

9. Negizgi orta bilim беру deñgeiiniñ 7-9 synyptaryna arnalğan «Geografia» päninen jañartylğan mazmūndağy ülgilik oqu bağdarlamasy. QR BGM 23.11.2016j. №668 būiryğy. – Astana, 2016.

10. Jalpy orta bilim беру deñgeiiniñ 10-11 synyptaryna arnalğan «Geografia» pāni boiynşa ülgilik oqu bağdarlamalary (10-11 synyptar). QR BGM 27.07.2017j., №352). – Astana, 2017.

11. «6V01515-Geografia» mamandyğyna arnalğan bilim беру bağdarlamasy. Abai atyndağy QazÜPU Ğylymi keñesi bekitten (säuir 2024 j. №7 hattama).

12. Kaimuldinova K., Amanbayeva M., Shakirova N., Muzdybayeva K., Zhanatova A. Promoting Teacher Education for Climate Change Education through Collaboration between Asian Centres of Excellence on Education for Sustainable Development (ATECCE). Project interim report. Okayama, Japan: Okayama University ESD Promotion Centre, 17 august 2022 - p.39-57.

FTAMP 31.01.45

<https://doi.org/10.51889/3005-6217.2025.83.1.015>

С. Кадирбекқызы\*<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>«Зерделі» ақыл-ой дамыту орталығы,

Алматы, Қазақстан, \*e-mail: [symbatkadirbekkyzy@gmail.com](mailto:symbatkadirbekkyzy@gmail.com)

## ОРГАНИКАЛЫҚ ХИМИЯДАҒЫ РЕДОКС РЕАКЦИЯЛАРЫН ТЕҢЕСТІРУДІҢ ЖАҢА ӘДІСІ

### Аңдатпа

Органикалық химиядағы күрделі тотығу-тотықсыздану реакцияларын (редокс процестерін) теңестірудің көп жағдайларда қиындықтар туғызады. Әсіресе бастапқы органикалық қосылыс тотығу барысында бірнеше заттарға ыдыраған жағдайда. Жалпы мұндай органикалық тотығу-тотықсыздану реакциялары теңестірудің бірнеше, әртүрлі әдістері болғанымен, көбінде молекула құрамындағы көміртек атомдарының тотығу дәрежелері анық көрсетілмейді. Біз ұсынып отырған жаңа әдісті органикалық қосылыстардағы байланыс гетеролитті механизм бойынша үзілген жағдайда, қалай теңестірілетінін және қосылыстардағы көміртек атомдарының ортақ тотығу дәрежелері реакцияға дейін және кейін қандай сандық мәндерге ие болатынын көрсетеді.

**Түйін сөздер:** редокс реакциялар, күрделі органикалық тотығу, тотықсыздану, органикалық көміртектердің орташа тотығу саны, тотығу коэффициенті, стехиометриялық коэффициенттер.

Кадирбекқызы С.\*<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Центр развития чтения и мышления «Зердели»,

Алматы, Казахстан, \*e-mail: [symbatkadirbekkyzy@gmail.com](mailto:symbatkadirbekkyzy@gmail.com)

## НОВЫЕ СПОСОБЫ УРАВНЕНИЯ РЕДОКС РЕАКЦИИ В ОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ

### Аннотация

Балансирование сложных окислительно-восстановительных реакций (окислительно-восстановительных процессов) в органической химии часто представляет собой проблему. Особенно если исходное органическое соединение в процессе окисления распадается на несколько веществ. В целом, хотя существует несколько различных методов балансировки таких органических окислительно-восстановительных реакций, большинство из них не дают четкого представления о окислительных состояниях атомов углерода в молекуле. Предлагаемый нами новый метод показывает, как уравниваются связи в органических

соединениях при их разрыве по гетеролитическому механизму, и какие числовые значения имеют общие степени окисления атомов углерода в соединениях до и после реакции.

**Ключевые слова:** окислительно-восстановительные реакции, сложное органическое окисление, восстановление, средняя степень окисления органических углеродов, коэффициент окисления, стехиометрические коэффициенты.

