828         | 4.447        | 1.1931                   | 1.1854 | 1.4949       | 1.1444 | 0.4405                                         | 0.5145 |
| 1.096                    | 0.778         | 4.105        | 1.2446                   | 1.2341 | 1.5155       | 1.2165 | 0.4660                                         | 0.5104 |
| 1.300                    | 0.828         | 4.229        | 1.2749                   | 1.2645 | 1.5465       | 1.2475 | 0.4435                                         | 0.4627 |
| 0.366                    | 0.778         | 4.540        | 1.1598                   | 1.1521 | 1.3196       | 1.1031 | 0.6050                                         | 0.6960 |
| 0.818                    | 1.141         | 4.399        | 1.2445                   | 1.2370 | 1.4330       | 1.1753 | 0.4564                                         | 0.5315 |
| 1.077                    | 1.079         | 4.213        | 1.2634                   | 1.2539 | 1.4897       | 1.2268 | 0.4375                                         | 0.5064 |
| 1.367                    | 1.099         | 4.189        | 1.2932                   | 1.2805 | 1.5052       | 1.2268 | 0.4176                                         | 0.4836 |
| 2.376                    | 1.227         | 3.900        | 1.3948                   | 1.3847 | 1.9073       | 1.4846 | 0.3360                                         | 0.3970 |
| 0.346                    | 0.423         | 7.800        | 1.1972                   | 1.1975 | 1.5258       | 1.2784 | 0.6700                                         | 0.7120 |
| 0.580                    | 0.418         | 7.216        | 1.2175                   | 1.2111 | 1.5671       | 1.2990 | 0.6334                                         | 0.6803 |
| 1.299                    | 0.374         | 7.413        | 1.2507                   | 1.2490 | 1.5980       | 1.3299 | 0.6230                                         | 0.6740 |
| 0.359                    | 0.839         | 7.222        | 1.2254                   | 1.2157 | 1.5258       | 1.2784 | 0.6357                                         | 0.6573 |
| 0.666                    | 0.786         | 7.554        | 1.2495                   | 1.2514 | 1.5671       | 1.3093 | 0.6558                                         | 0.6699 |
| 1.084                    | 1.455         | 7.208        | 1.3508                   | 1.3406 | 1.7114       | 1.4021 | 0.6193                                         | 0.6432 |
| 0.698                    | 1.439         | 7.491        | 1.3151                   | 1.3032 | 1.6083       | 1.3196 | 0.6463                                         | 0.6730 |
| 0.973                    | 1.641         | 7.354        | 1.3565                   | 1.3428 | 1.7114       | 1.3609 | 0.63106                                        | 0.6448 |

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Плотность растворов определялась методом гидростатического взвешивания [3]. Ошибка в измерении составляла 0.2—0.5%. Электропроводность измерялась по схеме Кольрауша [4]. В качестве нульинструмента использовался осциллографический индикатор нуля (ИНО-3М). Источником тока служил генератор ЗГ-10. Рабочая частота тока составляла 1000 Гц. Постоянная ячейки находилась по сопротивлению 0.1 и 0.01 н. Растворов дважды перекристаллизованного KCl х. ч. Относительная ошибка измерений составляла не более 0.2—0.3%. Вязкость определялась в вискозиметре Оствольда с диаметром капилляра 0.73 мм. Относительная погрешность в измерении 0.4—0.5%.

В работе использовались соляная кислота ос. ч. и хлористая медь х. ч., предварительно очищенная от следов хлорной меди. Хлорную медь получали из двуводного кристаллогидрата хлорной меди путем дегидратации в токе хлористого водорода при 140° [5].

