

Как быстро расставить коэффициенты в уравнениях окислительно-восстановительных реакций

Д. И. Мычко, кандидат химических наук, доцент кафедры неорганической химии БГУ

В средней школе меня, как и всех учащихся, учили расставлять коэффициенты в уравнениях окислительно-восстановительных реакций методом электронного баланса в той же форме, которая представлена в большинстве учебниках и используется и сейчас. Этот способ рассмотрен и в представленных выше статьях Р. И. Даньковского и И. В. Тупеко.

А вот уже в университете на лекциях по неорганической химии В. Ф. Тикавый со свойственной ему категоричностью запретил нам, первокурсникам, использовать школьный способ расстановки коэффициентов и показал, как это делают профессиональные химики. Новый способ оказался понятным, лёгким и удобным.

Когда я стал интересоваться методикой преподавания химии, узнал, что существует много других способов расстановки коэффициентов в уравнениях химических реакций:

- поэлементный;
- постадийный;
- структурно-схематический;
- способ общего электронного баланса;
- способ электронно-ионных схем;
- метод полуреакций;
- алгебраический;
- с помощью квадратных диаграмм Енеке;
- механический.

У каждого из этих способов есть свои достоинства применительно к каким-то конкретным условиям, но более быстрого и внешне более красивого способа, чем тот, который показал в своё время В. Ф. Тикавый, я не знаю. Этот способ мы, преподаватели кафедры неорганической химии, используем и сейчас в учебном процессе. Я не вижу препятствий, которые не позволяли бы использовать этот способ в учебном процессе средней школы. Более того, я и мои коллеги-преподаватели лицея БГУ уже давно и эффективно его используем в обучении лицеистов.

Способ подбора коэффициентов в химических уравнениях, о котором пойдёт речь, не является изобретением преподавателей БГУ и имеет название «ускоренный вариант способа общего электронного баланса» [1].

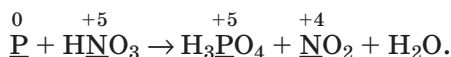
В нём используется тот же принцип, что и в известном способе электронного баланса: сравнение степеней окисления атомов в исходных и конечных веществах с последующим составлением электронного баланса, который должен учесть, что общее число электронов, отданных восстановителем, должно равняться общему числу электронов, принятых окислителем. Но для подбора коэффициентов в этом способе не надо составлять громоздких столбиков и схем перемещения электронов и находить наименьшее общее кратное.

Как говорил Исаак Ньютон, при обучении упражнения важнее правил, поэтому представим этот способ в виде простых и наглядных примеров.

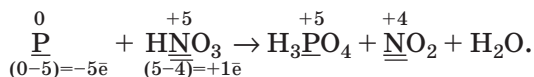
Допустим, что нам необходимо расставить коэффициенты в уравнении реакции взаимодействия фосфора с азотной кислотой, которое можно описать схемой:



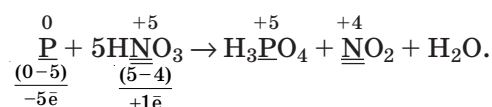
В начале над символами элементов расставим степени окисления и подчеркнём символы элементов, изменивших степени окисления:



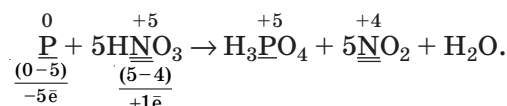
С левой стороны или, если это надо, с правой, под подчёркнутыми элементами напишем, на сколько элементарных зарядов изменились степени окисления атомов. Для этого от исходной степени окисления вычтем (отнимем) её конечное значение:



Из записи видно, что атом фосфора отдал пять электронов, а атом азота принял один электрон. Это указывает на то, что фосфор окисляется, а азот восстанавливается. Поскольку число отданных восстановителем электронов должно быть равно числу присоединённых электронов окислителем, то на каждый окисленный атом фосфора должно приходиться 5 восстановленных атомов азота. Поэтому перед формулой фосфора ставим коэффициент 1 (его не записывают), а перед формулой азотной кислоты — 5:

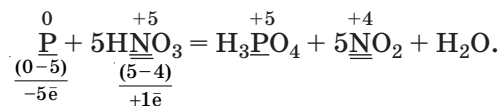


Проверяем число атомов каждого элемента в обеих частях уравнения и расставляем соответствующие коэффициенты (пока без учёта водорода и кислорода):



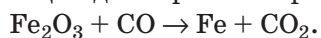
Затем проверяем число атомов водорода и, если надо, ставим коэффициент перед формулой молекулы воды.

