



УДК 669+620.193

**А. Шульчус**

*Каунасский технологический университет, г. Каунас, Литовская Республика*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНЕМОНИЧЕСКИХ СХЕМ И РАССЧЁТ ЭДС ПРИ ИЗУЧЕНИИ РАСТВОРЕНИЯ МЕТАЛЛОВ В АЗОТНОЙ КИСЛОТЕ**

Важную роль среди всех химических процессов играют окислительно-восстановительные реакции (ОВР). Они охватывают разнообразные процессы и явления: дыхание и фотосинтез включают стадии окисления и восстановления, процессы сжигания обеспечивают основную часть энергопотребления и работу транспорта, а в химической энергетике, металлургии и электролизе ОВР играют ключевую роль.

Но в курсе химии при изучении ОВР всё ограничивается только использованием ряда активности металлов, метода электронного или электронно-ионного баланса и написанием уравнений реакций [1-3]. Для студентов трудными реакциями являются окислительно-восстановительные реакции, протекающие при растворении металлов в серной [4] и особенно в азотной кислоте, потому, что выделяются различные газообразные продукты:  $N_2O$ ,  $N_2$ ,  $NO$ ,  $NO_2$ ,  $NH_3$  [5, 6] и  $H_2$  [6, 7]. Мотивированные студенты при изучении ОВР должны обратить внимание на три задачи, а именно им следует уметь:

- 1) правильно написать и уравнять окислительно-восстановительные реакции;
- 2) рассчитать электродвижущую силу (ЭДС) реакции;
- 3) указать термодинамическую возможность [8] протекания ОВР.

Обычно в школах и вузах обращают внимание только на первую задачу. Но и составление и уравнение ОВР у учащихся вызывают большие трудности. Поэтому преподаватели применяют различные методы, облегчающие решение первого фактора. Одним из методов являются мнемонические схемы (схемы запоминания), например схема Курушкина [9], облегчающая изучение растворения металлов в азотной кислоте. Но схема Курушкина имеет два ограничения:

- в ряде активности металлов в качестве опорной точки Курушкин принимает металл Cd (все металлы, чей стандартный потенциал меньше  $\varphi^\circ(Cd^{2+}/Cd) = -0,40$  В, относятся к активным);
- в его схеме в реакциях растворения металлов в азотной кислоте выделены не все газообразные продукты.

Этих ограничений лишены мнемонические схемы для запоминания (рис. 1), используемые в Каунасском технологическом университете. Схемы более года студентами успешно используются в учебном процессе при изучении растворения металлов в азотной кислоте.