Концентрация хлорной и хлористой меди в исследуемых растворах изменялась в следующих интервалах: 0—3.0 моль/л для  $\text{CuCl}_2$  и 0—2.15 моль/л для  $\text{CuCl}$ . Содержание соляной кислоты находилось в пределах от 2 до 5 моль/л. Экспериментальные значения плотности, вязкости и электропроводности для растворов различного состава представлены в табл. 1. Полученные данные обработаны на ЭВМ «Минск-22» с целью получения уравнений, выражающих зависимость плотности, вязкости и электропроводности от состава раствора. Искомые зависимости аппроксимировались полиномом третьего порядка следующего вида:

$$(d, \nu, \kappa) = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_1^2 + a_5x_2^2 + a_6x_3^2 + a_7x_1^3 + a_8x_2^3 + a_9x_3^3 + a_{10}x_1x_2 + a_{11}x_1x_3 + a_{12}x_2x_3, \quad (1)$$

где  $d$  — плотность раствора ( $\text{г/см}^3$ );  $\nu$  — кинематическая вязкость (сСт);  $\kappa$  — электропроводность раствора ( $\Omega^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ );  $x_1, x_2, x_3$  — соответственно концентрации хлорной, хлористой меди и соляной кислоты (моль/л);  $a_0, a_1, \dots, a_{12}$  — коэффициенты регрессии.

Значения коэффициентов регрессии представлены в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2  
Коэффициенты регрессии уравнения (1)

| Коэффициент регрессии | $d$ ( $\text{г/см}^3$ ) |         | $\nu$ (сСт) |         | $\kappa$ ( $\Omega^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ ) |         |
|-----------------------|-------------------------|---------|-------------|---------|-------------------------------------------------|---------|
|                       | 25°                     | 40°     | 25°         | 40°     | 25°                                             | 40°     |
| $a_0$                 | 0.9540                  | 0.9310  | 1.1897      | 0.7630  | 0.2280                                          | 0.4160  |
| $a_1$                 | 0.2360                  | 1.1820  | —           | 0.2300  | —                                               | —0.0933 |
| $a_2$                 | —                       | 0.0693  | —           | —       | —                                               | —0.0732 |
| $a_3$                 | —                       | 0.0283  | 0.3690      | 0.0673  | 0.0577                                          | 0.0404  |
| $a_4$                 | —0.0295                 | —0.0157 | 0.7860      | —       | —0.0162                                         | —       |
| $a_5$                 | 0.0365                  | —       | —           | —       | —                                               | +0.0488 |
| $a_6$                 | 0.0099                  | —       | —           | —       | —                                               | —       |
| $a_7$                 | —                       | —       | —           | —       | —                                               | —       |
| $a_8$                 | —                       | —       | —           | —       | —                                               | —       |
| $a_9$                 | —0.0008                 | —       | —           | —       | —                                               | —       |
| $a_{10}$              | 0.0263                  | 0.0085  | —           | 0.0226  | —                                               | —       |
| $a_{11}$              | —                       | —0.0128 | —           | —0.0245 | —                                               | 0.0093  |
| $a_{12}$              | —                       | —       | 0.1040      | —       | —                                               | —       |

Значимость коэффициентов уравнения регрессии определялась путем сравнения расчетного значения критерия Стьюдента с табличной величиной при 5% уровне значимости.

ТАБЛИЦА 3  
Результаты статической обработки

| Критерий Фишера        | $d$ ( $\text{г/см}^3$ ) |          | $\nu$ (сСт) |        | $\kappa$ ( $\Omega^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ ) |        |
|------------------------|-------------------------|----------|-------------|--------|-------------------------------------------------|--------|
|                        | 25°                     | 40°      | 25°         | 40°    | 25°                                             | 40°    |
| $S_{\text{ост}}^2$     | 0.000402                | 0.000290 | 0.0033      | 0.0014 | 0.0021                                          | 0.0059 |
| $S_{d, \nu, \kappa}^2$ | 0.000121                | 0.000121 | 0.0010      | 0.0010 | 0.0097                                          | 0.0097 |
| $F_{\text{расч}}$      | 3.22                    | 2.40     | 3.14        | 1.33   | 2.16                                            | 0.61   |

Для проверки адекватности полученных уравнений рассчитаны значения критерия Фишера, величины которого и соответствующие дисперсии приведены в табл. 3. Сравнение расчетных значений критерия Фишера и соответствующих табличных значений при 5% уровне значимости показывает, что найденные уравнения адекватно описывают экспериментальные данные.