Проверяем число атомов кислорода и, убедившись, что число атомов слева и справа одинаково, ставим знак равенства:

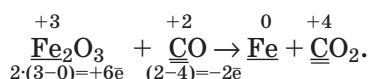


Как видно, преимущество этого способа состоит в том, что он сразу позволяет определить окислитель и восстановитель, число отданных и присоединённых электронов каждым веществом.

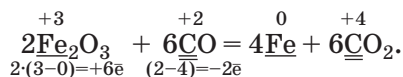
Ещё один простой пример:



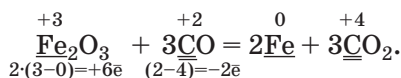
Особенность расстановки коэффициентов в этом уравнении заключается в том, что в левой части схемы химической реакции в формульной единице оксида железа есть два атома железа. При использовании традиционных схем электронного баланса у учащихся может возникнуть вопрос: как учесть это число атомов? В рассматриваемом же способе надо поступить формально, учитывая все атомы, изменившие степень окисления:



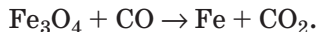
Поэтому получим:



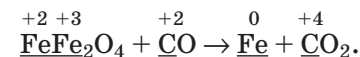
После сокращения коэффициентов получаем:



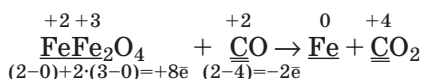
Рассмотрим более сложный пример:



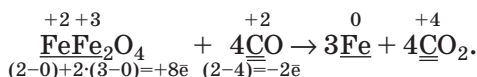
Сложность в этом случае заключается в том, что в оксиде железа имеются атомы в разных степенях окисления. Для учащихся, осваивающих традиционный способ расстановки коэффициентов, учесть это — непростая задача. Но для ускоренного варианта всё проще, главное при этом — правильно определить число атомов в разных степенях окисления:



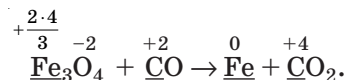
Далее следует провести элементарные вычисления:



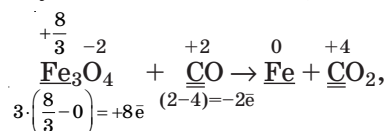
и расставить коэффициенты:



Поскольку степень окисления — это в каком-то смысле формальная величина, то при расстановке коэффициентов также можно придерживаться некоторого формализма. Для иллюстрации рассмотрим тот же пример, но определим степень окисления железа исходя из формальных посылок, считая, что соединение должно быть электронейтрально, а степень окисления кислорода равна -2 . Тогда степень окисления одного атома железа должна быть равна $+\frac{8}{3}$:

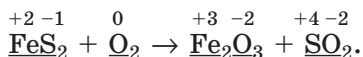


С учётом всех атомов, изменивших степень окисления, получим:

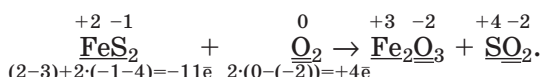


т. е. всё те же значения отданных и присоединённых электронов и, как следствие, те же коэффициенты.

Рассмотрим ещё один пример:



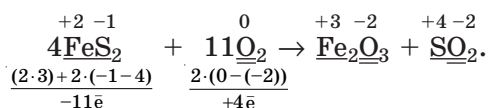
Особенностью расстановки коэффициентов в уравнении этой реакции, как видим, является то, что надо учесть присутствие в одном веществе двух разных элементов, изменяющих свои степени окисления. При составлении традиционных схем электронного баланса у учащихся, как правило, возникают затруднения. Но их не будет, если использовать предлагаемый в статье способ:



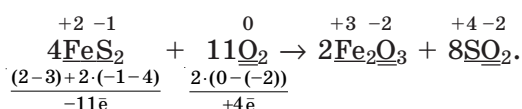
Как видно, этим способом мы сразу выявили вещество, которое окисляется и восстанавливается.