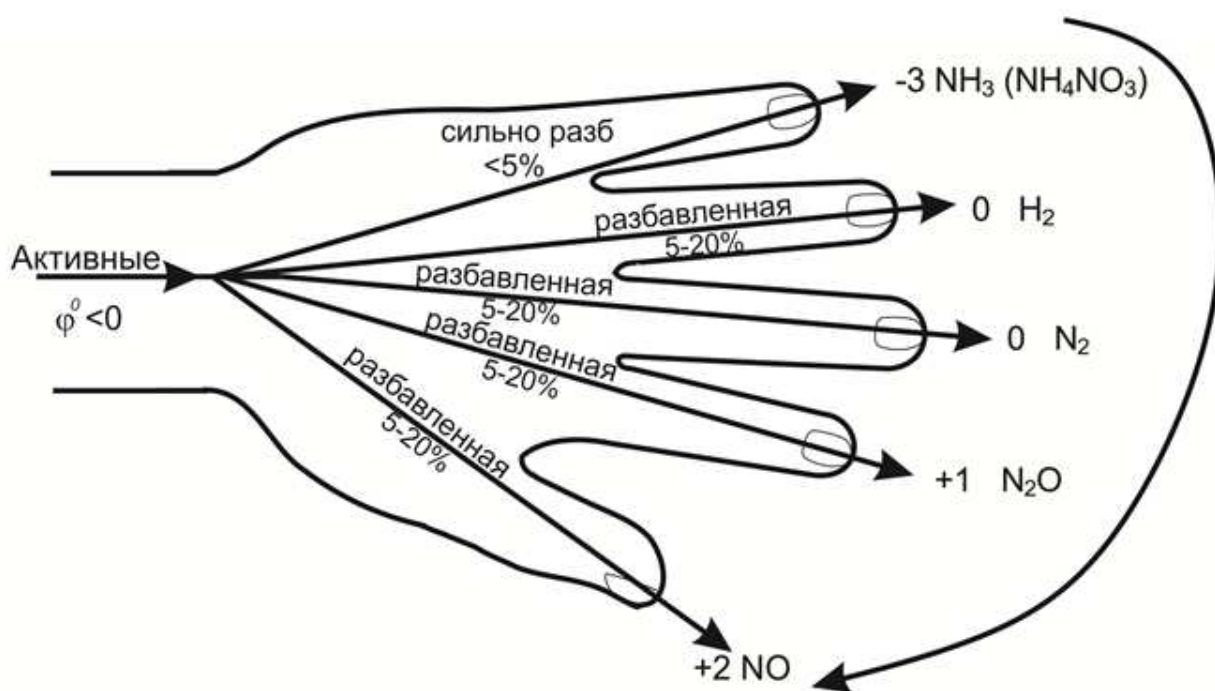
Основу мнемонических схем определяют два фактора;

- 1) значение стандартного потенциала определяет активность металла: если  $\varphi^\circ > 0$  – металлы активные, если  $\varphi^\circ < 0$  – неактивные;
- 2) азотная кислота разделяется на три группы: очень разбавленная (концентрация менее 5 %); разбавленная (концентрация 5–20 %) и концентрированная (концентрация 60–70 %).

Для разбавленной азотной кислоты и активных металлов используется левая рука (рис. 1а), а для неактивных металлов и концентрированной азотной кислоты – правая рука (рис. 1б). В правой части мнемонических схем по часовой стрелке в сторону увеличения написаны степени окисления и химические формулы газов, соответствующие этим степеням окисления.



а



б

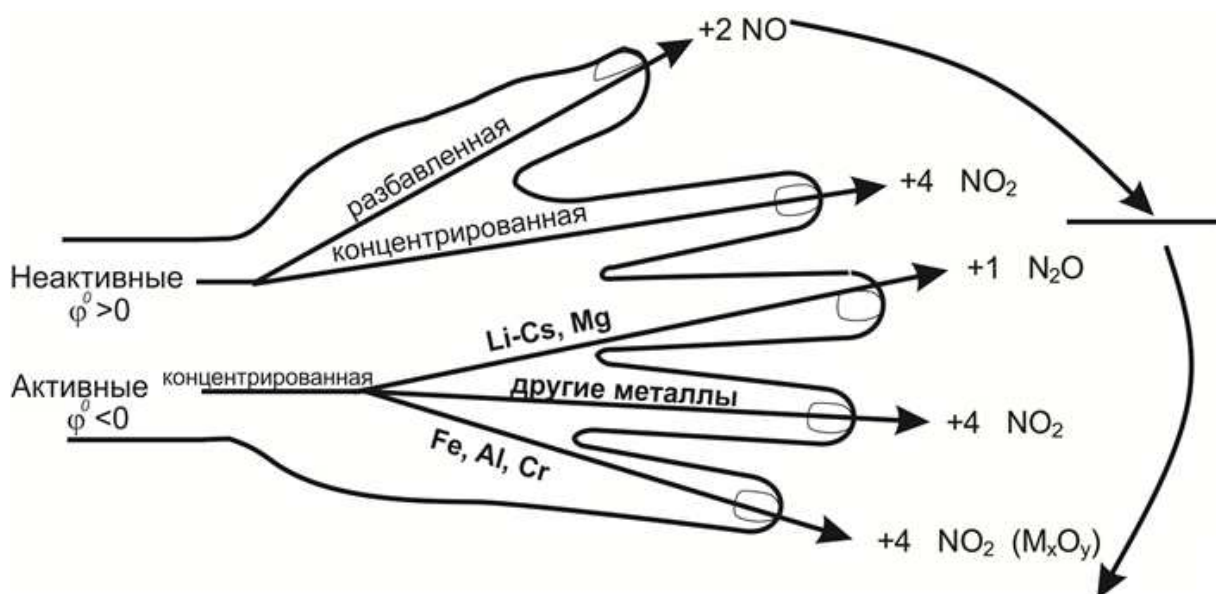
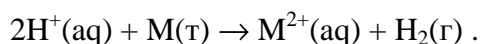


