

**Задание 1.** (автор В.А. Емельянов).

1. Правильно заполненные таблицы см. справа и внизу.

2. Элементы-неметаллы: H, He, B, C, N, O, F, Ne, Si, P.

3. Классификационный признак – наличие электронов на соответствующем валентном подуровне (внешнем для s- и p-электронов, предвнешнем для d-электронов). В первой таблице находятся только s-элементы (первые 9 в ПС), во второй p-элементы (также первые 9), в третьей – первые 9 d-элементов.

**Система оценивания:**

1. Каждая заполненная таблица по 5 б (символ не на месте, либо пустая клетка минус 1 б, однако за каждую таблицу не меньше 0 б)

$$5б*3$$

= 15 б;

2. Каждый указанный неметалл по 0,5 б (за неверное отнесение минус 0,5 б)  $0,5б*10 = 5 б;$

3. Указания на s-, p- и d-элементы по 1 б (другие попытки классификации по 0,5 б)  $1б*3 = 3 б;$

**Всего** ..... **23 балла**

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Mg | Na | Be | H  | K  | Li | He | Rb | Ca |
| He | K  | Li | Ca | Mg | Rb | Be | Na | H  |
| H  | Rb | Ca | He | Na | Be | K  | Mg | Li |
| Na | Li | Rb | K  | Ca | H  | Mg | He | Be |
| K  | Ca | H  | Be | He | Mg | Na | Li | Rb |
| Be | He | Mg | Rb | Li | Na | Ca | H  | K  |
| Li | H  | He | Na | Be | Ca | Rb | K  | Mg |
| Rb | Be | Na | Mg | H  | K  | Li | Ca | He |
| Ca | Mg | K  | Li | Rb | He | H  | Be | Na |

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| B  | P  | F  | N  | O  | Si | Ne | C  | Al |
| Ne | Si | N  | Al | C  | B  | P  | F  | O  |
| O  | Al | C  | F  | Ne | P  | B  | Si | N  |
| N  | F  | O  | C  | Al | Ne | Si | B  | P  |
| Al | C  | Si | B  | P  | N  | O  | Ne | F  |
| P  | Ne | B  | O  | Si | F  | Al | N  | C  |
| C  | B  | P  | Ne | N  | Al | F  | O  | Si |
| F  | O  | Al | Si | B  | C  | N  | P  | Ne |
| Si | N  | Ne | P  | F  | O  | C  | Al | B  |

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Cu | Cr | Fe | Ti | Ni | Mn | Co | Sc | V  |
| Mn | Co | Ti | Sc | Cr | V  | Cu | Ni | Fe |
| Sc | Ni | V  | Fe | Co | Cu | Mn | Ti | Cr |
| Ni | Fe | Sc | Cr | Cu | Co | Ti | V  | Mn |
| Ti | V  | Co | Mn | Sc | Ni | Cr | Fe | Cu |
| Cr | Mn | Cu | V  | Ti | Fe | Sc | Co | Ni |
| Fe | Ti | Ni | Co | Mn | Cr | V  | Cu | Sc |
| V  | Sc | Cr | Cu | Fe | Ti | Ni | Mn | Co |
| Co | Cu | Mn | Ni | V  | Sc | Fe | Cr | Ti |

## **Задание 2.** (авторы Н.Н. Сапрыгина, В.А. Емельянов).

1. Из описания (самородность, известность, стоимость, химическое поведение) следует, что металл **М** – золото (Au). Электронная конфигурация его атома в основном состоянии:  $[\text{Xe}]4f^{14}5d^{10}6s^1$ . Его среднее содержание в воде  $4 \cdot 10^{-6}/197 = 2 \cdot 10^{-8}$  моль/л.

2. В земной коре золота  $2,8 \cdot 10^{19} \cdot 2 \cdot 10^{-7}/100 = 5,6 \cdot 10^{10}$  тонн. Посчитаем его массу в мировом океане. В  $1 \text{ км}^3$  содержится  $10^9 \text{ м}^3$  или  $10^{12}$  л. Золота в мировом океане около  $4 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{12} \cdot 1,3 \cdot 10^9 = 5,2 \cdot 10^{15}$  г или  $5,2 \cdot 10^9$  тонн. Общие запасы металла **М** на нашей планете  $5,6 \cdot 10^{10} + 0,52 \cdot 10^{10} = 6,12 \cdot 10^{10}$ , т. е. около  $6 \cdot 10^{10}$  или 60 млрд тонн.

