

ПРОБЛЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ В ВЫСШЕЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ ШКОЛЕ

УДК 378.016:54

В.И. Елфимов, Е.М. Мясоедов, И.В. Степина*

*Университет машиностроения, *ФГБОУ ВПО «МГСУ»*

НЕКОТОРЫЕ НОВЫЕ ПОДХОДЫ К СОСТАВЛЕНИЮ УРАВНЕНИЙ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РЕАКЦИЙ

Приведен критический анализ некоторых недостатков в изложении темы «Окислительно-восстановительные реакции» (ОВР) в современном вузовском курсе химии. Предложены новые подходы к методике преподавания этой темы. При составлении уравнений ОВР методом электронно-ионного баланса предпочтительно принимать за основу изменение степеней окисления, а не баланс по зарядам ионов. В схеме любой ОВР, если она происходит в растворе и можно предположить образование более одного сильного электролита с разным сочетанием ионов, продукты в принципе нельзя указывать в молекулярной форме. Уравнения ОВР, в которых имеются два восстановителя (или два окислителя), представляющие собой разные вещества, или в результате которых образуется по два продукта окисления или восстановления, некорректны, так как отражают параллельные реакции.

Ключевые слова: окислительно-восстановительные реакции, степень окисления, окислитель, восстановитель, окисление, восстановление, электронный баланс, электрон, электронно-ионный баланс, перенос электронов.

Процессы окисления-восстановления рассматриваются при изучении курса «Химия» во всех технических вузах, по всем инженерно-техническим направлениям подготовки бакалавров и специалистов очной и заочной форм обучения. Это связано с тем, что тема «Окислительно-восстановительные реакции» (ОВР) является основополагающей при изучении предметов, связанных с химией и технологией металлов и сплавов, электрохимией, процессами коррозии металлов и способами защиты от нее, некоторыми вопросами экологии, состояния атмосферы и водной среды. В этой связи формирование у студентов глубокого понимания основ окислительно-восстановительного взаимодействия веществ и ионов является актуальной задачей современного образования, а также залогом дальнейшего успешного обучения.

Вопросы, связанные с методами составления ОВР, достаточно подробно рассматриваются во всех общеизвестных учебниках и учебных пособиях для высшей школы, при этом применяются традиционные стандартные схемы и методики. Однако на некоторые вопросы авторы данной статьи предлагают обратить особое внимание как преподавателям, так и студентам, изучающим данную тему.

Известно, что при изучении темы ОВР исходными являются такие понятия, как степень окисления, процессы окисления и восстановления, восстановитель и окислитель. К сожалению, в большинстве учебников и учебных по-

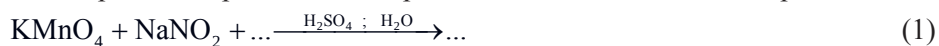
событий, например [1—4], которые широко применяются в технических вузах, в т.ч. в МГСУ, МАМИ, МЭИ, МГТУ и др., определение этих понятий дается без их достаточной логической взаимосвязи, при этом за основу берется принятие или отдача электронов. Так, понятие «окисление» формулируется как процесс отдачи электронов, а «восстановление» — как процесс присоединения электронов. Понятие «окислитель» — частица, принимающая электроны, а «восстановитель» — отдающая [1—4]. Запомнить это сразу непросто, отсюда у студентов часто возникает путаница понятий.

Поскольку при описании ОВР пользуются понятием степени окисления, то именно его и следует взять за основу. Логическую цепочку удобно начать с понятия процесса окисления: окисление — процесс, связанный с увеличением степени окисления, определение однозначное и очевидное. А отсюда следует, что восстановление (в противоположность окислению) — процесс, связанный с уменьшением степени окисления. Восстановитель — вещество, которое окисляется, а окислитель — которое восстанавливается. А в каком случае электроны принимаются или отдаются, нетрудно сообразить и даже необязательно это запоминать.

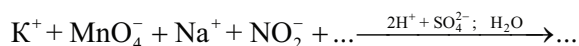
Как известно, стехиометрические коэффициенты в уравнениях ОВР подбирают с помощью одного из методов: электронного баланса (электронных уравнений); электронно-ионного баланса (электронно-ионных уравнений, электронно-ионных полуреакций) [5—11].

Несомненно, что для реакций в водных растворах метод электронно-ионного баланса предпочтителен. Однако у него есть одно достоинство, которое может иногда обернуться недостатком: в этом методе можно вообще не пользоваться понятием степени окисления [12—14]. Сущность процесса окисления-восстановления при этом нивелируется, поскольку число передаваемых электронов определяется только по балансу зарядов ионов и не связывается с изменением степени окисления. Поэтому при составлении уравнений ОВР в водных растворах методом электронно-ионного баланса за основу предлагается принимать именно подсчет числа переданных электронов по изменению степеней окисления атомов, входящих в состав ионов и молекул. Подсчет по балансу заряда более правомерен, когда понятие степени окисления становится слишком формальным, например, при участии в ОВР многих органических соединений [15—17].

