

*Н. М. ІЛМАЗ, П. А. КОЗУБ, Г. І. ГУРІНА, С. М. КОЗУБ***ВИКОРИСТАННЯ ВЕКТОРНОГО ПІДХОДУ БАЛАНСУВАННЯ ХІМІЧНИХ РІВНЯНЬ ПРИ ВИКЛАДАННІ ЗАГАЛЬНОЇ НЕОРГАНІЧНОЇ ХІМІЇ**

Розглянуто проблему використання традиційних методів балансування хімічних рівнянь під час викладання загальної неорганічної хімії та встановлено, що класичні підходи, такі як метод підбору та метод електронного балансу, є недостатньо ефективні для обробки великої кількості складних рівнянь через значні витрати часу і високу ймовірність помилок. Запропоновано використання векторного підходу до балансування хімічних реакцій для широкого спектру завдань від простих рівнянь до складних окисно-відновних та іонних реакцій. Для практичної реалізації запропоновано використання веб додатку «Хімічний предиктор», який дозволяє автоматизовано балансувати необмежену кількість реагентів та отримувати всі незалежні рішення для заданої системи. Наведено методику та приклади використання цього підходу для генерації та перевірки завдань, створення прикладів для підручників, посібників та методичних матеріалів. Показано, що використання векторного підходу зменшує час на рутинні розрахунки в декілька разів, та підвищує якість навчальних матеріалів за рахунок зменшення технічних помилок у формулах, сприяє розвитку самоконтролю у студентів. Проведений аналіз освітніх матеріалів підтверджує ефективність застосування векторного методу як інструменту для вдосконалення викладання хімічної стехіометрії у середніх та вищих навчальних закладах.

Ключові слова: балансування реакцій, загальна неорганічна хімія, векторний метод, освітні технології, стехіометрія.

*YILMAZ NATALIA, KOZUB PAVLO, GURINA GALYNA, KOZUB SVITLANA***THE USE OF VECTOR APPROACH FOR BALANCING CHEMICAL EQUATIONS IN TEACHING GENERAL INORGANIC CHEMISTRY**

The article is devoted to the problem of the effectiveness of traditional methods of balancing chemical equations in the process of teaching general inorganic chemistry in secondary and higher educational institutions. The analysis shows that classical methods, such as the method of coefficient selection and the method of electronic balance, despite their simplicity and clarity for students, have significant drawbacks when working with large volumes of complex chemical reactions. This leads to significant time spent by teachers on creating, calculating, and checking tasks, as well as to an increase in the likelihood of technical errors in teaching materials. It is proposed to use the vector approach as an alternative, which allows to automate and simplify the process of balancing even the most complex redox and ionic reactions. For the practical implementation of this methodology, a web-based application «Chemical Predictor» has been developed, which supports an unlimited number of reagents and allows obtaining all possible linearly independent solutions for given chemical systems. The peculiarity of the developed tool is its ease of use, which does not require additional knowledge of programming or mathematics, but significantly optimizes the process of creating and checking tasks. The article provides examples for generating tasks (reactions of interaction between carbon and oxygen, transformation of nitrogen compounds), checking the correctness of calculations, creation of educational and methodological materials (reactions of ammonium compounds with calcium reagents), textbooks on inorganic chemistry (ionic reactions with complex compounds of iron and cyanides), as well as ionic reactions (semi-reduction reactions involving MnO_2 and MnO). It has been proven that the use of this methodology can significantly reduce the time spent by teachers on routine calculations, improve the quality of teaching materials, and develop students' self-control skills. Thus, the introduction of the vector approach to balancing chemical equations contributes to a significant increase in the efficiency of the educational process, allowing both teachers and students to focus directly on the study of chemical processes rather than on formal mathematical operations.

Keywords: balancing reactions, general inorganic chemistry, vector method, educational technologies, stoichiometry.

Постановка проблеми. Методи балансування хімічних реакцій є невід'ємною частиною викладання загальної неорганічної хімії починаючи з шкільного курсу до і закінчуючи першими курсами вищих учбових закладів.