Рисунок 1 – Мнемонические схемы для определения продуктов восстановления при растворении металлов в азотной кислоте

а – левая рука для активных металлов в разбавленной азотной кислоте;

б – правая рука для менее активных металлов в разбавленной и концентрированной азотной кислоте и для активных металлов в концентрированной азотной кислоте

При растворении Fe и Al в разбавленной азотной кислоте, как указано на рис. 1А, образуется N<sub>2</sub>O [10, 11], а при растворении Mn и Mg в разбавленной азотной кислоте (10–20 %) выделяется смесь газов (H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, NO), 80 % которых составляет H<sub>2</sub> [10]. Поэтому можно предполагать, что при растворении Mn и Mg в разбавленной азотной кислоте протекает следующая химическая реакция:

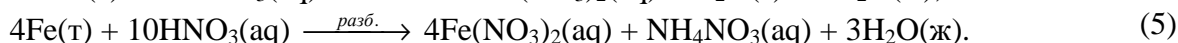
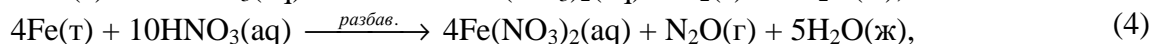
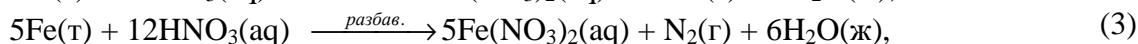
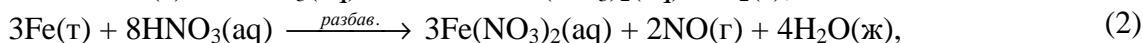
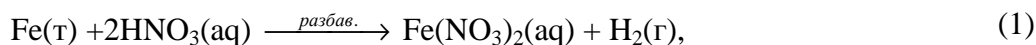


Представленные мнемонические схемы не учитывают только один фактор, а именно влияние температуры на растворение металлов.

Обычно в университетах внимание обращается только на первую задачу, которая и так вызывает большие трудности для студентов. Представленные схемы облегчают решение этой задачи и позволяют методически решить две другие задачи. Для их решения студенты должны рассчитать ЭДС окислительно-восстановительных реакций. Для расчёта ЭДС используется формула [4]:

$$E^\circ = \varphi^\circ_{\text{окис}} - \varphi^\circ_{\text{восст.}}$$

Сперва студенты пишут все возможные ОВР для данного металла и уравнивают реакции, например:



Затем записывают значения стандартных потенциалов [12]:

$$\begin{aligned} \varphi^\circ(\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}) &= -0,44 \text{ В}; \quad \varphi^\circ(2\text{H}^+/\text{H}_2) = 0,00 \text{ В}; \quad \varphi^\circ(\text{NO}_3^-/\text{NO}) = +0,96 \text{ В}; \\ \varphi^\circ(\text{NO}_3^-/\text{N}_2) &= +1,25 \text{ В}; \quad \varphi^\circ(\text{NO}_3^-/\text{N}_2\text{O}) = +1,12 \text{ В}; \quad \varphi^\circ(\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+) = +0,87 \text{ В}. \end{aligned}$$