Плотность в  $\text{г/см}^3$  равна плотности в  $\text{тонн/м}^3$ . Отсюда объем «кубика»  $V = 170000/19,32 \approx 8799 \text{ м}^3$ , а длина его стороны  $a = \sqrt[3]{8799} \approx 20,6 \text{ м}$ .

3. Стоимость 1 г золота 214832 коп. За 1 копейку можно приобрести  $1/214832 = 4,66 \cdot 10^{-6}$  г или  $4,66 \cdot 10^{-6}/197$  молей или  $6,02 \cdot 10^{23} \cdot 4,66 \cdot 10^{-6}/197 = 1,42 \cdot 10^{16}$  атомов золота.

В 1 атоме золота 79 электронов и в среднем  $197-79 = 118$  нейтронов. В покупке содержалось бы  $79 \cdot 1,42 \cdot 10^{16} = 1,12 \cdot 10^{18}$  электронов и  $118 \cdot 1,42 \cdot 10^{16} = 1,68 \cdot 10^{18}$  нейтронов.

Объем покупки в мл ( $\text{см}^3$ ) составил бы  $4,66 \cdot 10^{-6}/19,32 = 2,41 \cdot 10^{-7}$  мл.

4. Упомянутая смесь кислот называется «царская водка», поскольку она растворяет «царя металлов», т.е. золото. Составим уравнение для расчета объемов. Обозначим за  $x$  количество молей азотной кислоты, которое будет содержаться во взятом нами объеме. Тогда соляной кислоты надо будет взять  $3x$  молей. Умножив эти величины на молярную массу, получим массу чистых кислот; поделив на массовые доли в выданных кислотах, получим их массы, поделив на плотность, получим их объемы. Пренебрегая изменением объема при смешивании, допустим, что сумма этих объемов составит нужный нам объем 100 мл. Итак, получаем уравнение с одним неизвестным:

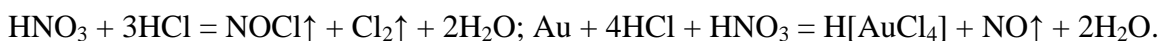
$$x \cdot 63 / (0,65 \cdot 1,4) + 3x \cdot 36,5 / (0,36 \cdot 1,18) = 100, \text{ откуда } x = 0,306 \text{ моль. Теперь считаем объемы:}$$

$$\text{азотной кислоты } 0,306 \cdot 63 / (0,65 \cdot 1,4) = 21,2 \text{ мл;}$$

$$\text{соляной кислоты } 3 \cdot 0,306 \cdot 36,5 / (0,36 \cdot 1,18) = 78,9 \text{ мл.}$$

С точностью до ошибок округления получилось 100 мл смеси.

### 5. Уравнения реакций:



### **Система оценивания:**

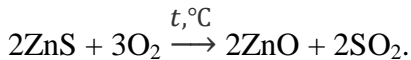
|   |                           |
|---|---------------------------|
| 1. Золото 2 б, электронная конфигурация 1 б, содержание в воде 1 б            | $2б+1б+1б = 4 б;$         |
| 2. Расчет запасов 4 б (в земной коре 1,5 б, в воде 2 б), стороны «кубика» 2 б | $4б+2б = 6 б;$            |
| 3. Количество атомов 2 б, нейтронов и электронов по 1 б, объем в мл 2 б       | $2б+1б \cdot 2+2б = 6 б;$ |
| 4. Название смеси 1 б, происхождение названия 1 б, расчет объемов 4 б         | $1б+1б+4б = 6 б;$         |
| 5. Уравнения реакций по 1 б   | $1б \cdot 2 = 2 б.$       |
| <b>Всего</b> .....  | <b>24 балла</b>           |