При здаванні простоті цієї частини хімії в процесі викладання виникає багато проблем як у учнів так і вчителів та викладачів. Це пов'язано з недостатньою формалізацією методів пошуку стехіометричних коефіцієнтів, та стрімким зростанням складності розрахунків при використанні традиційних підходів. Недоліки цих методів малопомітні для учнів, але вони дуже відчутні для викладачів, які заради спрощення власної роботи зменшують кількість прикладів для розрахунків та знижують їх складність.

Векторний метод балансування хімічних рівнянь не має обмежень притаманних традиційним

методам балансування і може використовуватись як для простих хімічних рівнянь, так і для дуже складних з кількістю реагентів значно більшою за кількість елементів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Традиційно використовувані у навчальній літературі методи балансування хімічних реакцій це методи підбору та методи електронного балансу [1-4], які відносно прості та зрозумілі для учнів та студентів.

Але при необхідності створення великої кількості рівнянь для практичних завдань, або при виконанні лабораторних робіт, роботи з більш складними рівняннями, використання цих методів призводить до значних витрат часу і великої кількості помилок.

© Ілмаз Н.М., Козуб П.А., Гуріна Г.І., Козуб С.М., 2025

Використання більш складних методів типу матричних майже неможливо через необхідність знань матричної математики та програмування, а використання онлайн калькуляторів обмежено їх принциповими вадами – проблемами використання неправильно сформованих списків реагентів, і неможливістю створення лінійно незалежних рішень [5–9]. Проведені дослідження показали, що використання векторного підходу балансування хімічних рівнянь дозволяє вирішити всі перераховані проблеми, і таким чином підвищити ефективність процесу викладання основної неорганічної хімії [10].

Метою статті є підвищення ефективності освітнього процесу за рахунок імплементації у нього векторного методу балансування хімічних рівнянь, викладення основних принципів роботи з цим методом, надання прикладів його використання на практиці.

Виклад основного матеріалу. Інструменти реалізації векторного підходу. Хоча векторний підхід є відносно простий з математичної точки зору, та може бути наглядно візуалізований, він все одно потребує алгоритмів, які містять вкладені цикли та перевірки умов, і його не так просто реалізувати у вигляді ручних розрахунків. Тому при необхідності власної імплементації цього методу можна використати відкритий код представлений на сайті cpredictor.icfk.org. Таким чином, представлена найпростіша реалізація цього коду для векторного підходу – веб додаток «Хімічний предиктор», який не вимагає ніяких знань щодо програмування, але дозволяє скористатись всіма перевагами використання векторного підходу для балансування хімічних реакцій.



Рис. 1. QR код веб додатку

Особливістю цього веб додатку є простота використання – лише область для введення переліку хімічних рівнянь, та область відображення результатів розрахунків з переліком всіх можливих хімічних рівнянь для заданих хімічних реагентів та продуктів. На відміну від традиційних онлайн калькуляторів він розраховує ВСІ можливі для заданої реакційної суміші НЕЗАЛЕЖНІ хімічні

рівняння і працює з НЕОБМЕЖЕНОЮ кількістю реагентів (як реагентів так і продуктів).

В результаті, «Хімічний предиктор» може допомогти з генерацією завдань з хімічними рівняннями для учнів різного рівня складності. Це можуть бути прості рівняння для початкових класів, або складні ОВР реакції для студентів першого курсу.

Великою задачею для викладачів є перевірка правильності стехіометричних розрахунків. Це особливо важливо для учителів та викладачів, оскільки це дозволяє зменшити час на перевірку завдань в десятки разів, а також може бути дуже дієвим засобом самоконтролю для учнів.

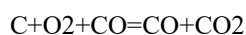
Створення прикладів для навчальних посібників, методичних вказівок для лекцій, практичних та лабораторних робіт за допомогою «Хімічного предиктора» може бути проведена за декілька хвилин, що також робить його дуже потужним інструментом для освітнього процесу.