Рассмотрим в качестве примера известную реакцию между перманганатом калия и нитритом натрия в кислой среде. Наиболее общая схема процесса



Ионная форма:



Сразу не ясно, будут ли расходоваться или образовываться в результате реакции катионы H^+ и молекулы воды, поэтому они пока введены в схему реакции условно. Однозначно лишь одно — присутствует кислота, поэтому участие гидроксид-ионов в реакции исключено. Также неясно, какие молекулы составят участвующие и образующиеся в результате реакции ионы.

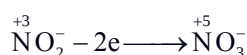
Известно, что в кислой среде ион MnO_4^- изменяется до иона Mn^{2+} , а вот преобразование иона NO_2^- в ион NO_3^- или молекулу NO_2 равновероятно (потенциалы восстановления соответственно 0,84 и 0,88 В) и зависит от условий (температура, pH раствора). Рассмотрим далее образование иона NO_3^- .

Начнем с определения степеней окисления атомов в изменяющихся в процессе ионах, т.е. выявления окислителя и восстановителя:



где атом Mn — окислитель (уменьшает степень окисления); N — восстановитель.

Далее рассмотрим полуреакцию окисления восстановителя. Из разности степеней окисления N и N число отдаваемых электронов равно двум:



Затем в правую часть введем два иона водорода (так как справа — один избыточный атом кислорода), а в левую, соответственно, одну молекулу воды:



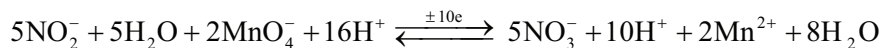
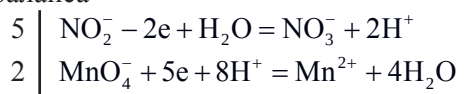
Проверим баланс заряда: $-1 - (-2) = -1 + 2$.

По той же схеме рассмотрим полуреакцию восстановления окислителя. По разности степеней окисления Mn и Mn число принимаемых окислителем электронов равно пяти: $\overset{+7}{\text{MnO}_4^-} + 5e \longrightarrow \overset{+2}{\text{Mn}}$

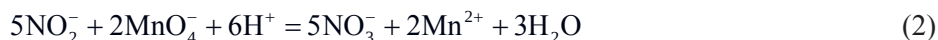
В левой части уравнения четыре «лишних» атома кислорода, введем сюда вдвое больше, т.е. 8 катионов H^+ , тогда в правой части должно появиться 4 молекулы воды: $\text{MnO}_4^- + 5e + 8\text{H}^+ = \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$

Проверим баланс заряда: $-1 + 5(-1) + 8 = +2$.

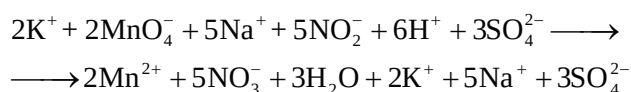
Далее с помощью множителей уравниваем число принятых и отданных электронов и суммируем полуреакции, получая уравнение ионно-электронного баланса



Сократив на 10H^+ и $5\text{H}_2\text{O}$, получим ионно-молекулярное уравнение



В соответствии с заданной схемой реакции (1), добавим к левой части уравнения (2) ионы, необходимые для образования соответствующих молекул: 2K^+ , 5Na^+ , 3SO_4^{2-} . Те же ионы добавим к правой части. В результате получим уравнение реакции в ионно-молекулярной форме



Составим теперь молекулярное уравнение:



Для окончательной уверенности в правильности составления последнего уравнения проверим его баланс по кислороду:

$$2 \cdot 4 + 5 \cdot 2 + 3 \cdot 4 = 2 \cdot 4 + 5 \cdot 3 + 3 \cdot 1 + 1 \cdot 4.$$

Левая часть молекулярного уравнения (3) не может быть записана иначе, так как при проведении реакции использовали именно растворы таких веществ. А вот однозначна ли запись правой части уравнения? Кроме H_2O , ионы, получающиеся в результате реакции, не образуют ни слабых электролитов, ни малорастворимых соединений. Поэтому представление их в виде молекул таких сильных электролитов, как MnSO_4 , NaNO_3 , K_2SO_4 абсолютно условно, так как в реакционной смеси нет ни одной такой молекулы. С равным успехом правую часть молекулярного уравнения (3) можно было бы представить как

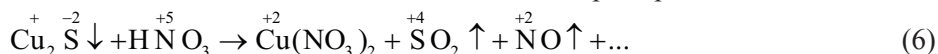


или $\dots = \text{Mn}(\text{NO}_3)_2 + \text{MnSO}_4 + 2\text{KNO}_3 + \text{NaNO}_3 + 3\text{H}_2\text{O} + 2\text{Na}_2\text{SO}_4$ (5) и т.п.

