

РОБИТНИЦЬКИЙ Р. К., ОНУФРІЙЧУК Ю.М., ПУШКАР В.М.

Ліцей №1 с. Городківка Крижопільського району Вінницької області

СКЛАДАНЮК М.Б.

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника

<https://orcid.org/0000-0003-1908-3769>e-mail: skladanyuk16@gmail.com

СТЕХІОМЕТРИЧНІ ОБЧИСЛЕННЯ НА УРОКАХ ХІМІЇ

В роботі наведено результати досліджень розв'язування задач на надлишок стехіометричним способом обчислення, даний підхід є раціональним, простим і легко адаптованим до шкільної програми. Якщо учень вірно написав рівняння реакцій, склав алгоритм задач і одну задачу розв'язав повністю, то з високим ступенем достовірності можна твердити, що він вміє розв'язувати задачі запропонованих типів. Таким чином збільшується число проаналізованих задач, виникає можливість у старших класах зблизити у просторі і часі задачі різних типів, а зближення у просторі і часі дає можливість швидше помітити подібність і відмінність між різними типами задач. Процес навчання стає більш ефективним внаслідок постійного і більш інтенсивного використання таких розумових дій як порівняння, аналіз, синтез, класифікація, абстрагування. Обговорювана система примушує учня частіше звертатись до умови задачі і більш глибоко її осмислювати, за таблицею можна задати алгоритм розв'язування задачі або за відомим алгоритмом скласти умову задачі і користуючись даною таблицею, при належному розшифруванні команд (операторів) та переведенні алгоритмів на одну з машинних мов, можна скласти програму для програмованого мікрокалькулятора або комп'ютера.

Ключові слова: хімічний символ, речовини, частка, надлишок, стехіометричні обчислення.

Rostislav ROBITNYTSKYI, Yurii ONUFRYYCHUK, Valentina PUSHKAR

Lyceum No. 1, p. Horodkivka of the Kryzhopol district of the Vinnytsia region

Mariia SKLADANIUK

Vasyl Stefanyk Precarpathian National University

STOICHIOMETRIC CALCULATIONS IN CHEMISTRY CLASSES

This paper presents the results of research on solving excess problems by the stoichiometric method of calculation, this approach is rational, simple, and easily adapted to the school program. If a student correctly wrote the equation of reactions, compiled an algorithm of tasks, and solved one task completely, then with a high degree of certainty it can be stated that he/she is able to solve the tasks of the suggested types. Thus, the number of analyzed problems increases and an opportunity arises in the high grades to converge in space and time problems of different types, and convergence in space and time makes it possible to notice the similarity and difference between different types of problems faster. The learning process becomes more effective as a result of constant and more intensive use of such mental actions as comparison, analysis, synthesis, classification, and abstraction. The system under discussion forces the student to refer more often to the condition of the problem and to comprehend it more deeply, using the table one can set the algorithm of solving a problem or on the known algorithm to make the condition of the problem and using this table with proper decoding of commands (operators) and translation of algorithms into one of the machine languages, one can make a program for programmable microcalculator or computer.

Keywords: chemical symbol, substances, particle, excess, stoichiometric calculations

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Формування навичок у застосуванні знань з хімії неможливе без розв'язування розрахункових задач. А тому погляди методистів і педагогів – практиків направлені на пошук шляхів оптимізації цього процесу. Одним з цих шляхів є алгоритмізація розв'язування задач.

Зазвичай автори пропонують алгоритм до задач кожного типу окремо у вигляді лінійної схеми. Такий підхід на початковому етапі навчання слід визнати доцільним, але після оволодіння певними навичками ці догматичні креслення аж ніяк не сприяють формуванню творчого мислення учнів.

Розрахунки за рівняннями хімічних реакцій поруч з певними відмінностями мають багато спільного. Отже можлива схема розгалужених алгоритмічних приписів, за якою учень самостійно обирає необхідну послідовність дій, що приводить до вірного розв'язку, і фіксує її в умовній формі, не розв'язуючи самої задачі.

Аналіз досліджень та публікацій

В даній роботі запропонована методика складання алгоритмів і програм для найпростішої обчислювальної техніки послідовна і доступна для учнів; вона оптимально поєднує різні форми розумових дій з відсутністю шаблону в роботі.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є: можливість будувати алгоритм будь-яких обчислень за рівняннями хімічних реакцій і розв'язування за ними відповідні задачі.