І, звичайно, його можна розглядати як інструмент дослідження, який дозволяє перевірити можливість перебігу заданих реакцій, з заданими реагентами, або при заданих співвідношеннях реагентів, що важливо для проведення та підготовки лабораторних та практичних робіт.

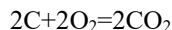
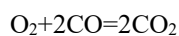
Генерація завдань для здобувачів вищої освіти. Якщо необхідно отримати реакцію, або перелік реакцій для чітко заданих реагентів, то достатньо задати їх вичерпний перелік у полі реакційних систем, коефіцієнти перед реагентами не потрібні, а для переліку реагентів можна використовувати не тільки знак «+» але й кому.

Якщо задати розширений перелік реагентів, то будуть згенеровані ВСІ можливі реакції між реагентами та продуктами.

Приклад 1:



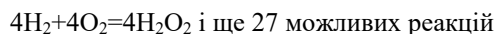
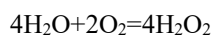
Результат:

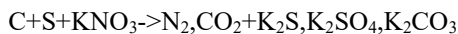


Приклад 2:

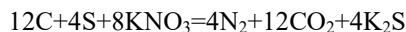
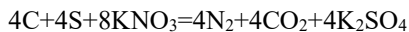
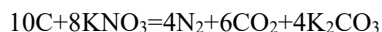


Результат:

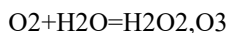
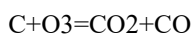
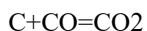
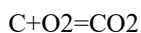


Приклад 3:

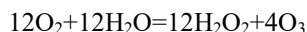
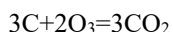
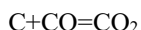
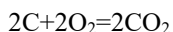
Результат:



За другим способом, можна записати декілька завдань в кожному з рядків окремо

Приклад 4:

Результат:



Використання наборів реагентів. Аналіз підручників та посібників, якими користуються у шкільному курсі хімії та на перших курсах вишів показав, що кількість таких наборів для освітнього процесу насправді не є великим, тому дуже зручно виділити реагенти як набори, з які потім можна використовувати для генерації завдань

- Прості речовини:

H₂, O₂, O₃, N₂, S, P, Si, Cl₂, F₂, I, I₂ - неметали

Na, K, Ca, Mg, Ba, Al – s,p - метали

Fe, Cu, Zn, Ni, Ag – d-метали

- Оксиди:

- неметалів - H₂O, N₂O, NO, NO₂, N₂O₃, N₂O₅, SO₂, SO₃, P₂O₃, P₂O₅

- s,p – металів - Na₂O, K₂O, CaO, MgO, BaO, Al₂O₃

- d – металів - FeO, Fe₂O₃, Fe₃O₄, Cu₂O, CuO, ZnO, NiO, Ag₂O

- Гідроксиди:

○ Кислоти - HNO₃, HNO₂, H₂SO₄, H₂SO₃, H₂S, H₂CO₃, H₃PO₄, HPO₃, H₃PO₃, HCl, HF, HI, H₂SiO₃

○ Лужні та лужноземельні - NaOH, KOH, Ca(OH)₂, Mg(OH)₂, Ba(OH)₂

○ Нерозчинні основи - Al(OH)₃, Fe(OH)₃, Fe(OH)₂, Cu(OH)₂, Zn(OH)₂, Ni(OH)₂

Солі є комбінацією металів та кислот, тому їх кількість може бути дуже великою, але в освітньому процесі насправді використовуються найбільш вживані у побуті та технології:

- 3 лужними металами - KNO₃, NaNO₃, NaNO₂, Na₂SO₄, Na₂SO₃, Na₂S, Na₂CO₃, Na₃PO₄, NaCl, NaF, KI, Na₂SiO₃

- 3 лужноземельними – CaSO₄, CaCO₃, MgSO₄, MgCO₃, BaSO₄, BaCO₃

- 3 полівалентними та перехідними - Al(NO₃)₃, Al₂(SO₄)₃, AlPO₄, AlCl₃, FeSO₄, Fe₂(SO₄)₃, FeCl₃, FeCl₂, ZnSO₄, ZnCl₂, CuSO₄, NiSO₄