Опустим подобные рассмотренным выше рассуждения, подчеркнём лишь то, что должны понять учащиеся. Поскольку каждая формульная единица FeS_2 отдаёт 11

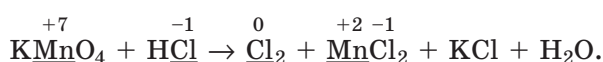
электронов, а каждая молекула O_2 принимает 4 электрона, то для сохранения электронного баланса на каждые 4 структурные единицы FeS_2 должно приходиться 11 молекул O_2 . Это и отмечаем в схеме реакции расстановкой коэффициентов:



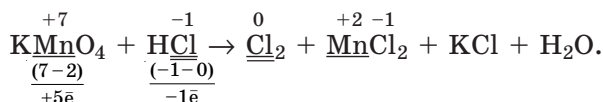
Далее по известной схеме расставляем все остальные коэффициенты и получаем уравнение химической реакции:



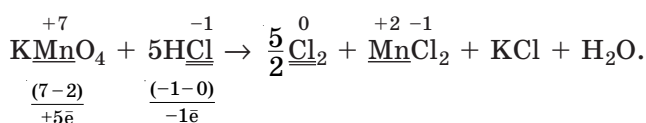
Ещё один пример, когда в уравнении реакции присутствует соединение (HCl), часть стехиометрического количества которого окисляется, а другая часть необходима для связывания образовавшихся катионов:



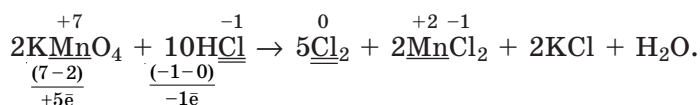
На первой стадии будем рассматривать только ту часть HCl , которая окисляется (она подчеркнута):



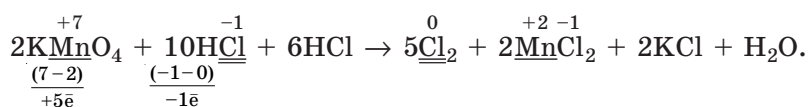
Расставим коэффициенты у формул веществ с изменившимися степени окисления атомами:



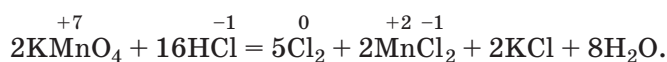
Чтобы уйти от дробных коэффициентов, умножим обе части схемы на 2:



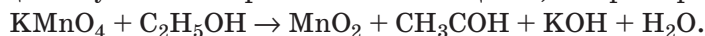
Подсчитаем, сколько HCl пошло на связывание катионов, и добавим в схему:



Уравняем число атомов водорода и проверим по кислороду:

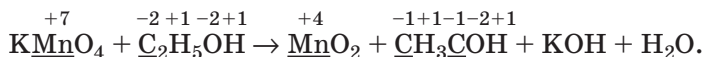


Теперь применим этот способ для расстановки коэффициентов в уравнениях реакций с участием органических веществ, например:

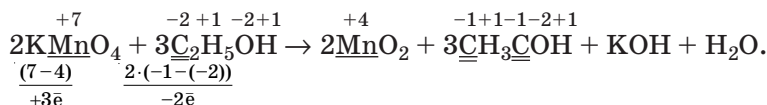


Здесь возникает вопрос: как установить степени окисления атомов в органических веществах?