И наконец, рассчитывают ЭДС реакций:

$$E^\circ_1 = \varphi^\circ_{\text{окис}} - \varphi^\circ_{\text{восст}} = E^\circ(2\text{H}^+/\text{H}_2) - E^\circ(\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}) = 0,00 \text{ В} - (-0,44 \text{ В}) = +0,44 \text{ В}, \quad (1)$$

$$E^\circ_2 = \varphi^\circ(\text{NO}_3^-/\text{NO}) - \varphi^\circ(\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}) = +0,96 \text{ В} - (-0,44 \text{ В}) = +1,40 \text{ В}, \quad (2)$$

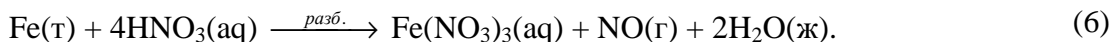
$$E^\circ_3 = \varphi^\circ(\text{NO}_3^-/\text{N}_2) - \varphi^\circ(\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}) = +1,25 \text{ В} - (-0,44 \text{ В}) = +1,69 \text{ В}, \quad (3)$$

$$E^\circ_4 = \varphi^\circ(\text{NO}_3^-/\text{N}_2\text{O}) - \varphi^\circ(\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}) = +1,12 \text{ В} - (-0,44 \text{ В}) = +1,56 \text{ В}, \quad (4)$$

$$E^\circ_5 = \varphi^\circ(\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+) - \varphi^\circ(\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}) = +0,87 \text{ В} - (-0,44 \text{ В}) = +1,31 \text{ В}. \quad (5)$$

Принимая во внимание значения ЭДС реакций ( $E^\circ > 0$ ), студенты должны сделать следующий вывод: в стандартных условиях (STP) могут протекать все реакции. Однако сравнение значений ЭДС реакций подсказывает, что последовательность реакций такова:  $E_3^\circ > E_4^\circ > E_2^\circ > E_5^\circ > E_1^\circ$  (1,69 В > 1,56 В > 1,40 В > 1,31 В > 0,44 В). Так как ЭДС первой реакции значительно меньше остальных 4-х, то с большой долей уверенностью первую реакцию можно исключить из списка возможных реакций. На это указывают и экспериментальные данные, приведенные в [10].

Хочется отметить, что в литературе [10, 13, 14] указывается противоречивая информация о валентности железа в соли при растворении Fe в разбавленной азотной кислоте. Студенты также часто задают вопрос: какая валентность у железа? Ответ можно найти при сравнении ЭДС второй и шестой реакции:



$$E_6^\circ = \varphi^\circ_{\text{окис}} - \varphi^\circ_{\text{восст}} = \varphi^\circ(\text{NO}_3^-/\text{NO}) - \varphi^\circ(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}) = +0,96 \text{ В} - (-0,04 \text{ В}) = +1,00 \text{ В}$$

При сравнении значений ЭДС видно, что  $E_2^\circ > E_6^\circ$  (1,40 В > 1,00 В). Поэтому более вероятно, что в разбавленной азотной кислоте образуется *нитрат Fe(II)*, а не нитрат Fe(III).

Наконец, используя формулу [15, с. 88]:



$$\Delta G_p^\circ = -n \cdot F \cdot E^\circ,$$

студенты могут рассчитать  $\Delta G_p^\circ$  и сделать окончательный вывод о термодинамической возможности протекания соответствующих реакций.