- Кристалогідрати – CuSO₄*5H₂O, FeSO₄*7H₂O, CaSO₄*2H₂O, Na₂CO₃*10H₂O

До особливих реагентів можна віднести:

- амоніак та амонійні сполуки - NH₃, NH₄OH, NH₄NO₃, (NH₄)₂SO₄, NH₄Cl, (NH₄)₃PO₄

- органічні кислоти:

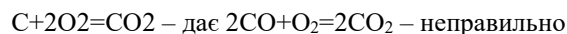
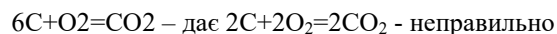
○ мурашину (солі - формиати) - HCOOH, HCOONa, (HCOO)₂Ca або Ca(HCOO)₂

○ оцтову (солі – ацетати) - CH₃COOH, CH₃COONa, (CH₃COO)₂Ca або Ca(CH₃COO)₂

При необхідності генерації більш складних завдань, перелік реагентів та продуктів може бути розширений

Перевірка правильності виконання задач на балансування реакцій зазвичай вимагає від викладача великої кількості часу. Це особливо відчутно при великій кількості учнів в класі, групі або потоці і з великою кількістю типів реакцій (наприклад згенерованими «Хімічним предиктором»).

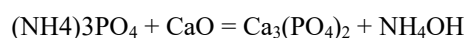
Для полегшення роботи достатньо скопіювати реакцію яку потрібно перевірити як у попередньому випадку і порівняти розраховані учнем коефіцієнти з тими, що отримані за допомогою «Хімічного предиктора».

Приклад 5:

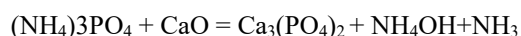
Генерація прикладів для навчальних посібників. Дуже часто для створення методичних вказівок, лекцій, підготовки лабораторних та практичних робіт необхідно мати перелік хімічних рівнянь між реагентами. Зазвичай розрахунок таких рівнянь займає багато часу і призводить до помилок при написанні тексту.

Використання «Хімічного предиктора» дозволяє значно підвищити ефективність цієї частини викладацької роботи, яка по суті своїй є аналогом та розширенням генерації завдань.

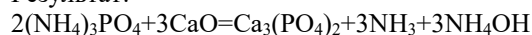
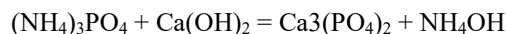
Так, для прикладів більш доцільним є введення додаткових, нових для учнів реагентів:

Приклад 6:

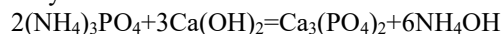
Результат: реакція неможлива

Приклад 7:

Результат:

**Приклад 8:**

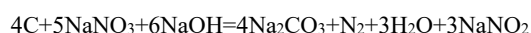
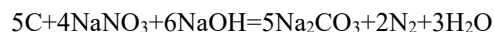
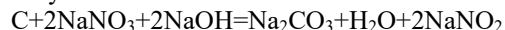
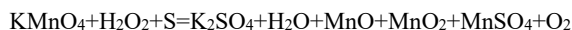
Результат:



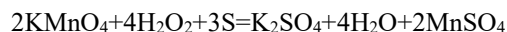
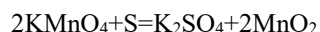
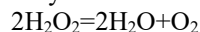
Розрахунки для складних ОВР. Векторний підхід є дуже ефективним при необхідності балансування окиснювально-відновлювальних реакцій і без проблем дозволяє розв'язання навіть рівнянь в яких змінюються ступені окиснення більше ніж двох реагентів

Приклад 9:

Результат:

**Приклад 10:**

Результат:

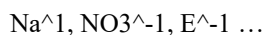


Розрахунки іонних реакцій. Векторний підхід дозволяє урівнювати також рівняння в іонному вигляді, оскільки кількість зарядових часток також підпорядковується закону збереження.