В какой молекулярной форме можно представить продукты рассмотренной схемы реакции (2): как (3), (4), (5) и т.п., не имеет никакого принципиального значения.

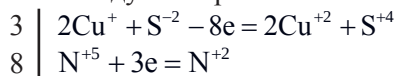
Поэтому в схеме любой ОВР, если она происходит в растворе, и можно предположить образование более одного сильного электролита с разным сочетанием ионов, продукты в принципе нельзя указывать в молекулярной форме [18, 19].

Нередко в учебных пособиях и заданиях для самостоятельной работы встречаются такие реакции, где в качестве восстановителя выступает вещество, в котором атомы нескольких разных элементов в процессе реакции одновременно окисляются или восстанавливаются. Например:

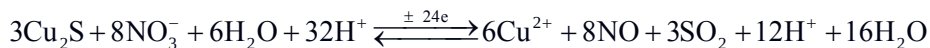
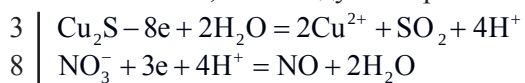


Особенность составления уравнений подобных реакций состоит в том, что атомы вещества-восстановителя (Cu_2S) должны рассматриваться лишь в совокупности и в том соотношении, в котором они содержатся в молекуле.

По методу электронного баланса:



Соответственно, по методу электронно-ионного баланса:



После сокращения на $6\text{H}_2\text{O}$ и 12H^{+} :



В соответствии с заданной схемой реакции (6), добавим к правой части уравнения (7) еще 12 ионов NO_3^{-} , необходимых для образования 6 молекул $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$. Эти же ионы добавим в левую часть реакции.

Молекулярная форма в данном случае однозначна:



Однако в ряде случаев предлагается написать уравнения ОВР, где присутствуют два восстановителя (или два окислителя), представляющие собой разные вещества, или где в результате образуются по два продукта окисления или восстановления. Например, в [20] предлагается такая схема:



Здесь атомы кислорода $\overset{-2}{\text{O}}$ воды окисляются фтором одновременно и до атомов $\overset{+2}{\text{O}}$ и до атомов $\overset{-1}{\text{O}}$.

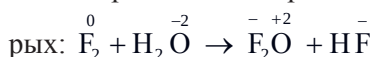
Оказывается, что для такой реакции можно составить не одно, а множество уравнений! Стехиометрические коэффициенты некоторых из них приведены в табл. 1.

Табл. 1. Стехиометрические коэффициенты некоторых из уравнений ОВР

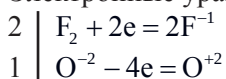
Стехиометрические коэффициенты					№ уравнения
Исходные вещества		Продукты реакции			
F ₂	H ₂ O	F ₂ O	HF	H ₂ O ₂	
3	3	1	4	1	(9)
5	4	2	6	1	(10)
4	5	1	6	2	(11)

Причина такой «множественности» заключается в некорректности условия.

Рассмотрим схему реакции (8) (поскольку сильные электролиты здесь отсутствуют, уравнение удобнее составлять методом электронного баланса). Схема предполагает протекание двух параллельных процессов, один из кото-



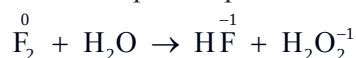
Электронные уравнения



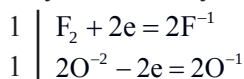
Молекулярное уравнение



Схема второго параллельного процесса



Ему соответствуют электронные уравнения



и молекулярное уравнение



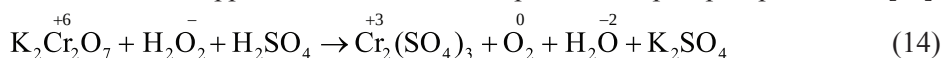
Реакции (12) и (13) протекают независимо друг от друга, и выход по каждой из них определяется условиями проведения. Если предположить, что выход F_2O и H_2O_2 в молярном отношении одинаков, то, суммируя уравнения (12) и (13), получим коэффициенты уравнения (9).

При вдвое большем выходе F_2O суммируем удвоенное уравнение (12) и уравнение (13) и получаем коэффициенты уравнения (10), а если вдвое больше

выход H_2O_2 , суммирование уравнения (12) и удвоенного уравнения (13) приводит к коэффициентам уравнения (11) и т.п.