Виклад основного матеріалу

При вивченні символів хімічних елементів звертається увага на правильну інтерпретацію хімічного символу. Наприклад, S – це один атом хімічного елементу Сульфуру з відносною атомною масою 32 а.о.м.

Атомна одиниця маси – це $\frac{1}{12}$ частина маси атому Карбону. Запис 5S означає п'ять атомів Сульфуру, а цифра 5 називається коефіцієнтом.

Число атомів хімічного елемента, що знаходяться в молекулі позначається у вигляді індексу – цифри, яка ставиться після символу елемента з правої сторони внизу. Наприклад, молекула сірководню H_2S складається з двох атомів Гідрогену і одного атому Сульфуру.

Речовини, які складаються з атомів одного хімічного елемента називаються простими. Наприклад, N_2 – азот, O_2 – кисень, O_3 – озон. Молекули складних речовин містять у своєму складі атоми різних хімічних елементів. Наприклад, H_2O – вода, CO_2 – вуглекислий газ, CH_4 – метан тощо. Про кожний хімічний елемент учні повинні знати: назву хімічного елемента, правильну вимову, назву простої речовини (або простих речовин).

Після ознайомлення з валентністю елементів, формули речовин краще складати за їх назвами. Наприклад, ферум (III) оксид Fe_2O_3 , сульфур (IV) оксид SO_2 , нітроген (I) оксид N_2O , алюміній хлорид $AlCl_3$.

Знаючи хімічну формулу речовини, можна розрахувати відносну молекулярну масу M_r за відносними атомними масами A_r елементів, що входять до складу речовини. За відносною молекулярною масою і відносними атомними масами елементів розраховуються масові частки кожного хімічного елемента. Наприклад,

$$M_r(Fe_2O_3) = A_r(Fe) + 3A_r(O) = 2 \cdot 56 + 3 \cdot 16 = 112 + 48 = 160 \text{ (а.о.м.)},$$

$$\omega(Fe) = \frac{112}{160} \cdot 100\% = 70\%,$$

$$\omega(O) = \frac{48}{160} \cdot 100\% = 30\%, \text{ або } 100\% - 70\% = 30\%.$$

Знаючи масові частки елементів у речовині, можна знайти формулу речовини.

Кількість речовини ν (ню) чи n (ен) ($6,02 \cdot 10^{23}$ структурних частинок) називається **моль**.

Хімічну формулу потрібно правильно розуміти. Так, наприклад, сульфур (VI) оксид – SO_3 . Тут написано 1 моль SO_3 тобто $6,02 \cdot 10^{23}$ молекул SO_3 . 1 моль SO_3 містить 1 моль ($6,02 \cdot 10^{23}$ атомів) S та 3 моль атомів оксигену, тобто $3 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}$ атомів O.

Під час хімічних реакцій речовини реагують між собою. Запис цього процесу за допомогою хімічних знаків та формул називається **хімічним рівнянням**.

Хімічне рівняння слід складати у такій послідовності:

- пишемо схему реакції словами;
 - урівнюємо число атомів кожного елемента до і після реакції за допомогою коефіцієнтів (закон збереження маси речовин);
 - після формул в рівнянні реакції позначаємо фізичний стан речовин (тверде тіло, газ, рідина).
- Розв'язування вправ на складання рівнянь реакції за наведеною вище схемою дають можливість не забути того, що вивчалось раніше.

Наведемо приклад.

Напишіть рівняння реакції за схемою:

купрум (II) оксид + хлоридна кислота \rightarrow купрум (II) хлорид + вода.

CuO (тверда речовина) + $2HCl$ (рідина) = $CuCl_2$ (в розчині) + H_2O (рідина).

Речовини реагують між собою в певних чітко визначених кількісних відношеннях. **Наука, що вивчає кількісні відношення між речовинами під час їх взаємодії називається стехіометрією**. Хімічні формули і рівняння пишуться на основі стехіометричних законів. **Рівняння реакцій написані таким чином називають стехіометричними рівняннями [1]**.

За ними можна обчислювати стехіометричні кількості, маси, об'єми газів (при нормальних умовах) вихідних речовин і продуктів реакції.

