

## Практическая работа № 14. Химические превращения в водоочистке и водоподготовке

**Цель работы:** произвести расчеты материального баланса процессов очистки сточных вод от взвешенных веществ и сульфида натрия, а также их обеззараживания в соответствии с заданием и приведенными примерами расчета

### Задача 1. Расчет материального баланса процесса очистки вод от взвешенных веществ и сульфида натрия

Рассчитайте материальный баланс процесса очистки сточных вод в количестве  $Q$ . В сточных водах содержится  $X$  мг/дм<sup>3</sup> взвешенных веществ,  $Y$  сульфида натрия. Для полного осаждения сульфидов вводят раствор  $Fe_2(SO_4)_3$  с концентрацией  $C$  и дополнительно  $Z$  сульфата железа в качестве коагулянта для полного осаждения взвешенных веществ. Образующуюся серную кислоту нейтрализуют известковым молоком ( $10$  г/дм<sup>3</sup>  $Ca(OH)_2$ ). Оседающий шлам имеет влажность  $W$ . Степень выделения взвешенных веществ  $96$  %, сульфидов — до остаточной концентрации  $0,2$  мг/дм<sup>3</sup>, а содержание гипса в очищенной воде  $0,2$  % масс.

| $Q$ , м <sup>3</sup> /ч | $X$ , мг/дм <sup>3</sup> | $Y$ , мг/дм <sup>3</sup> | $C$ , % | $Z$ , мг/дм <sup>3</sup> | $W$ , % |
|-------------------------|--------------------------|--------------------------|---------|--------------------------|---------|
| 14                      | 630                      | 100                      | 15      | 155                      | 97,8    |

### Решение

Масса потока –  $14\ 000$  кг/ч.

В нем содержится:

взвешенных веществ –  $6,3$  кг;

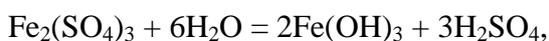
$Na_2S$  –  $1$  кг;

$Ca(OH)_2$  –  $100$  кг;

$Fe_2(SO_4)_3$  –  $1,55$  кг;

Для осаждения взвешенных веществ вводится  $0,15 * 14 = 2,1$  кг твердого коагулянта или  $14$  кг раствора,

Коагулянт гидролизует по реакции



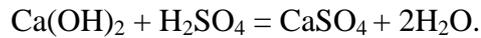
при этом выделяется гидроксид железа

$$m_{Fe(OH)_3} = \frac{2,1 * 106,8 * 2}{400} = 1,12 \text{ кг}$$

образуется  $H_2SO_4$

$$m_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{2,1 * 3 * 98}{400} = 1,54 \text{ кг}$$

Серная кислота может расходоваться на взаимодействие со взвешенными частицами  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  по реакции



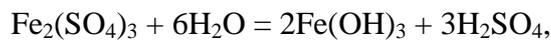
Масса растворившегося гидроксида кальция составляет

$$m_{\text{Ca}(\text{OH})_2} = \frac{1,54 * 74}{98} = 1,16 \text{ кг}$$

Остается в нерастворимом виде

$$100 - 1,16 = 98,84 \text{ кг.}$$

Практически полностью происходит осаждение гидроксида железа



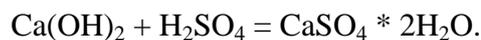
Причем выделяющаяся при осаждении серная кислота взаимодействует с  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  с образованием практически нерастворимого гипса  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Согласно экспериментальным данным, степень перехода железа в осадок достигает 97,8 %.

Рассчитываем количество образующихся  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  и  $\text{H}_2\text{SO}_4$

$$m_{\text{Fe}(\text{OH})_3} = \frac{1,55 * 0,978 * 2 * 106,9}{400} = 0,81 \text{ кг}$$

$$m_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{1,55 * 0,978 * 3 * 98}{400} = 1,1 \text{ кг}$$

По реакции



образуется гипса

$$m_{\text{CaSO}_4 * 2\text{H}_2\text{O}} = \frac{1,1 * 172}{98} = 1,93 \text{ кг}$$

расходуется  $\text{Ca}(\text{OH})_2$

$$m_{\text{Ca}(\text{OH})_2} = \frac{1,1 * 74}{98} = 0,83 \text{ кг}$$

Остается в виде  $\text{Ca}(\text{OH})_2 - (98,84 - 0,83) = 98,01 \text{ кг.}$

Так как в системе остаются еще взвешенные вещества в виде  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , то дополнительного введения подщелачивающих реагентов не требуется.