Скорее всего, соотношение концентраций F_2O и H_2O_2 может оказаться нецелым числом. Поэтому суммарное уравнение по схеме (8) лишено физического смысла, и предлагать составление такого уравнения вообще некорректно.

Аналогично некорректной является схема реакции из распространенного [21]:



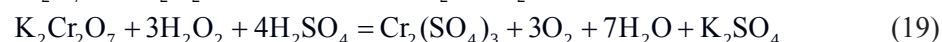
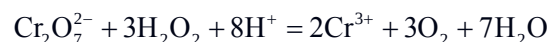
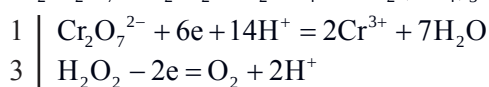
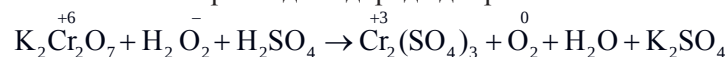
Некоторые наборы стехиометрических коэффициентов для которой приведены в табл. 2.

Табл. 2. Стехиометрические коэффициенты схемы реакции из [21]

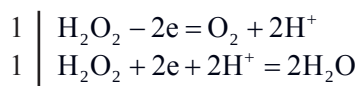
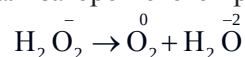
Стехиометрические коэффициенты							№ уравнения
Исходные вещества			Продукты реакции				
K ₂ Cr ₂ O ₇	H ₂ O ₂	H ₂ SO ₄	Cr ₂ (SO ₄) ₃	O ₂	H ₂ O	K ₂ SO ₄	
1	3	4	1	3	7	1	(15)
1	5	4	1	4	9	1	(16)
1	7	4	1	5	11	1	(17)
2	8	8	2	7	16	2	(18)

Реакция по схеме (14) также представляет собой две одновременно протекающие реакции.

1. Окисление пероксида водорода дихроматом калия по схеме:



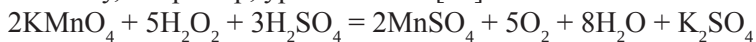
2. Диспропорционирование пероксида водорода (дихромат калия является катализатором этого процесса):



Как и в предыдущем примере, в зависимости от условий выход по реакциям (19) и (20) будет разным, коэффициенты в суммарном уравнении по схеме (11) можно получить так же разные. Например, при отсутствии диспропорционирования H_2O_2 получим уравнение (15), при равном мольном выходе O_2 по реакциям (19) и (20) получим уравнение (16), при удвоенном выходе по (19) — уравнение (17), при удвоенном выходе по (20) — уравнение (18) и т.п. Таким образом, соотношение исходных концентраций $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ и H_2O_2 может быть в зависимости от условий каким угодно и, скорее всего, нецелым числом. Таким образом, схема (14) так же некорректна.

Аналогично можно рассмотреть процесс окисления пероксида водорода другими сильными окислителями, являющимися одновременно катализаторами процесса диспропорционирования пероксида водорода, например, перманганатом калия или другими соединениями d-элементов.

Поэтому, например, уравнение из [22]:



также не описывает однозначно протекающий процесс [23—24].

Можно было бы привести и многие другие подобные примеры.

Выводы. Предложенные методические разработки направлены не только на улучшение подачи материала по теме ОВР с целью обучения студентов составлению уравнений, но и на углубление понимания сущности окислительно-восстановительных процессов и их особенностей. При составлении уравнений ОВР методом электронно-ионного баланса предпочтительно принимать за основу изменение степеней окисления, а не баланс по заряду. В схеме любой ОВР, если она происходит в растворе и можно предположить образование более одного сильного электролита с разным сочетанием ионов, продукты в принципе нельзя указывать в молекулярной форме. Уравнения ОВР, в которых имеются два восстановителя (или два окислителя), представляющие собой разные вещества, или в результате которых образуется по два продукта окисления или восстановления, некорректны, так как отражают параллельные реакции.