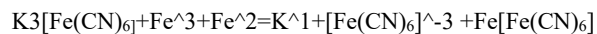
Формально кожна частка може бути доповнена зарядом Z, наприклад:



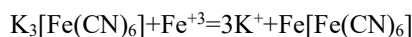
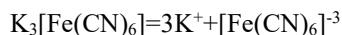
або в більш традиційній формі:



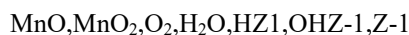
Це дозволяє балансувати реакції іонного обміну, осадження, гідролізу

Приклад 11:

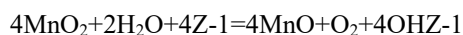
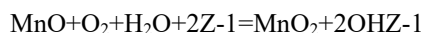
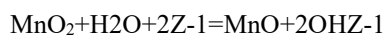
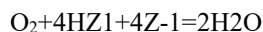
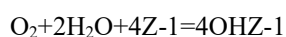
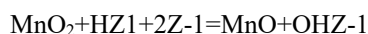
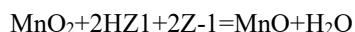
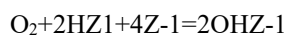
Результат:



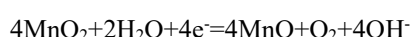
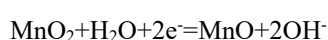
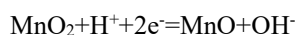
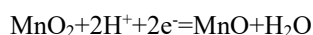
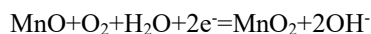
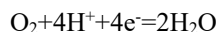
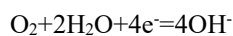
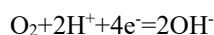
Більше того, це дозволяє створювати переліки можливих напівреакцій з набору реагентів, якщо прийняти, що ознакою напівреакції є наявність серед реагентів вільного електрону - Z-1, а також видалити зворотні реакції

Приклад 12:

Результат:



або у традиційному форматі



Висновки. Таким чином, використання векторного підходу балансування хімічних рівнянь є потужним інструментом, який дозволяє зменшити

час створення нових завдань для учнів, перевірку їх відповідей та створення прикладів для методичної літератури у декілька разів.

При цьому одночасно зменшується кількість технічних помилок, що особливо помітно при роботі з великою кількістю однотипних рівнянь, а учні (студенти) при проведенні лабораторних робіт та у своїх дослідженнях можуть зосередитись на вивченні хімії, а не суто математичних розрахунках стехіометричних коефіцієнтів.

List of references

1. Ebbing D., Gammon S.D., Ebbing D.D., Gammon E.D. General Chemistry : 9th ed. Boston : Houghton Mifflin, 2007. 1030 p. ISBN 0-618-85748-6. ISBN 978-0-618-85748-7.
2. Chang R., Goldsby K., Powell R. Chemistry : 12th ed. New York : McGraw-Hill Education, 2015. 1184 p. ISBN 1-259-25458-5. ISBN 978-1-259-25458-1.
3. Chang R., Goldsby K. Student Solutions Manual for Chemistry : Student ed. New York : McGraw-Hill Education, 2018. 720 p. ISBN 1-260-16232-X. ISBN 978-1-260-16232-5.
4. McQuarrie D.A., Rock P., Gallogly E. B. General Chemistry: 4th ed. Sausalito : University Science Books, 2007. (pagina-tion according to the edition). ISBN 978-1-891389-60-0.
5. M. M. Shaikh, M. Yousaf On mathematical methods to balance equations of chemical reactions – a comparison and way forward // Journal of mechanics of continua and mathematical sciences. Vol.-18, No.-01, January (2023) pp 1-20 <https://doi.org/10.26782/jmcs.2023.01.00001>
6. J. Aleksejeva, S. Guseynov To the issue of finding the stoichiometric coefficients in the chemical reactions // Integration. education Proceedings of the International Scientific Conference. Volume II, May 28th-29th, 2021. pp. 19-48 // <https://doi.org/10.17770/sie2021vol2.6457>
7. Thorne L. R. An Innovative Approach to Balancing Chemical-Reaction Equations: A Simplified Matrix-Inversion Technique for Determining the Matrix Null Space // Chem. Educator. 2010. Vol. 15. P. 304–308. arXiv:1110.4321.
8. Risteski I. B. A new algebra for balancing special chemical reactions // Chemistry: Bulg. J. Sci. Educ. 2012. Vol. 21. P. 223–234.
9. Gabriel C. I., Onwuka G. I. Balancing of Chemical Equations Using Matrix Algebra // Journal of Natural Sciences