## **Задание 3.** (авторы К.А. Коваленко, В.А. Емельянов).

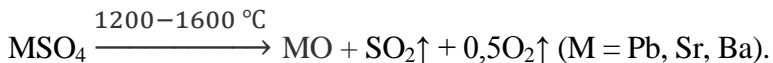
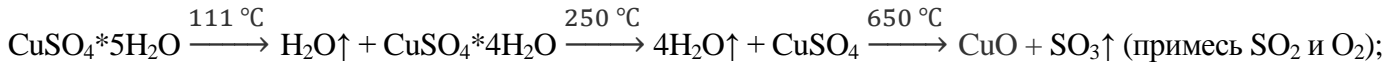
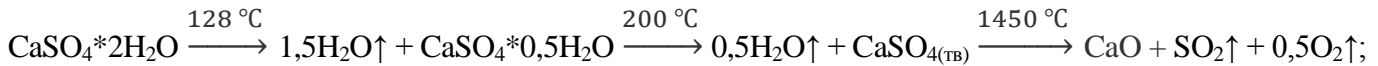
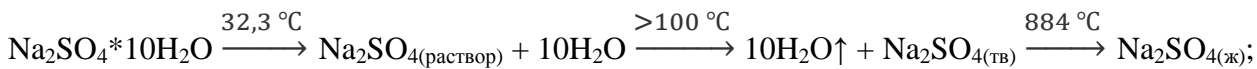
1. Наиболее известными сульфидными минералами являются пирит  $\text{FeS}_2$  (железный колчедан) и халькопирит  $\text{CuFeS}_2$  (медный колчедан). Менее известные, но также достаточно распространенные сульфидные минералы:  $\text{ZnS}$  – цинковая обманка (вюрцит (вюртцит) и сфалерит),  $\text{Cu}_2\text{S}$  – халькозин,  $\text{CuS}$  – ковеллин,  $\text{MoS}_2$  – молибденит (молибденовый блеск),  $\text{Ag}_2\text{S}$  – аргентит (серебряный блеск),  $\text{HgS}$  – киноварь,  $\text{PbS}$  – галенит (свинцовый блеск),  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  – антимонит (стибнит, сурьмяный блеск),  $\text{Bi}_2\text{S}_3$  – висмутин,  $\text{Co}_3\text{S}_4$  – линнеит,  $\text{As}_2\text{S}_3$  – аурипигмент,  $\text{As}_4\text{S}_4$  ( $\text{AsS}$ ) – реальгар и др.

Не сульфидными, но содержащими серу минералами, являются природные сульфаты. Самые известные из них – это плохо растворимые в воде сульфаты кальция  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (гипс),  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$  (алебастр) и  $\text{CaSO}_4$  (ангидрит), стронция  $\text{SrSO}_4$  (целестин), бария  $\text{BaSO}_4$  (барит, тяжелый шпат), свинца  $\text{PbSO}_4$  (англезит), а также хорошо растворимые  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  (мирабилит, глауберова соль) и различные купоросы состава  $\text{MSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ .

2. Примеры уравнений реакций обжига на воздухе сульфидных минералов:



Примеры уравнений реакций разложения сульфатных минералов при их сильном нагревании:

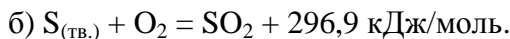


3. Уравнения реакций:  $2\text{H}_2\text{S} + 3\text{O}_2 = 2\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$  [1];  $2\text{H}_2\text{S} + \text{SO}_2 = 3\text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$  [2].

Суммарное уравнение реакции получения серы из сероводорода:  $2\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 = 2\text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$ .

По уравнению реакции [2] на 2 моля  $\text{H}_2\text{S}$  требуется 1 моль  $\text{SO}_2$ , который получается из 1 моля  $\text{H}_2\text{S}$  по уравнению реакции [1]. Следовательно, в расчете на полное последующее превращение в серу до сернистого газа необходимо сжигать 1/3 часть сероводорода, т. е. 1/3V.

4. Термохимические уравнения:



Чтобы получить термохимическое уравнение суммарной реакции образования 1 моль серы из сероводорода по технологии Клауса, надо из уравнения а) вычесть уравнение б):



5. Уравнение реакции:  $\text{SO}_{2(\text{г.})} + 0,5\text{O}_{2(\text{г.})} = \text{SO}_{3(\text{г.})} + Q$  [4] или  $2\text{SO}_{2(\text{г.})} + \text{O}_{2(\text{г.})} = 2\text{SO}_{3(\text{г.})} + Q'$  [4].