Библиографический список

1. Глинка Н.Л. Общая химия : учеб. пособие. Изд. стер. М. : ХНОРУС, 2014. 752 с.
2. Коровин Н.В. Общая химия : учебник. М. : Высш. шк., 2010. 560 с.
3. Сидоров В.И., Платонова Е.Е., Никифорова Т.П. Общая химия : учебник. М. : Изд-во АСВ, 2012. 312 с.
4. Росин И.В., Томина Л.Д. Общая и неорганическая химия. Современный курс : учеб. пособие для бакалавров и специалистов. М. : Юрайт, 2012. 1338 с.
5. Беляев Н.Н., Тихонова Е.Г. Еще раз об определении коэффициентов в уравнениях окислительно-восстановительных реакций // Химия в школе. 2005. № 3. С. 41—45.
6. Моляко М.А. Рекомендации при составлении сложных окислительно-восстановительных реакций // Интеграция науки и высшего образования в области органической и биоорганической химии и механики многофазных систем : материалы II Всеросс. науч. Internet-конф. (г. Уфа, 15—30 декабря 2003 г.). Уфа : Реактив, 2003. С. 156—157.
7. Кочкаров Ж.А., Черкесов Б.Х. Протонно-ионный метод составления уравнений окислительно-восстановительных реакций // Химия: методика преподавания. 2005. № 7. С. 48—50.
8. Черкесов Б.Х., Кочкаров Ж.А., Хочуев И.Ю. Метод нулевого заряда составления уравнений окислительно-восстановительных реакций // Химия: методика преподавания. 2005. № 6. С. 46—50.
9. Третьякова И.А. Категория «сопряжение» как методологическая основа для понимания сущности окислительно-восстановительных реакций // Фундаментальные исследования. 2014. № 6—6. С. 1290—1294.
10. Болдырев В.С., Писаревский А.А. Об особенностях составления окислительно-восстановительных уравнений // Актуальные проблемы химического и экологического образования : сб. науч. тр. 60 Всеросс. науч.-практ. конф. химиков с Междунар. участием (г. Санкт-Петербург, 18—20 апреля 2013 г.). СПб., 2013. С. 321—324.

11. *Таутова Е.Н., Хамитова А.С., Турсунбаева А.К.* Инновационная методика изучения окислительно-восстановительных реакций // Университет Еңбектері — Труды Университета. 2011. № 2 (43). С. 11—13.
12. *Масленникова Л.В.* К методике изучения окислительно-восстановительных реакций // Химия в школе. 2013. № 9. С. 29—32.
13. *Гареев И.Н., Григорьева О.С.* Выбор оптимального метода составления окислительно-восстановительных реакций при изучении курса «Общая химия» // Проблемы и перспективы развития образования: материалы Междунар. заоч. науч. конф. (г. Пермь, апрель 2011 г.). Т. 2 / под ред. Г.Д. Ахметовой. Пермь : Меркурий, 2011. С. 58—60.
14. *Лебешева С.П.* Окислительно-восстановительные реакции // Химия. 2006. № 14. Режим доступа: <http://him.1september.ru/article.php?ID=200601408>. Дата обращения: 15.02.2015.
15. *Горелова И.И.* Использование «метода подстановки» при составлении окислительно-восстановительных реакций (ОВР) с участием органических веществ // Вопросы гуманитарных наук. 2010. Т. 1. № 1. С. 169—172.
16. *Максимова Л.Н., Пожидаева С.А.* Окислительно-восстановительные реакции с участием органических соединений // Педагогические чтения по общей и неорганической химии : материалы XI регион. науч.-метод. конф. (г. Новочеркасск, 18—19 мая 2006 г.) : посвящаются 100-летию ЮРГТУ (НПУ) и каф. общ. неорг. химии ЮРГТУ (НПУ). Новочеркасск : ЮРГТУ (НПУ), 2006. С. 91—93.
17. *Кузнецова Л.В., Пащикова Л.И., Власенко К.К.* Особенности окислительно-восстановительных реакций органических соединений // Химия в школе. 2012. № 9. С. 26—30.
18. *Бабкина С.С., Елфимов В.И., Мясоедов Е.М.* Повышение качества преподавания общеобразовательных химических дисциплин в высшей школе с применением компьютерных технологий // Развитие науки и образования. Проблемы преподавания в высшей школе : материалы Междунар. науч.-метод. конф. : в 2 т. М. : Изд-во МГОУ, 2011. Т. 2. С. 220—225.
19. *Елфимов В.И., Мясоедов Е.М.* Окислительно-восстановительные реакции. Некоторые неоднозначные задания и методы их решения // Поиск эффективных решений в процессе создания и реализации научных разработок в экономике, управлении проектами, праве, истории, культурологии, языкознании, природопользовании, растениеводстве, биологии, зоологии, химии, политологии, психологии, медицине, филологии, философии, социологии, математике, технике, физике, информатике, градостроительстве : сб. науч. ст. по итогам Междунар. науч.-практ. конф. (г. Санкт-Петербург, 30—31 июля 2014 г.). СПб. : КультИнформПресс, 2014. С. 45—49.
20. *Кузьменко Н.Е., Еремин В.В., Попков В.А.* Начала химии. Современный курс для поступающих в ВУЗы. М. : Экзамен, 2013. 384 с.
21. *Шиманович И.Л.* Общая и неорганическая химия : методические указания, программа, элементы теории, вопросы для самопроверки и контрольные задания для студентов-заочников химико-технологических специальностей вузов. М. : Высш. шк., 2009. 128 с.
22. *Ахметов Н.С.* Общая и неорганическая химия. М. : Высш. шк., 2006. 744 с.