Приклад

а) Напишіть рівняння реакції за схемою.

б) За допомогою обчислень доведіть справедливість закону збереження маси речовин.

Магній оксид + нітратна кислота = магній нітрат + вода

MgO + **2HNO₃** = **Mg(NO₃)₂** + **H₂O**

$\nu = 1$ моль $\nu = 2$ моль $\nu = 1$ моль $\nu = 1$ моль

$M = 40$ г/моль $M = 63$ г/моль $M = 148$ г/моль $M = 18$ г/моль

$m = 40$ г $m = 126$ г $m = 148$ г $m = 18$ г

До реакції

$40 + 126 = 166$ (г)

Після реакції

$148 + 18 = 166$ (г).

Записане вище можна розуміти так: 40 г магній оксиду повністю реагують з 126 г нітратної кислоти з утворенням 148 г магній нітрату і 18 г води.

Напишемо рівняння реакції між порошками заліза і сірки:

Fe (тверда речовина) + S (тверда речовина) = FeS (тверда речовина)

1 моль

1 моль

1 моль

56 г	:	32 г	88 г або
7		4	11

Масове відношення між речовинами 7 : 4. Залізо і сірка повністю вступили в реакцію. А якщо взяти 10 г заліза, то скільки грам сірки (позначимо через x) потрібно взяти, щоб речовини повністю вступили в реакцію?

За попереднього висновку, масове співвідношення заліза і сірки складає 7 до 4, тому справедливою буде така пропорція $7 : 4 = 10 : x$.

$$\text{Звідси, } 7x = 10 \cdot 4, \quad x = \frac{10 \cdot 4}{7} \approx 5,7 \text{ (г)}.$$

Але пропорцію можна скласти і так: $10 : 7 = x : 4$.

$$\text{Тоді } x = \frac{10 \cdot 4}{7}; \quad 7x = 40; \quad x \approx 5,7 \text{ г}.$$

У кожному випадку присутній один і той самий множник $\frac{10}{7}$. В чисельнику вказана маса (кількість) взятого реагенту, у знаменнику – його стехіометрична маса. По аналогії з масовою часткою, обчисленою за формулою речовини, дану величину можна назвати *стехіометричною часткою*.

Ця безрозмірна величина показує яку частину становить реагент від стехіометричної маси речовини, що вступила в реакцію. Якщо стехіометричні частки реагуючих речовин рівні між собою, речовини повністю вступають в реакцію і утворюють рівні по величині стехіометричні частки продуктів реакції.

Стехіометричну частку речовини позначимо кирилицею як **стч**.

Таке позначення даної величини містить в собі підказку, а тому легко запам'ятовується учнями. Наприклад, стехіометрична частка P_2O_5 записується так: **стч** (P_2O_5). Через деякий час позначення даної величини можна латинізувати: *stchiometryc part* (англійська мова) або *st.p.* (наприклад, *st.p.* (P_2O_5)).

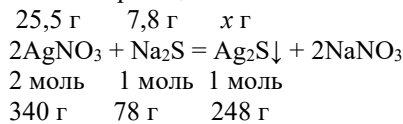
Далі на конкретних прикладах покажемо використання цієї величини при розв'язуванні задач.

Задача 1. До розчину, що містить нітрат аргентуму масою 25,5 г, додали розчин, що містить сульфід натрію масою 7,8 г. Яка маса осаду утвориться при цьому?

Для економії часу не будемо позначати фізичний стан речовин у стехіометричному рівнянні реакції.

Розв'язання.

Рівняння реакції:



Знаходимо стехіометричні частки речовин, що вступили в реакцію:

$$\text{Стч}(AgNO_3) = \frac{25,5}{340} = 0,075;$$

$$\text{Стч}(Na_2S) = \frac{7,8}{78} = 0,1.$$

$0,1 > 0,075$, звідси Na_2S в надлишку, а $AgNO_3$ повністю вступає в реакцію.

$$\text{Пропорція: } \frac{25,5}{340} = \frac{x}{248}, \quad x = \frac{25,5 \cdot 248}{340}, \quad x = 18,6 \text{ г}.$$

Відповідь: маса осаду складає 18,6 г.