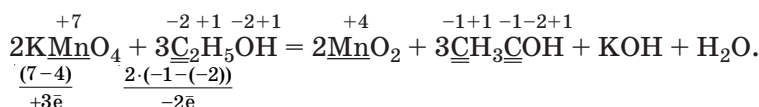
В учебных целях будет полезно изобразить структурные формулы и исходя из полярности и порядка связей определить степени окисления. Но если коэффициенты надо расставить быстро, то к этому можно подойти формально, принимая степень окисления кислорода, равную -2 , водорода $+1$. Степень окисления углерода в этом случае определяется исходя из электронейтральности молекулы:



Теперь определим число присоединённых и отданных электронов и расставим коэффициенты у формул веществ, в которых элементы поменяли степени окисления:



Дальше расставим коэффициенты и у других формул:



Как видно, всё очень просто и быстро.

За время моей преподавательской деятельности у меня собралось большое количество схем непростых химических реакций. Надеюсь, они будут полезны и интересуют тех, кто хочет развить у своих учеников навыки расстановки коэффициентов:

- 1) $\text{Fe} + \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \xrightarrow{t} \text{Na}_2\text{FeO}_4 + \text{NaNO}_2 + \text{CO}_2$;
- 2) $\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + \text{K}_2\text{CO}_3 \xrightarrow{t} \text{K}_2\text{FeO}_4 + \text{KNO}_2 + \text{CO}_2$;
- 3) $\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{Na}_2\text{FeO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_2\text{O}$;
- 4) $\text{KMnO}_4 + \text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$;
- 5) $\text{Cr}(\text{OH})_2 + \text{ClO}_2 \rightarrow \text{Cr}(\text{ClO}_3)_3 + \text{CrCl}_3 + \text{H}_2\text{O}$;
- 6) $\text{FeSO}_4 + \text{ClO}_2 \rightarrow \text{SO}_3 + \text{Fe}(\text{ClO}_3)_3 + \text{FeCl}_3$;
- 7) $\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{HBrO}_3 \rightarrow \text{FeBr}_3 + \text{Fe}(\text{BrO}_3)_3 + \text{H}_2\text{O}$;
- 8) $\text{FeS}_2 + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$;
- 9) $\text{FeS} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$;
- 10) $\text{NH}_4\text{ClO}_4 + \text{Al} \rightarrow \text{N}_2 + \text{Cl}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$;
- 11) $\text{NH}_4\text{ClO}_4 + \text{SnS} \xrightarrow{t} \text{N}_2 + \text{Cl}_2 + \text{SnO}_2 + \text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}$;
- 12) $\text{PH}_4\text{I} + \text{HIO}_3 \xrightarrow{t} \text{I}_2 + \text{HPO}_3 + \text{H}_2\text{O}$;
- 13) $\text{Al} + \text{Al}(\text{NO}_3)_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{NH}_4\text{HSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$;
- 14) $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Al} + \text{NaOH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CrS} + \text{Na}_2\text{S} + \text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$;
- 15) $\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2 + \text{O}_3 + \text{K}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{KFeO}_2 + \text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{O}_2 + \text{CO}_2$;
- 16) $\text{MnSO}_4 + \text{Pb}_3\text{O}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{HMnO}_4 + \text{PbSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$;
- 17) $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_7 + \text{Ag}_2\text{S} \rightarrow \text{SO}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{Ag}_2\text{SO}_4$;
- 18) $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_7 + \text{Fe}(\text{CrO}_2)_2 \xrightarrow{t} \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{SO}_2$;
- 19) $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{Si} + \text{KOH} \rightarrow \text{NH}_3 + \text{K}_2\text{SiO}_3 + \text{H}_2\text{O}$;
- 20) $\text{KO}_2 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \xrightarrow{t} \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$;
- 21) $\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{SO}_3 \xrightarrow{t} \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{SO}_2$;
- 22) $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{Fe}(\text{CrO}_2)_2 \xrightarrow{t} \text{KCrO}_2 + \text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$;
- 23) $\text{HNO}_3 + \text{Pb}_3\text{O}_4 \xrightarrow{t} \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$;
- 24) $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_3 + \text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{KHSO}_4 + \text{O}_2$;
- 25) $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_7 \xrightarrow{t} \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{SO}_2$;
- 26) $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + \text{Na}[\text{AlH}_4] \xrightarrow{t} \text{NH}_3 + \text{PH}_3 + \text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$;
- 27) $\text{Na}[\text{AlH}_4] + \text{Al}(\text{NO}_3)_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{NaHSO}_4 + \text{NH}_4\text{HSO}_4 + \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_2\text{O}$;
- 28) $\text{KClO}_3 + \text{FeCl}_2 + \text{K}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{K}_2\text{FeO}_4 + \text{KCl} + \text{CO}_2$;
- 29) $\text{NaCl} + \text{CrO}_2\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Cl}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_2\text{O}$;
- 30) $\text{CrI}_3 + \text{NH}_4\text{NO}_3 \xrightarrow{t} \text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{I}_2 + \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$;
- 31) $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8 + \text{FeI}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \xrightarrow{t} \text{NaIO}_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{SO}_2 + \text{CO}_2$;