Поступила в редакцию в сентябре 2014 г.

Об авторах: **Елфимов Валерий Иванович** — кандидат химических наук, доцент, профессор кафедры общей и аналитической химии, **Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ) (Университет машиностроения)**, 107023, г. Москва, ул. Большая Семеновская, д. 38, elfimovvi@mail.ru;

Мясоедов Евгений Михайлович — кандидат химических наук, доцент, профессор кафедры общей и аналитической химии, **Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ) (Университет машиностроения)**, 107023, г. Москва, ул. Большая Семеновская, д. 38; профессор кафедры общей химии, **Московский государственный строительный университет (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, emm@list.ru;

Степина Ирина Васильевна — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры общей химии, **Московский государственный строительный университет (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, sudeykina@mail.ru.

Для цитирования: Елфимов В.И., Мясоедов Е.М., Степина И.В. Некоторые новые подходы к составлению уравнений окислительно-восстановительных реакций // Вестник МГСУ. 2015. № 3. С. 108—118.

V.I. Elfimov, E.M. Myasoedov, I.V. Stepina

SOME NEW APPROACHES TO GENERATING THE REDOX REACTIONS EQUATIONS

The paper presents a critical analysis of the major deficiencies in the presentation of the topic "redox reaction" in a modern high school chemistry course. The authors propose new methodological approaches to teaching of this subject. When generating the redox equations by electron-ion balance it is preferable to take the change in the oxidation as the basis, but not the balance of ion charge. The circuit of any redox reaction, if it takes place in a solution and can assume the formation of more than one strong electrolyte with different ions combinations, the products cannot be specified in molecular form. The equations of redox reactions, in which there are two reducing agent (or two oxidizer), which represent different substances, or as a result of which two products of oxidation or reduction are formed, are incorrect, as they reflect the parallel reactions.

Key words: redox reaction, oxidation degree, oxidizing agent, reducing agent, oxidation, reduction, electron balance, electron, electron-ion balance, electron transport.

References

1. Glinka N.L. *Obshchaya khimiya : uchebnoe posobie* [General Chemistry: Textbook]. Moscow, KNORUS Publ., 2014, 752 p. (In Russian)
2. Korovin N.V. *Obshchaya khimiya : uchebnik* [General Chemistry: Textbook]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2010, 560 p. (In Russian)
3. Sidorov V.I., Platonova E.E., Nikiforova T.P. *Obshchaya khimiya : uchebnik* [General Chemistry: Textbook]. Moscow, ASV Publ., 2012, 312 p. (In Russian)
4. Rosin I.V., Tomina L.D. *Obshchaya i neorganicheskaya khimiya. Sovremennyy kurs : uchebnoe posobie dlya bakalavrov i spetsialistov* [General and Inorganic Chemistry. Modern Course. Textbook for Bachelors and Specialists]. Moscow, Yurayt Publ., 2012, 1338 p. (In Russian)
5. Belyaev N.N., Tikhonova E.G. Eshche raz ob opredelenii koeffitsientov v uravneniyakh oksiditel'no-vosstanovitel'nykh reaktsiy [Once Again on the Determination of the Coefficients in the Equations of Redox Reactions]. *Khimiya v shkole* [Chemistry at School]. 2005, no. 3, pp. 41—45. (In Russian)
6. Molyavko M.A. Rekomendatsii pri sostavlenii slozhnykh oksiditel'no-vosstanovitel'nykh reaktsiy [Recommendations for the preparation of complex redox reactions]. *Integratsiya nauki i vysshego obrazovaniya v oblasti organicheskoy i bioorganicheskoy khimii i mekhaniki mnogofaznykh sistem : materialy II Vserossiyskoy nauchnoy Internet-konferentsii (g. Ufa, 15—30 dekabrya 2003 g.)* [Integration of Science and Higher Education in the Field of Organic and Bioorganic Chemistry and Mechanics of Multiphase Systems : Materials of the 2nd All-Russian Scientific Internet Conference (Ufa, December 15—30, 2003)]. Ufa, Reactiv Publ., 2003, pp. 156—157. (In Russian)