Учитывая степень осаждения взвешенных веществ, рассчитываем массу взвешенных, переходящих в шлам:

$$[1 + 2,1 + 98,01 (\text{остаток нерастворенной } \text{Ca}(\text{OH})_2)] * 0,96 = 97,07 \text{ кг}$$

В осветленной воде остается взвешенных веществ

$$100 - 97,07 = 2,93 \text{ кг.}$$

В шлам переходит

$\text{Fe}(\text{OH})_3 - 1,12 \text{ кг}$ ,

$\text{Fe}(\text{OH})_3 - 0,81 \text{ кг}$ ,

$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} - 1,93 \text{ кг}$ .

$\Sigma m = 1,12 + 0,81 + 1,93 = 3,86 \text{ кг}$

Составляем таблицу материального баланса

| Приход                       |          |        | Расход                                    |         |        |
|------------------------------|----------|--------|---|---------|--------|
| Наименование потока          | кг/ч     | % мас. | Наименование потока                       | кг/ч    | % мас. |
| 1. Сточная вода              | 14000    | 99,9   | 1. Осветленная вода                       | 11127,3 | 79,4   |
| В том числе:                 |          |        | В том числе:                              |         |        |
| вода                         | 13981,15 |        | вода                                      | 11121,2 |        |
| $\text{Ca}(\text{OH})_2$     | 10       |        | взвешенные                                | 4,0     |        |
| взвешенные вещества          | 6,3      |        | вещества                                  |         |        |
| $\text{Na}_2\text{S}$        | 1,0      |        | $\text{Na}_2\text{S}$                     | 2,1     |        |
| $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ | 1,55     |        |   |         |        |
| 2. Раствор коагулянта,       | 14       | 0,1    | 2. Влажный шлам,                          | 2886,7  | 20,6   |
| в том числе                  |          |        | В том числе                               |         |        |
| вода                         | 11,5     |        | вода                                      | 2785,78 |        |
| $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ | 2,1      |        | взвешенные                                | 97,07   |        |
|                              |          |        | вещества                                  |         |        |
|                              |          |        | $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ | 1,93    |        |
|                              |          |        | $\text{Fe}(\text{OH})_3$                  | 1,92    |        |
| Итого                        | 14014,0  | 100    | Итого                                     | 14014,0 | 100    |

Задача 2. Расчет материального баланса процесса обеззараживания сточных вод

Рассчитайте экобаланс производства хлора для обеззараживания воды расход которой составил  $Q$ , если вводят дозу хлора  $X$ . Хлор производят методом электролиза раствора поваренной соли с концентрацией  $300 \text{ г/дм}^3$ . Плотность раствора  $1,17 \text{ кг/дм}^3$ . Степень разложения соли –  $Y$ . Частично хлор растворяется в конечном растворе с образованием гипохлорита натрия, его концентрация –  $C$ .

| $Q, \text{ м}^3/\text{ч}$ | $X, \text{ мг/м}^3$ | $Y, \%$ | $C, \text{ г/дм}^3$ |
|---------------------------|---------------------|---------|---------------------|
| 215 000                   | 23                  | 55      | 0,9                 |

### Решение

Процесс электрохимического синтеза  $Cl_2$  протекает по реакции



а образование побочного продукта по реакции:



Для получения  $500 \text{ м}^3 Cl_2$  по первой реакции расходуется NaCl (молярная масса 58,5) в количестве:

$$m_{NaCl} = \frac{500 \cdot 2 \cdot 58,5}{22,4} = 2611,61 \text{ кг}$$

При учете степени разложения NaCl 55 % требующаяся масса соли составляет:

$$m_{исх} = \frac{2611,61}{0,55} = 4748,38 \text{ кг}$$

Объем раствора:

$$V = \frac{4748,38}{300} = 15,83 \text{ м}^3,$$

а его масса  $m = 15,83 \cdot 1170 = 18518,67 \text{ кг}$ .

Согласно реакции, образуется одинаковый объем водорода (считаем по хлору) –  $500 \text{ м}^3$ , а также NaOH (молярная масса 40):

$$m_{NaOH} = \frac{500 \cdot 2 \cdot 40}{22,4} = 1785,71 \text{ кг}$$

В растворе остаются неразложившиеся соли

$$m_{NaCl} = \frac{2611,61 \cdot 0,45}{0,55} = 2136,77 \text{ кг}$$

На образование  $Cl_2$ ,  $H_2$  и NaOH расходуется воды

$$m_{H_2O} = \frac{500 \cdot 2 \cdot 18}{22,4} = 803,57 \text{ кг}$$

Таким образом, в реактор приходит  $18518,67 \text{ кг}$  раствора NaCl. За счет реакции в газовую фазу выделяется  $500 \text{ м}^3 H_2$

$$\left( \frac{500 \cdot 2}{22,4} = 44,64 \right), 500 \text{ м}^3 Cl_2 \left( \frac{500 \cdot 71}{22,4} = 1584,82 \text{ кг} \right)$$

После реакции (без учета образования побочных продуктов) остается жидкой фазы  $16889,21 \text{ кг}$ . Считаем, что плотность раствора не изменяется, тогда объем раствора составляет  $14,44 \text{ м}^3$ .