- 32) $\text{PbO}_2 + \text{KOH} + \text{Fe}(\text{CrO}_2)_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{K}_2[\text{Pb}(\text{OH})_4] + \text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{Fe}(\text{OH})_3$;
- 33) $\text{CaC}_2 + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \xrightarrow{t} \text{Ca}(\text{CrO}_2)_2 + \text{K}_2\text{CO}_3 + \text{C}$;
- 34) $\text{Cr}(\text{NO}_3)_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \xrightarrow{t} \text{Na}_2\text{CrO}_4 + \text{NaNO}_2 + \text{CO}_2$;
- 35) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{Fe}_3\text{O}_4 \xrightarrow{t} \text{Fe} + \text{N}_2 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$;
- 36) $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2 + (\text{CrOH})_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{BaSO}_4 + \text{NH}_4\text{HSO}_4 + [\text{Cr}(\text{OH})_2]_2\text{SO}_4 + \text{Cr}(\text{OH})_3$;
- 37) $\text{FeS}_2 + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \xrightarrow{t} \text{NaFeO}_2 + \text{KCrO}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{CO}_2$;
- 38) $\text{Ba}(\text{MnO}_4)_2 + \text{K}_2\text{S}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MnO}_2 + \text{BaSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{KOH}$;
- 39) $\text{ClO}_2 + \text{FeS} \rightarrow \text{SO}_3 + \text{FeCl}_3 + \text{Fe}(\text{ClO}_3)_3$;
- 40) $\text{ClO}_2 + \text{FeS}_2 \rightarrow \text{SO}_3 + \text{FeCl}_3 + \text{Fe}(\text{ClO}_3)_3 + \text{Cl}_2$;
- 41) $\text{Cu}_2\text{S} + \text{ClO}_2 \rightarrow \text{SO}_3 + \text{CuCl}_2 + \text{Cu}(\text{ClO}_3)_2$;
- 42) $\text{O}_3 + \text{CrSO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + \text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4$;
- 43) $\text{CuCl} + \text{HClO}_3 \rightarrow \text{CuCl}_2 + \text{Cu}(\text{ClO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O}$;
- 44) $\text{AgNO}_3 + \text{Al} + \text{KOH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ag} + \text{NH}_3 + \text{K}[\text{Al}(\text{OH})_4]$;
- 45) $\text{FeC}_2\text{O}_4 + \text{Br}_2 + \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{FeO}_4 + \text{NaBr} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$;
- 46) $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] + \text{H}_2\text{SO}_4(\text{конц.}) + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{t} \text{KHSO}_4 + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{NH}_4\text{HSO}_4 + \text{CO} + \text{SO}_2$;
- 47) $\text{FeBr}_2 + \text{HClO}_3 \rightarrow \text{Br}_2 + \text{FeCl}_3 + \text{Fe}(\text{ClO}_3)_3 + \text{H}_2\text{O}$;
- 48) $\text{NH}_4\text{NO}_2 + \text{O}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{NaNO}_3 + \text{CO}_2 + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$;
- 49) $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Mn}_3\text{O}_4 + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Mn}(\text{NO}_3)_2 + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$;
- 50) $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 + (\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HMnO}_4 + \text{HNO}_3 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$;
- 51) $\text{Sn}(\text{OH})_2 + \text{NO}_2 \rightarrow \text{Sn}(\text{NO}_3)_4 + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$;