Использование данного алгоритма возможно и при написании реакций растворения металлов в соляной и серной кислоте.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Постников, А.Ю. Об использовании метода полуреакций / А.Ю. Постников // Химия в школе. – 2011. – № 10. – С. 48-51.
2. Раткевич, Е.Ю. Об использовании понятия „Степень окисления“ в курсе химии средней школы / Е.Ю. Раткевич, М.Г. Базаев, Р.М. Голубева, Г.Н. Мансуров. // Химия в школе. – 2012. – № 4. – С. 8-12.
3. Турчен, Д.Н. Наш подход к определению коэффициентов в уравнениях ОВР / Т.Д. Турчен // Химия в школе. – 2012. – № 2. – С. 42-48.
4. Шульчус, А. Непростая реакция растворения меди в концентрированной серной кислоте / А. Шульчус // Методика преподавания химических и экологических дисциплин: сборник научных статей Международной научно-методической конференции; Брест, 13-14 ноября 2014 г. / БрГТУ; БГУ им. А.С. Пушкина; редкол.: А.А. Волчек [и др.]. – Брест: БрГТУ, 2014. – С. 185-188.
5. Mahadeo, M.T. The action of nitric acid on metals / M.T. Mahadeo // J. Chem. Educ. – 1953. – Vol. 30. – No. 6. – P. 290.
6. Неорганическая химия: в 3-х т.: учебник для вузов по направлению "Химия" и специальности "Химия" / ред. Ю. Д. Третьяков. – 2-е изд., испр. – М. : Академия, 2008. – Т.3 : Химия переходных элементов. – Кн. 2, Кн. 1 / А. А. Дроздов [и др.]. – М., 2008. – 400 с.
7. Pannu, S.S. Nitric acid / Sardul S. Pannu // J. Chem. Educ. – 1984. – Vol. 61. – No. 2. – P. 174–176.
8. Jensen, W.B. The importance of kinetic metastability: some common everyday examples / W.B. Jensen // J. Chem. Educ. – 2015. – Vol. 92. – No. 4. – P. 649–654.
9. Kurushkin, M. Writing reactions of metals with nitric acid: a mnemonic device for introductory chemistry students. – J. Chem. Educ. – 2015, 92. – P. 1125–1126.
10. Неорганическая химия: в 3 т. / Под ред. Ю.Д. Третьякова. // Химия переходных металлов: Кн. 1: учебник для студ. высш. учеб. заведений / А.А. Дроздов [и др.]. – М.: Академия, 2004. – Т. 3 – С. 399.
11. Petruševski, V.M. Reaction of aluminium with diluted nitric acid containing dissolved sodium chloride: on the nature of the gaseous products // V.M. Petruševski, M. Bukleski, M. Stojanovska, / Chemistry. – 2010. – Vol. 19. – Iss. 3 – P. 233–238.
12. Румянцев, Б.В. Окислительно-восстановительные процессы в растворах / Б.В. Румянцев. – М.: Московский государственный педагогический институт, 2015.– 352 с.
13. Лебединцев, В.Б. Индивидуальные маршруты на коллективных учебных занятиях / В.Б. Лебединцев, Т.Г. Рассохина // Химия в школе. – 2012. – № 5. – С. 21-30.
14. Миренкова, Е.В. О типичных ошибках на экзамене по химии / Е.В. Миренкова // Химия в школе. – 2011. – № 7. – С. 36-38.
15. Hamman, C.H. Electrochemistry / C.H. Hamman, A. Hamnett, W. Vielstich. – 2., completely revised and updated Edition. – Weinheim: Wiley-VCH, 2007.– 532 p.

УДК 37.016

**В.Н. Яглов, Г.А. Бурак, А.А. Меженцев**  
 Белорусский национальный технический университет,  
 г. Минск, Республика Беларусь

#### ПРЕПОДАВАНИЕ ХИМИИ В БЕЛОРУССКОМ НАЦИОНАЛЬНОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

Структура профессиональной подготовки инженера в вузе на современном этапе включает следующие составляющие: естественно-научную, инженерную, производственно-практическую и гуманитарную. Базу для овладения будущими специалистами основами технических наук обеспечивает их естественно-научная подготовка. Общая структура естественно-научного знания в вузе представлена курсами высшей математики, физики и химии.