7. Kochkarov Zh.A., Cherkesov B.Kh. Protonno-ionnyy metod sostavleniya uravneniy oksislitel'no-vosstanovitel'nykh reaktsiy [Proton-Ion Method of Generating the Equations of Redox Reactions]. *Khimiya: metodika prepodavaniya* [Chemistry: Teaching Methods]. 2005, no. 7, pp. 48—50. (In Russian)
8. Cherkesov B.Kh., Kochkarov Zh.A., Khochuev I.Yu. Metod nulevogo zaryada sostavleniya uravneniy oksislitel'no-vosstanovitel'nykh reaktsiy [Method of Zero Charge in Generating the Equations of Redox Reactions]. *Khimiya: metodika prepodavaniya* [Chemistry: Teaching Methods]. 2005, no. 6, pp. 46—50. (In Russian)
9. Tret'yakova I.A. Kategoriya «sopryazhenie» kak metodologicheskaya osnova dlya ponimaniya sushchnosti oksislitel'no-vosstanovitel'nykh reaktsiy [The category of «pairing» as a methodological basis for understanding of redox reactions]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Basic Research]. 2014, no. 6—6, pp. 1290—1294. (In Russian)
10. Boldyrev V.S., Pisarevskiy A.A. Ob osobennostyakh sostavleniya oksislitel'no-vosstanovitel'nykh uravneniy [On Peculiarities of Generating Redox Equations]. *Aktual'nye problemy khimicheskogo i ekologicheskogo obrazovaniya : sbornik nauchnykh trudov 60 Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii khimikov s Mezhdunarodnym uchastiem (g. Sankt-Peterburg, 18—20 aprelya 2013 g.)*. [Current Problems of Chemical and Environmental Education : Collection of Scientific Works of the 60th All-Russian Science and Practice Conference of Chemists with International Participation (Saint Petersburg, April 18—20, 2013)]. Saint Petersburg, 2013, pp. 321—324. (In Russian)
11. Tautova E.N., Khamitova A.S., Tursunbaeva A.K. Innovatsionnaya metodika izucheniya oksislitel'no-vosstanovitel'nykh reaktsiy [The Innovative Technique of Studying Redox Reactions]. *Universitet Ekspakteri — Trudy Universiteta* [The University Ekspakteri. Proceedings of the University]. 2011, no. 2 (43), pp. 11—13. (In Russian)
12. Maslennikova L.V. K metodike izucheniya oksislitel'no-vosstanovitel'nykh reaktsiy [On the Methods of Studying Redox Reactions]. *Khimiya v shkole* [Chemistry at school]. 2013, no. 9, pp. 29—32. (In Russian)
13. Gareev I.N., Grigor'eva O.S. Vybor optimal'nogo metoda sostavleniya oksislitel'no-vosstanovitel'nykh reaktsiy pri izuchenii kursa «Obshchaya khimiya» [Choosing the optimal method of redox reactions preparation in the study course “General Chemistry”]. *Problemy i perspektivy razvitiya obrazovaniya: materialy Mezhdunarodnoy zaochnoy nauchnoy konferentsii (g. Perm', april' 2011 g.)*. [Problems and Prospects of Education Development: Proceedings of the International Scientific Video Conference (Perm, April 2011)]. Vol. 2. Perm, Merkurij Publ., 2011, pp. 58—60. (In Russian)
14. Lebesheva S.P. Oksislitel'no-vosstanovitel'nye reaktsii [Redox Reactions]. *Khimiya* [Chemistry]. 2006, no. 14. Available at: <http://him.1september.ru/article.php?ID=200601408>. Date of access: 15.02.2015. (In Russian)
15. Gorelova I.I. Ispol'zovanie «metoda podstanovki» pri sostavlenii oksislitel'no-vosstanovitel'nykh reaktsiy (OVR) s uchastiem organicheskikh veshchestv [Using the “Substitution Method” in the Preparation of Redox Reactions with Organic Substances]. *Voprosy gumanitarnykh nauk* [Questions of Humanities]. 2010, vol. 1, no. 1, pp. 169—172. (In Russian)
16. Maksimova L.N., Pozhidaeva S.A. Oksislitel'no-vosstanovitel'nye reaktsii s uchastiem organicheskikh soedineniy [Redox Reactions Involving Organic Compounds]. *Pedagogicheskie chteniya po obshchey i neorganicheskoy khimii : materialy XI regional'noy nauchno-metodicheskoy konferentsii (g. Novocherkassk, 18—19 maya 2006 g.) : posvyaschayutsya 100-letiyu YuRGU (NPU) i kafedre obshchey neorganicheskoy khimii YuRGU (NPU)* [Pedagogical Readings in General and Inorganic Chemistry: Materials of the 11th Regional Research and Methodology Conference (Novocherkassk, May 18—19, 2006) : Devoted to 100 Anniversary of Yurgtu (NPU) and the Department of General Inorganic Chemistry of YuRGU (NPU)]. Novocherkassk, YuRGU (NPU) Publ., 2006, pp. 91—93. (In Russian)
17. Kuznetsova L.V., Pashkova L.I., Vlasenko K.K. Osobennosti oksislitel'no-vosstanovitel'nykh reaktsiy organicheskikh soedineniy [Features of Redox Reactions of Organic Compounds]. *Khimiya v shkole* [Chemistry at School]. 2012, no. 9, pp. 26—30. (In Russian)
18. Babkina S.S., Elfimov V.I., Myasoedov E.M. Povyshenie kachestva prepodavaniya obshcheobrazovatel'nykh khimicheskikh distsiplin v vysshey shkole s primeneniem komp'yuternykh tekhnologiy [Improving the Quality of Teaching Secondary Chemical Disciplines in Higher School With the Use of Computer Technologies]. *Razvitie nauki i obrazovaniya. Problemy prepodavaniya v vysshey shkole : materialy Mezhdunarodnoy nauchno-metod-*