Тепловой эффект этой реакции легко считается, если Вы знаете теплоты образования  $\text{SO}_3$  и  $\text{SO}_2$ . Теплота образования  $\text{SO}_2$  равна теплоте сгорания серы (см. термохимическое уравнение б) п. 4), следовательно,  $Q = Q_{\text{обр.}}(\text{SO}_3) - Q_{\text{обр.}}(\text{SO}_2) = 396 - 296,9 = 99,1 \text{ кДж/моль}$ .  $Q' = 2 \cdot 99,1 = 198,2 \text{ кДж/моль}$ .

Это экзотермическая реакция, протекающая с уменьшением количества газообразных веществ. В соответствии с принципом Ле Шателье, выход  $\text{SO}_3$  будут увеличивать следующие факторы: понижение температуры, увеличение давления, удаление  $\text{SO}_3$  из реакционной смеси, увеличение концентраций  $\text{SO}_2$  и  $\text{O}_2$ .

6. Уравнение реакции:  $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{SO}_4$  [4].

Количество производимой ежедневно кислоты  $n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 500 \cdot 10^6 \text{ г} / 98 \text{ г/моль} \approx 5,1 \cdot 10^6 \text{ моль}$ , тогда количество выделяющейся энергии (тепла)  $Q = 5,1 \cdot 10^6 \text{ моль} \cdot 130 \text{ кДж/моль} = 6,63 \cdot 10^8 \text{ кДж}$ .

7. Количество тепла, преобразующегося в электрическую энергию, составляет  $6,63 \cdot 10^8 \cdot 0,75 \cdot 0,3 = 1,49 \cdot 10^8 \text{ кДж}$ .  $1 \text{ Дж} = 1 \text{ Вт} \cdot \text{с}$ ,  $1 \text{ кДж} = 1 \text{ кВт} \cdot \text{с} = 1/3600 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ . Количество производимой электрической энергии:  $E_{\text{эл.}} = 1,49 \cdot 10^8 / 3600 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \approx 4,14 \cdot 10^4 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 41,4 \text{ МВт} \cdot \text{ч}$ .

Количество тепла, расходуемого на теплоснабжение, составляет  $6,63 \cdot 10^8 \cdot 0,25 = 1,66 \cdot 10^8 \text{ кДж}$  или  $1,66 \cdot 10^8 / 3600 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \approx 4,60 \cdot 10^4 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ .

Тогда завод может отапливать зимой  $4,60 \cdot 10^4 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / (150 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{домик}) = 307 \text{ домиков}^*$ .

\*Если посчитать, что завод запасает электроэнергию весь год, а домики отапливаются только зимой, то их количество вырастет обратно пропорционально доле зимних месяцев в году.

8. При образовании 1 моль ( $98 \text{ г} = 0,098 \text{ кг}$ )  $\text{H}_2\text{SO}_4$  выделится  $130 \text{ кДж}$  теплоты, которая израсходуется на нагрев этой кислоты. Тогда из формулы  $Q = C \cdot m \cdot \Delta t$  найдем  $\Delta t$ :  $\Delta t = Q / (C \cdot m) =$

$130/(2,5*0,098) \approx 531$  К. Поскольку изменение температуры на 1 К соответствует ее изменению на 1°C, конечная температура жидкой кислоты составила бы  $25+531 = 556^\circ\text{C}$ . Отметим, что температура кипения 100% серной кислоты значительно меньше ( $296,2^\circ\text{C}$ ).

**9.** Количество серного ангидрида, ежедневно производимое на нашем среднем заводе, совпадает с количеством  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и составляет  $n(\text{SO}_3) \approx 5,1 \cdot 10^6$  моль (см. п. 5). Тогда масса серного ангидрида  $m(\text{SO}_3) = 80 * 5,1 \cdot 10^6 \text{ г} = 408 \text{ т}$ .