Традиційний спосіб розв'язування задачі дивіться в посібнику [3] Г.П. Хомченка стор. 22, задача № 1.58. Авторське розв'язання, разом з умовою задачі, займає більше однієї сторінки. Зовсім неважко помітити, що розв'язувати дану задачу через молі не доцільно.

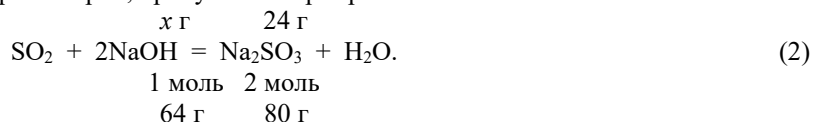
Задача 2. Під час згорання технічної сірки масою 10 г виділився газ, який пропустили через надлишок розчину гідроксиду натрію. У реакцію вступив гідроксид масою 24 г. Визначте масову частку сульфур у технічному продукті.

Розв'язання.

Напишемо рівняння реакції горіння сірки:



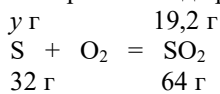
Газ, який виділився під час горіння сірки, пропустили через розчин $NaOH$:



Визначимо стехіометричну частку NaOH: $\text{стч}(\text{NaOH}) = \frac{24}{80} = 0,3$.

Маса SO₂ складатиме $m(\text{SO}_2) = 0,3 \cdot 64 = 19,2$ (г).

Повертаючись до рівняння (1), маємо:



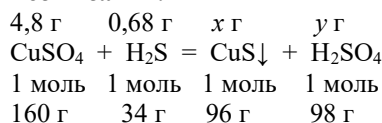
Звідки $\text{стч}(\text{SO}_2) = \frac{19,2}{64} = 0,3$. Стч (S) теж дорівнює 0,3.

Отже, маса сірки в технічному продукті $y = m(\text{S}) = 0,3 \cdot 32 = 9,6$ (г) і масова частка S в технічному продукті: $\omega(\text{S}) = \frac{9,6}{10} \cdot 100\% = 96\%$.

Відповідь: 96%.

Задача 3. До розчину, що містить 4,8 г сульфату купруму, добавили розчин із вмістом 0,68 г сірководню. Визначити масу сульфиду купруму, що утворився та склад і вміст сполук у розчині.

Розв'язання.



Для визначення яка з речовин взята в надлишку, знаходимо стехіометричні частки речовин, що вступили в реакцію:

$$\text{стч}(\text{CuSO}_4) = \frac{4,8}{160} = 0,03;$$

$$\text{стч}(\text{H}_2\text{S}) = \frac{0,68}{34} = 0,02.$$

Оскільки $0,03 > 0,02$, то в надлишку CuSO₄, який становить $0,03 - 0,02 = 0,01$ (стч.)

Тоді маса CuSO₄ становить $m(\text{CuSO}_4) = 160 \cdot 0,01 = 1,6$ (г),

$x = m(\text{CuS}) = 0,02 \cdot 96 = 1,92$ (г),

$y = m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,02 \cdot 98 = 1,96$ (г).

При цьому стехіометрична величина обчислена за рівнянням реакції помножена на стч даної речовини.

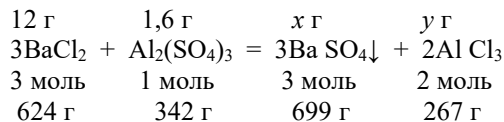
Отже, маса сульфиду купруму складає 1,92 г, а до складу сполук у розчині увійшли сірчана кислота – 1,96 г та сульфат купруму – 1,6 г.

Відповідь: $m(\text{CuS}) = 1,92$ г, $m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1,96$ г, $m(\text{CuSO}_4) = 1,6$ г.

Для початкового ознайомлення з розрахунками за стехіометричними рівняннями реакцій з використанням стехіометричних часток найбільш доцільно розпочинати із задач на надлишок однієї з реагуючих речовин.

Задача 4. До розчину, що містить 12 г хлориду барію, долито розчин, що містить 1,6 г сульфату алюмінію. Обчисліть масу осаду і масу речовин, що залишились в розчині.

Розв'язання.



Визначимо $\text{стч}(\text{BaCl}_2) = \frac{12}{624} \approx 0,019$ та $\text{стч}(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) = \frac{1,6}{342} \approx 0,005$.