- 52) $\text{FeSO}_4 + \text{NaMnO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MnO}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + [\text{Fe}(\text{OH})_2]_2\text{SO}_4 + (\text{FeOH})\text{SO}_4$;
- 53) $(\text{NH}_3\text{OH})_2\text{SO}_4 + \text{SnCl}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{NH}_4\text{HSO}_4 + \text{SnCl}_4 + \text{Sn}(\text{SO}_4)_2 + \text{H}_2\text{O}$;
- 54) $\text{OF}_2 + \text{NaFeO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{FeO}_4 + \text{FeF}_3 + \text{O}_2$;
- 55) $(\text{N}_2\text{H}_5)_2\text{SO}_4 + \text{NH}_4\text{ClO}_4 \xrightarrow{t} \text{N}_2 + \text{Cl}_2 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$;
- 56) $\text{Cu}(\text{BrO}_3)_2 + \text{HI} \rightarrow \text{CuI} + \text{I}_2 + \text{Br}_2 + \text{H}_2\text{O}$;
- 57) $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + \text{FeI}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{I}_2 + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$;
- 58) $\text{NH}_4\text{NCS} + \text{HNO}_3(\text{конц.}) \rightarrow \text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} + \text{NO}_2$;
- 59) $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 + \text{K}_2\text{CO}_3 \xrightarrow{t} \text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{KNO}_2 + \text{KNO}_3 + \text{CO}_2$;
- 60) $\text{CrO} + \text{Cr}(\text{NO}_3)_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \xrightarrow{t} \text{Na}_2\text{CrO}_4 + \text{NaNO}_2 + \text{CO}_2$;
- 61) $\text{Fe}(\text{NCS})_2 + \text{H}_2\text{SO}_4(\text{конц.}) \xrightarrow{t} \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{SO}_2 + \text{NH}_4\text{HSO}_4 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$;
- 62) $\text{K}_3[\text{CuI}_4] + \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_7 \xrightarrow{t} \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{CuSO}_4 + \text{SO}_2 + \text{I}_2$;
- 63) $\text{FeS}_2 + \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_7 \xrightarrow{t} \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{SO}_2$;
- 64) $\text{P}_2\text{S}_3 + (\text{NO}_2)^+(\text{ClO}_4)^- \rightarrow \text{SO}_3 + \text{P}_2\text{O}_5 + \text{N}_2 + \text{Cl}_2$;
- 65) $\text{NH}_4\text{NCS} + (\text{NO}_2)^+(\text{ClO}_4)^- \rightarrow \text{N}_2 + \text{CO}_2 + \text{SO}_3 + \text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O}$;
- 66) $(\text{NH}_4)_2\text{CrO}_4 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \xrightarrow{t} \text{N}_2 + \text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{H}_2\text{O}$;
- 67) $(\text{NO}_2)^+(\text{ClO}_4)^- + \text{P}_2\text{S}_3 \rightarrow \text{NO} + \text{Cl}_2 + \text{P}_2\text{O}_5 + \text{SO}_3$;
- 68) $\text{Mn}_3\text{O}_4 + \text{NH}_4\text{Cl} \rightarrow \text{MnCl}_2 + \text{Cl}_2 + \text{N}_2 + \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$;
- 69) $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8 + \text{BaI}_2 \xrightarrow{t} \text{BaSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{I}(\text{IO}_3)_3 + \text{SO}_2$;
- 70) $(\text{NO})^+(\text{HS}_2\text{O}_7)^- + \text{Fe}(\text{C}_5\text{H}_5)_2 \rightarrow \text{N}_2 + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{CO}_2 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$.

Литература

Берг, Л. Г. Способы подбора коэффициентов в химических уравнениях / Л. Г. Берг. — Казань : Изд-во Казанского университета, 1959.