В 1 т 90% серной кислоты содержится  $0,1 * 1000 = 100$  кг или  $100 * 10^3 / 18 = 5,56 * 10^3$  моль воды. Эта вода прореагирует с  $5,56 * 10^3$  моль или  $5,56 * 10^3 * 80 = 444 * 10^3 \text{ г} = 444 \text{ кг SO}_3$  с образованием 100% серной кислоты, общая масса которой в итоге составит  $1000+444 = 1444 \text{ кг}$ . В олеуме, который нам требуется получить, массовая доля этой 100% кислоты составляет  $100-20 = 80\%$ . Следовательно, общая масса 20% олеума, полученного из 1 т 90% серной кислоты, будет составлять  $1444/0,8 = 1805 \text{ кг}$  или 1,805 т. То есть, на каждые  $1,805-1 = 0,805 \text{ т SO}_3$  требуется 1 т 90%  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Таким образом, чтобы полностью поглотить 408 т ангидрида с образованием 20% олеума, потребуется  $408/0,805 \approx 507 \text{ т 90\% серной кислоты}$ .

**10.** Итак,  $5,56 * 10^3$  моль воды, содержащиеся в 1 т 90% кислоты, реагируют с 444 кг  $\text{SO}_3$  с образованием  $5,56 * 10^3$  моль 100 % серной кислоты. Количество тепла, выделяющееся в этом процессе, составит  $5,56 * 10^3 * 130 = 722,8 * 10^3 \text{ кДж}$ . Нагреваться будет вся кислота общей массой 1444 кг, следовательно, изменение температуры составит  $\Delta t = Q/(C*m) = 722,8 * 10^3 / (1,5 * 1444) \approx 334 \text{ К}$ . То есть, в момент образования 100% кислоты ее температура может составить  $25+334 = 359^\circ\text{C}$ . (На самом деле это тоже выше температуры кипения 100% серной кислоты, поэтому для поглощения обычно используют более крепкую кислоту, либо ставят дополнительные теплообменники).

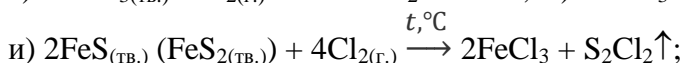
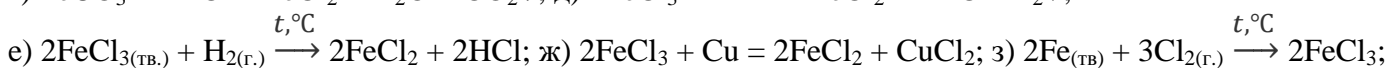
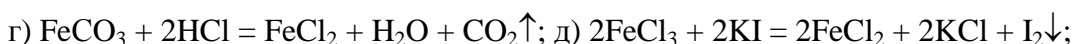
В 1 т 20% олеума содержится  $0,2 * 1000 = 200$  кг или  $200 * 10^3 / 80 = 2,5 * 10^3$  моль  $\text{SO}_3$ . Этот серный ангидрид прореагирует с  $2,5 * 10^3$  моль или  $2,5 * 10^3 * 18 = 45 * 10^3 \text{ г} = 45 \text{ кг}$  воды с образованием 100% серной кислоты, общая масса которой в итоге составит  $1000+44 = 1045 \text{ кг}$ . Количество тепла, выделяющееся в этом процессе, составит  $2,5 * 10^3 * 130 = 325 * 10^3 \text{ кДж}$ . Нагреваться будет вся кислота общей массой 1045 кг, следовательно, изменение температуры составит  $\Delta t = Q/(C*m) = 325 * 10^3 / (1,5 * 1045) \approx 207 \text{ К}$ . То есть, в момент образования 100% кислоты из 20% олеума ее температура может составить  $25+207 = 232^\circ\text{C}$ .

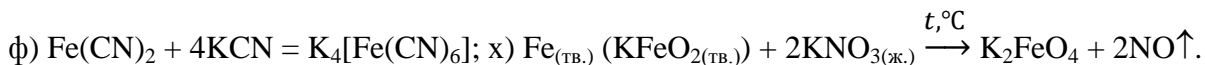
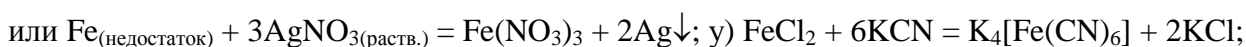
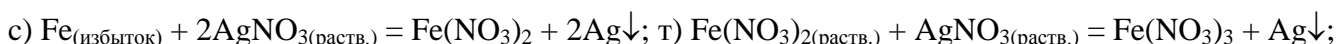
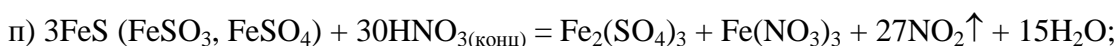
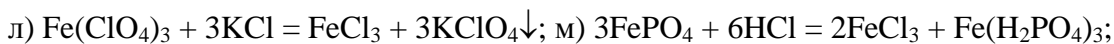
#### **Система оценивания:**