Оскільки $0,019 > 0,005$, то Al₂(SO₄)₃ повністю вступає в реакцію.

Надлишок стехіометричної частки $\Delta \text{стч}(\text{BaCl}_2) = 0,019 - 0,005 = 0,014$.

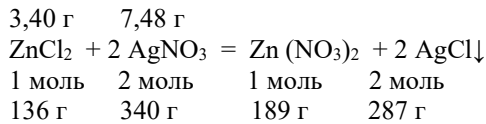
Отже, маса надлишку BaCl₂ становить $m(\text{BaCl}_2) = 0,014 \cdot 624 \approx 8,7$ (г), маса осаду – $m(\text{BaSO}_4) = 0,005 \cdot 699 \approx 3,5$ (г), $m(\text{AlCl}_3) = 0,005 \cdot 267 \approx 1,3$ (г).

Традиційним способом розв'язування такої задачі займає трохи більше часу.

Отже, шукати надлишок речовин простіше, якщо порівнювати стехіометричні частки реагуючих величин.

Задача 5. До розчину цинк хлориду масою 120 г, що містить 3,40 г цієї солі, добавили розчин аргентум нітрату масою 80 г із вмістом солі 7,48 г. Обчислити масові частки (у %) речовин в отриманому розчині після відокремлення осаду, що утворився.

Розв'язання.



1. Знаходимо яка речовина в надлишку. Для цього обчислюємо стехіометричні частки цих речовин:

$$\text{стг}(\text{ZnCl}_2) = \frac{3,40}{136} = 0,025; \quad \text{стг}(\text{AgNO}_3) = \frac{7,48}{340} = 0,022.$$

Оскільки $0,025 > 0,022$, то ZnCl_2 в надлишку, а AgNO_3 повністю вступає в реакцію.

2. Надлишок $\text{стг}(\text{ZnCl}_2)$ складає $0,025 - 0,022 = 0,003$, маса надлишку ZnCl_2 , яка перебуває в розчині складе $0,003 \cdot 136 = 0,408$ (г).

3. Аналогічно знаходимо масу $\text{Zn(NO}_3)_2$ в розчині, яка складатиме $0,022 \cdot 189 = 4,158$ (г).

4. Знаходимо масу осаду: $0,022 \cdot 287 = 6,314$ (г).

5. Знаходимо масу розчину: $120 + 80 - 6,314 \approx 193,7$ (г).

6. Знаходимо масові частки речовин в розчині:

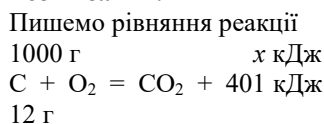
$$\omega(\text{ZnCl}_2) = \frac{0,408}{193,7} \cdot 100\% \approx 0,21\%$$

$$\omega(\text{Zn(NO}_3)_2) = \frac{4,158}{193,7} \cdot 100\% \approx 2,15\%$$

Корисно ознайомити учнів з термохімічними розрахунками.

Задача 6. Обчислити теплоту, що виділяється при спалюванні 1 кг вугілля, якщо термохімічне рівняння має вигляд: $\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2 + 401 \text{ кДж}$.

Розв'язання.



Над формулами в рівнянні реакції записуємо кількісні дані задачі, під формулами – стехіометричні величини.

Задачу можна розв'язати двома способами.

1 спосіб. Міркуємо так. При згорянні 12 г вугілля виділяється 401 кДж теплоти, а при спалюванні 1 кг (1000 г) вугілля виділяється x кДж теплоти.

Складаємо пропорцію: $12 : 401 = 1000 : x$.

Звідки $12x = 401 \cdot 1000$, $x \approx 33\,417$ кДж.

2 спосіб. Знаходимо $\text{стг}(\text{C})$:

$$\text{Стг}(\text{C}) = \frac{1000}{12}$$

Далі знаходимо кількість теплоти:

$$Q = 401 \cdot \text{стг}(\text{C}) = 401 \cdot \frac{1000}{12} \approx 33417 \text{ (кДж)}.$$

Отримана відповідь ідентична.