### В ы в о д ы

Измерение плотности, вязкости и электропроводности для солянокислых растворов хлорной и хлористой меди позволило получить уравнения, адекватно описывающие их зависимость от состава раствора.

### Л и т е р а т у р а

- [1] Н. Е. Позня. Технология минеральных солей. Изд. «Химия», Л. (1970). — [2] А. Е. Мельников, В. П. Силивестров, Т. И. Куниц, Изв. вузов. Хим. и хим. технол., 13, 1046 (1970). — [3] Л. Н. Атитипин, С. Ф. Важенни. Электрохимия расплавленных солей. Госнаучтехиздат, М. (1964). — [4] П. И. Претенко, Т. А. Андреева, ЖПХ, 9, 1441 (1964). — [5] Ю. В. Карякин, И. И. Ангелов. Чистые химические вещества. Изд. «Химия», М. (1970).

Поступило в Редакцию  
7 июля 1977 г.

М 5, 1978 г.

УДК 541.183 : 543.31

## СОРБЦИОННОЕ КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ КАТИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ

Э. П. Суранова, О. Я. Грабчук

Одесский государственный университет имени И. И. Мечникова

С целью концентрирования и определения микроэлементов в природных водах нами применялся окисленный уголь (ОУ), полученный из активированного угля марок БАУ, СКТ и АГ-3, обработанного азотной кислотой при нагревании [1, 2].

Предварительно определялись некоторые физико-химические свойства окисленных углей: обменная емкость по катионам тяжелых металлов, коэффициенты распределения, константы обмена. Изучался механизм сорбции катионов окисленными углями. Некоторые результаты этих исследований приведены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1

Обменная емкость ОУ (СКТ, БАУ, АГ-3) в Na-форме

| Сор-<br>бент | Обменная емкость ОУ (мг-экв./г) по катиону |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|--------------|--------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|              | Fe <sup>3+</sup>                           | Mn <sup>2+</sup> | Zn <sup>2+</sup> | Co <sup>2+</sup> | Ni <sup>2+</sup> | Hg <sup>2+</sup> | Pb <sup>2+</sup> | Cd <sup>2+</sup> | Cr <sup>3+</sup> | Al <sup>3+</sup> | Cu <sup>2+</sup> | Ti <sup>4+</sup> | In <sup>3+</sup> | Ga <sup>3+</sup> |
| СКТ          | 1.55                                       | 1.77             | 1.86             | 2.64             | 2.21             | 2.09             | 1.67             | 2.14             |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| БАУ          |                                            |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  | 1.46             | 1.02             | 1.82             | pH=1.5<br>0.52   | pH=3<br>0.73     | pH=2.5<br>0.68   |
| АГ-3         |                                            | 0.96             | 0.93             | 1.65             | 1.12             |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |

Из приведенных в табл. 1 данных следует, что окисленные угли СКТ, БАУ имеют значительную обменную емкость. Высокая обменная емкость ОУ по иону кобальта, возможно, связана с обработкой углей азотной кислотой.

Далее исследовалась сорбция малых количеств катионов тяжелых металлов окисленным углем из растворов хлористого натрия различной концентрации (до 25%) и получена зависимость поглощения катионов от концентрации хлористого натрия следующих элементов: Fe (II), Cr, Al, Mn, Cu, Co, Zn, Hg, Pb, Cd, Ti, U (VI), In, Ga. По кривым поглощения можно получить данные по поглощению иона из растворов NaCl определенной концентрации.

Поглощение катионов из растворов хлористого натрия окисленными углями характеризует высокое значение коэффициентов распределения. Поглощение катионов происходит даже из насыщенных растворов NaCl [3] (особенно ионов Fe<sup>3+</sup>, Co<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, UO<sub>2</sub><sup>2+</sup> и других). Ионообменные смолы не поглощают катионов уже из 2% растворов