Research. 2015. Vol. 3. P. 29–36.

10. Kozub P., Yilmaz N., Kozub S., Lukianova V., Martyniuk M. Mathematical aspects of using the vector approach for balancing chemical reactions // Topical aspects of modern scientific research. Proceedings of the 8th International scientific and practical conference. CPN Publishing Group. Tokyo, Japan. 2024. Pp. 121-129.

Referenses

1. Ebbing, D., Gammon, S. D., Ebbing, D. D., & Gammon, E. D. (2007). General chemistry (9th ed.). Boston: Houghton Mifflin.
2. Chang, R., Goldsby, K., & Powell, R. (2015). Chemistry (12th ed.). New York: McGraw-Hill Education.
3. Chang, R., & Goldsby, K. (2018). Student solutions manual for chemistry (Student ed.). New York: McGraw-Hill Education.
4. McQuarrie, D. A., Rock, P., & Gallogly, E. B. (2007). General chemistry (4th ed.). Sausalito: University Science Books.
5. Shaikh, M. M., & Yousaf, M. (2023). On mathematical methods to balance equations of chemical reactions – a comparison and way forward. Journal of Mechanics of Continua and Mathematical Sciences, 18(1), 1–20. <https://doi.org/10.26782/jmcs.2023.01.00001>
6. Aleksejeva, J., & Guseynov, S. (2021). To the issue of finding the stoichiometric coefficients in the chemical reactions. In Integration. Education. Proceedings of the International Scientific Conference (Vol. II, pp. 19–48). <https://doi.org/10.17770/sie2021vol2.6457>
7. Thorne, L. R. (2010). An innovative approach to balancing chemical-reaction equations: A simplified matrix-inversion technique for determining the matrix null space. Chem. Educator, 15, 304–308. arXiv:1110.4321
8. Risteski, I. B. (2012). A new algebra for balancing special chemical reactions. Chemistry: Bulgarian Journal of Science Education, 21, 223–234.
9. Gabriel, C. I., & Onwuka, G. I. (2015). Balancing of chemical equations using matrix algebra. Journal of Natural Sciences Research, 3, 29–36.
10. Kozub, P., Yilmaz, N., Kozub, S., Lukianova, V., & Martyniuk, M. (2024). Mathematical aspects of using the vector approach for balancing chemical reactions. In Topical aspects of modern scientific research. Proceedings of the 8th International scientific and practical conference (pp. 121–129). Tokyo: CPN Publishing Group.

Надійшла (received) 20.03.2025

Відомості про авторів / About the Authors

Їлмаз Наталія Миколаївна (Yilmaz Nataliia) – кандидат технічних наук, доцент, Швейцарський федеральний технологічний інститут у Лозанні, Лозанна, Швейцарія;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0561-4138> e-mail: natnikdr@gmail.com

Козуб Павло Анатолійович (Kozub Pavlo) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри медіасистем та технологій, Харківський національний університет радіоелектроніки;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7162-027X> e-mail: pkozub@pkozub.com

Гуріна Галина Іванівна (Gurina Galyna) – кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри хімії та інтегрованих технологій Харківський національний університет імені О.М. Бекетова;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7547-5508> e-mail: Galyna.Gurina@kname.edu.ua

Козуб Світлана Миколаївна (Kozub Svitlana) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри медичної та біоорганічної хімії, Харківський національний медичний університет;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3049-1555> e-mail: s.n.kozub@gmail.com