Так как в растворе содержится  $0,9 \text{ г/дм}^3 NaClO$ , то его количество составляет  $14,44 \cdot 0,9 = 12,99 \text{ кг}$ .

Для образования такого количества NaClO (молярная масса 74,5) по второй реакции расходуется хлор в количестве

$$m_{Cl_2} = \frac{12,99 \cdot 22,4}{74,5} = 3,91 \text{ м}^3$$

и NaOH в количестве

$$m_{NaOH} = \frac{12,99 \cdot 2 \cdot 40}{74,5} = 13,95 \text{ кг}$$

при этом регенерируется NaCl

$$m_{NaCl} = \frac{12,99 \cdot 58,5}{74,5} = 10,2 \text{ кг}$$

Масса оставшейся в жидкой фазе

NaOH составляет  $1785,71 - 13,95 = 1771,76$  кг,

NaCl –  $2136,77 + 10,20 = 2146,97$  кг.

За счет образования побочного продукта NaCl объем выделяющегося Cl<sub>2</sub> уменьшается с 500 м<sup>3</sup> до  $(500 - 3,91) = 496,09$  м<sup>3</sup>, т. е. от требуемого объема образуется только 99,22 %. Если обеспечивать требуемую производительность по Cl<sub>2</sub>, то надо увеличить расходы компонентов на 0,78%. Сведем результаты расчетов в таблицу.

Таблица. Материальный баланс производства

| Приход              |          |                   | Расход                        |          |                   |
|---------------------|----------|-------------------|-------------------------------|----------|-------------------|
| Наименование потока | кг/ч     | м <sup>3</sup> /ч | Наименование потока           | кг/ч     | м <sup>3</sup> /ч |
| Раствор соли        | 18518,67 | 15,83             | Газовый поток H <sub>2</sub>  | 44,64    | 500               |
| В том числе NaCl    | 4748,38  |                   | Газовый поток Cl <sub>2</sub> | 1584,82  | 496,09            |
|                     |          |                   | Жидкая фаза                   | 16889,21 |                   |
|                     |          |                   | В том числе:                  |          |                   |
|                     |          |                   | NaCl                          | 2146,97  |                   |
|                     |          |                   | NaOH                          | 1771,76  |                   |
|                     |          |                   | NaClO                         | 12,99    |                   |
| <b>Итого</b>        | 18518,67 |                   | <b>Итого</b>                  | 18518,67 |                   |

Варианты исходных данных для задачи 1

| № варианта | Q, м <sup>3</sup> /ч | X, мг/дм <sup>3</sup> | Y, мг/дм <sup>3</sup> | C, % | Z, мг/дм <sup>3</sup> | W, % |
|------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|------|-----------------------|------|
| 1          | 15                   | 630                   | 100                   | 17   | 155                   | 97,8 |
| 2          | 13                   | 640                   | 110                   | 18   | 155                   | 96,8 |

|    |    |     |     |    |     |      |
|----|----|-----|-----|----|-----|------|
| 3  | 13 | 640 | 110 | 18 | 155 | 96,8 |
| 4  | 14 | 650 | 111 | 19 | 140 | 98,0 |
| 5  | 13 | 630 | 100 | 18 | 155 | 98,0 |
| 6  | 15 | 635 | 115 | 20 | 135 | 97,0 |
| 7  | 12 | 630 | 100 | 16 | 155 | 97,8 |
| 8  | 15 | 650 | 100 | 15 | 140 | 95,8 |
| 9  | 17 | 680 | 123 | 17 | 135 | 96,8 |
| 10 | 15 | 650 | 100 | 19 | 165 | 96,8 |

Варианты исходных данных для задачи 2

| № варианта | Q, м <sup>3</sup> /ч | X, мг/м <sup>3</sup> | Y, % | C, г/дм <sup>3</sup> |
|------------|----------------------|----------------------|------|----------------------|
| 1          | 220 000              | 24                   | 57   | 1,0                  |
| 2          | 230 000              | 23                   | 56   | 1,1                  |
| 3          | 240 000              | 25                   | 55   | 1,1                  |
| 4          | 210 000              | 23,5                 | 58   | 1,0                  |
| 5          | 220 000              | 27                   | 59   | 1,3                  |
| 6          | 235 000              | 25                   | 57   | 1,2                  |
| 7          | 210 000              | 23                   | 60   | 1,1                  |
| 8          | 200 000              | 24                   | 61   | 1,4                  |
| 9          | 205 000              | 26                   | 62   | 1,3                  |
| 10         | 225 000              | 27                   | 53   | 1,2                  |