icheskey konferentsii : v 2-kh tomakh [The Development of Science and Education. Problems of Teaching in Higher School. Proceedings of the International Research and Methodology Conference : in 2 Volumes]. Moscow, MGOU Publ., 2011, vol. 2, pp. 220—225. (In Russian)

19. Elfimov V.I., Myasoedov E.M. Okislitel'no-vosstanovitel'nye reaktsii. Nekotorye neodnoznachnye zadaniya i metody ikh resheniya [Redox Reactions. Some Ambiguous Tasks and Methods of their Solution]. *Poisk effektivnykh resheniy v protsesse sozdaniya i realizatsii nauchnykh razrabotok v ekonomike, upravlenii proektami, prave, istorii, kul'turologii, yazykoznanii, prirodopol'zovaniy, rastenievodstve, biologii, zoologii, khimii, politologii, psikhologii, meditsine, filologii, filosofii, sotsiologii, matematike, tekhnike, fizike, informatike, gradostroitel'stve : sbornik nauchnykh statey po itogam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (g. Sankt-Peterburg, 30—31 iyulya 2014 g.)* [The Search for Effective Solutions in the Process of Creating and Implementing Scientific Developments in the Economy, Project Management, Law, History, Cultural Studies, Linguistics, Nature Management, Plant Science, Biology, Zoology, Chemistry, Political Science, Psychology, Medicine, Philology, Philosophy, Sociology, Mathematics, Engineering, Physics, Computer Science, Urban Planning : Collection of Scientific Articles of International Science and Practice Conference (St. Petersburg, July 30—31, 2014)]. Saint Petersburg, Kul'tinformPress Publ., 2014, pp. 45—49. (In Russian)

20. Kuz'menko N.E., Eremin V.V., Popkov V.A. *Nachala khimii. Sovremennyy kurs dlya postupayushchikh v VUZy* [Origins of Chemistry. Current Course for Entrants to Higher Institutions]. Moscow, Ekzamen Publ., 2013, 384 p. (In Russian)

21. Shimanovich I.L. *Obshchaya i neorganicheskaya khimiya : metodicheskie ukazaniya, programma, elementy teorii, voprosy dlya samoproverki i kontrol'nye zadaniya dlya studentov-zaochnikov khimiko-tekhnologicheskikh spetsial'nostey vuzov* [General and Inorganic Chemistry: Guidelines, Program, Elements of the Theory, Questions for Self-Control and Tasks for Part-Time Students of Chemical and Technological Specialties]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2009, 128 p. (In Russian)

22. Akhmetov N.S. *Obshchaya i neorganicheskaya khimiya* [General and Inorganic Chemistry]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2006, 744 p. (In Russian)

About the authors: **Elfimov Valeriy Ivanovich** — Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Department of General and Analytical Chemistry, **Moscow State University of Mechanical Engineering (MAMI)**, 38 Bol'shaya Semenovskaya str., Moscow, 107023, Russian Federation; elfimovvi@mail.ru;

Myasoedov Evgeniy Mikhaylovich — Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Department of General Chemistry, **Moscow State University of Mechanical Engineering (MAMI)**, 38 Bol'shaya Semenovskaya str., Moscow, 107023, Russian Federation; **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; emm@list.ru;

Stepina Irina Vasil'evna — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of General Chemistry, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; sudeykina@mail.ru.

For citation: Elfimov V.I., Myasoedov E.M., Stepina I.V. Nekotorye novye podkhody k sostavleniyu uravneniy okislitel'no-vosstanovitel'nykh reaktsiy [Some New Approaches to Generating the Redox Reactions Equations]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2015, no. 3, pp. 108—118. (In Russian)