- |  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. Названия минералов по 0,5 б, формулы по 0,5 б   | $(0,5б+0,5б)*4 = 4 б;$  |
| 2. Уравнения реакций обжига и разложения (можно суммарно, но до конца) по 1 б<br>(Если только дегидратация для сульфатов не щелочных металлов, то 0,5 б) | $1б*4 = 4 б;$           |
| 3. Уравнения реакций [1, 2] и общее по 1 б, сжигаемая доля 1 б   | $1б*3+1б = 4 б;$        |
| 4. Термохимические уравнения по 1 б, тепловой эффект 2 б   | $1б*2+2б = 4 б;$        |
| 5. Уравнение реакции [3] 1 б, тепловой эффект 1,5 б, 3 фактора по 0,5 б  | $1б+1,5б+0,5б*3 = 4 б;$ |
| 6. Уравнения реакции [4] 1 б, расчет тепла 2 б   | $1б+2б = 3 б;$          |
| 7. Количество электроэнергии 2 б, количество домиков 2 б   | $2б+2б = 4 б;$          |
| 8. Расчет температуры 2 б  | $2 б;$                  |
| 9. Масса ангидрида 2 б, масса 90% кислоты 4 б  | $2б+4б = 6 б;$          |
| 10. Расчет температур по 2 б   | $2б*2 = 4 б;$           |
| <b>Всего</b> .....   | <b>39 баллов</b>        |

#### **Задание 4. (автор В.А. Емельянов).**

**1.** Уравнения реакций (если не указано иное, то реакция проводится в водном растворе):





## 2. Названия соединений:

$\text{FeCl}_2$  – хлорид железа(II) или дихлорид железа или хлористое железо;

$\text{FeCl}_3$  – хлорид железа(III), трихлорид железа, хлорное железо;

$\text{FeO}$  – оксид железа(II), закись железа;

$\text{FeCO}_3$  – карбонат железа(II), углекислое железо закисное;

$\text{FeS}$  – сульфид железа(II), сернистое железо;

$\text{FeS}_2$  – дисульфид железа(II), пирит, двусернистое железо;

$\text{K}_2\text{FeO}_4$  – феррат калия, железнокислый калий;

$\text{Fe}(\text{ClO}_4)_3$  – перхлорат железа(III), хлорнокислое железо окисное;

$\text{FePO}_4$  – ортофосфат железа(III), ортофосфорнокислое железо окисное;

$\text{Fe}(\text{H}_2\text{PO}_4)_3$  – дигидрофосфат железа(III), кислое фосфорнокислое железо окисное однозамещенное;

$\text{Fe}(\text{BrO}_3)_3$  – бромат железа(III), бромноватокислое железо окисное;

$\text{Fe}(\text{OH})_3$  – гидроксид железа(III), тригидроксид железа, гидроокись железа;

$\text{Fe}(\text{OH})_2$  – гидроксид железа(II), дигидроксид железа, гидрат закиси железа;

$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  – сульфат железа(III), сернокислое железо окисное;

$\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$  – нитрат железа(II), азотнокислое железо закисное;

$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  – нитрат железа(III), азотнокислое железо окисное;

$\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  – гексацианоферрат(II) калия, железистосинеродистый калий;

$\text{Fe}(\text{CN})_2$  – цианид железа(II), цианистое железо.

### Система оценивания:

1. Полные уравнения реакций с коэффициентами по 1 б

$16 \times 21 = 21 \text{ б.}$

2. Названия соединений по 0,5 б за вещество

$0,56 \times 18 = 9 \text{ б.}$

**Всего** ..... **30 баллов**