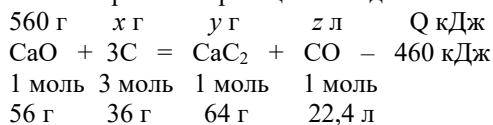
Задача 7. (порівняння різних способів розв'язування задачі)

З антрацитом, що містить 94% карбону, сплавили 560 г негашеного вапна. Відбулась реакція, рівняння якої є таким: $\text{CaO} + 3\text{C} = \text{CaC}_2 + \text{CO} - 460 \text{ кДж}$. Знайти масу антрациту і карбиду кальцію, об'єм монооксиду карбону (н.у.) та кількість теплоти, що витрачено при здійсненні цього процесу?

Розв'язання.

1 спосіб.

Пишемо рівняння реакції з вихідними кількісними даними:



$$x = 560 \cdot \frac{36}{56} = 360 \text{ (г); маса антрациту становить } \frac{360}{0,94} \approx 383 \text{ (г)}.$$

$$y = 560 \cdot \frac{64}{56} = 640 \text{ (г); маса карбиду кальцію } 640 \text{ г}.$$

$$z = 560 \cdot \frac{22,4}{56} = 224 \text{ (л); об'єм монооксиду карбону 224 л.}$$

$$Q = 560 \cdot \frac{460}{56} = 4600 \text{ кДж – витрата теплоти на реакцію.}$$

Кількість арифметичних дій – 10.

2 спосіб.

Обчислюємо стч (CaO):

$$\text{стч (CaO)} = \frac{560}{56} = 10,$$

$$x = 36 \cdot 10 = 360 \text{ (г).}$$

$$\text{Маса антрациту: } \frac{360}{0,94} \approx 383 \text{ (г).}$$

$$y = 64 \cdot 10 = 640 \text{ (г),}$$

$$z = 22,4 \cdot 10 = 224 \text{ (л).}$$

$$Q = 460 \cdot 10 = 4600 \text{ (кДж).}$$

Кількість арифметичних дій – 6.

Відповідь: 383 г, 640 г, 224 л, 4600 кДж.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Речовини повністю вступають в реакцію між собою, якщо їх стехіометричні частки однакові.

Стехіометричні частки вихідних речовин і продуктів реакції однакові між собою.

Для обчислень потрібно брати маси, об'єми газів (при нормальних умовах) тільки чистих речовин і інші кількісні фактори, які можна достовірно виміряти.

Розв'язування задач з використанням стехіометричних часток приводить до економії часу, паперу, оберігає учнів від перевтоми. Додається буквально декілька нових термінів. Пропонована нами система може бути легко адаптована до традиційної і навпаки. Розумна методична різноманітність ніколи не погіршувала якості навчального процесу.

Алгоритми розв'язування різних типів шкільних задач з хімії можна зблизити у просторі і часі [4].

Такий підхід має певне діагностичне значення.

Учні більш раннього віку можуть ще не вивчати на уроках математики і фізики окремих тем: стандартного запису дуже великих і дуже малих чисел, уявлення про теплоту і одиниці вимірювання тощо. Тому важливим є міжпредметний зв'язок вчителя хімії з учителями математики та фізики для адаптування окремих тем до більш раннього вивчення хімії.

Алгоритмічний висновок: стехіометричну частку множимо на стехіометричну величину, що обчислена за стехіометричним рівнянням реакції.

Загальний висновок: стехіометричні частки всіх учасників реакції рівні між собою по величині і не залежать від їх природи.

Література

1. Фримантл М. Химия в действии. В 2-х ч. Ч.1: Пер. с англ. / Майкл Фримантл. – М: Мир, 1991.
2. Березан О. В. Збірник задач з хімії / О. В. Березан. – Тернопіль: Підручники і посібники, 2004.
3. Хомченко Г. П. Збірник задач з хімії / Г. П. Хомченко, І. Г. Хомченко. - К. : А.С.К., 2003.

References

1. Fremantle M. Chemistry in action. In 2 parts. Part 1: Trans. with English / Michael Freemantle. - M: Mir, 1991.
2. O. V. Berezan. Collection of problems in chemistry / O. V. Berezan. – Ternopil: Textbooks & manuals, 2004.
3. Khomchenko H. P. Collection of problems in chemistry / H. P. Khomchenko, I. G. Khomchenko. - K.: A.S.K., 2003.

Рецензія/Peer review : 20.07.2022 р.

Надрукована/Printed :02.08.2022 р.