Kadirkbekkyzy S. <sup>\*1</sup> 

<sup>1</sup> Center for the Development of Reading and Thinking "Zerdeli",  
Almaty, Kazakhstan, \*e-mail: [symbatkadirkbekkyzy@gmail.com](mailto:symbatkadirkbekkyzy@gmail.com)

## NEW WAYS OF REDOX REACTION EQUATION IN ORGANIC CHEMISTRY

### Abstract

Balancing complex redox reactions (oxidation-reduction processes) in organic chemistry often presents a problem. Especially if the initial organic compound decomposes into several substances during the oxidation process. In general, although there are several different methods for balancing such organic redox reactions, most of them do not provide a clear picture of the oxidation states of carbon atoms in the molecule. The new method we propose shows how bonds in organic compounds are balanced when they are broken by a heterolytic mechanism, and what numerical values have the overall oxidation states of carbon atoms in the compounds before and after the reaction.

**Keywords:** redox reactions, complex organic oxidation, reduction, average oxidation state of organic carbons, oxidation factor, stoichiometric coefficients.

**Қысқашы.** Тотығу-тотықсыздану реакциялары мен олардың теңестіру әдістеріне арналған ауқымды зерттеулерге қарамастан, бұл тақырып студенттерді де, мұғалімдерді де қызықтыра отырып, химиялық білім беруде өте өзекті болып қала береді. Тотығу дәрежелерінің анықтамасын талқылайтын соңғы басылымдар бұл мәселенің маңыздылығын растады [1]. Осы жылдар ішінде тотығу-тотықсыздану теңдеулерін теңестірудің әртүрлі әдістері енгізілді, соның ішінде тотығу саны әдісі, жартылай реакциялар әдісі және алгебралық әдіс [2]. Жану реакциялары, стехиометрия және тотығу-тотықсыздану реакциялары жалпы химияның оқу бағдарламасының негізгі тақырыптары болып табылады [3]. Химиялық теңдеулер химияның әмбебап тілі қызметін атқарады. Бұл теңдеулерді теңестіруді меңгеру студенттер үшін өте маңызды, өйткені бұл олардың химиядан алған білімдерін, математикалық дағдыларын және логикалық ойлауын нығайтады [4,5]. Бұл мақсатта әртүрлі әдістер қолданылады: қарапайым реакциялар үшін арифметикалық және тексеру әдістері, алгебралық әдістер, мысалы, сызықтық бір уақыттағы теңдеулер [6] және матрицалық әдістер [7] күрделірек реакциялар үшін. Химия оқу бағдарламаларында тотығу-тотықсыздану тұжырымдамалары химиялық білімді жүйелеуге, реакцияларды болжауға және күрделі теңдеулерді математикалық теңестіруге арналған іргелі құралдар ретінде ұсынылған [8]. IUPAC мәліметтері бойынша тотығу-тотықсыздану реакцияларын төрт модельге бөлуге болады: электронның тасымалдануы, тотығу саны, Н-атомының тасымалдануы және О-атомының тасымалдануы. Дегенмен, анықтамалардың көптігі сынға алынды, кейбір ғалымдар тотығу-тотықсыздану реакцияларын тым күрделі [1] деп атады. Paik, Kim, and Kim (2017) осы модельдердегі шектеулерді атап өтті және тотығу-тотықсыздану реакцияларының процеске негізделген анықтамасын ұсынды.

Дәстүрлі түрде тотығу-тотықсыздану реакциялары электрондарды алу немесе жоғалту ретінде түсіндіріледі, тотығу саны (ОН) электрондарды санаудың негізгі құралы ретінде әрекет етеді [9]. Тотығу-тотықсыздану теңдеулерін теңестірудің жалпы әдістеріне тотығу саны әдісі [10] және тексеру әдісі [11] жатады. Тотығу саны әдісі жалпы реакция әдісін [6]

және ион-электрондық (жартылай реакция) әдісін [12] қамтиды. Оқулықтар көбінесе атомдарға ОН тағайындауды, тасымалданатын электрондардың санын анықтауды және теңестіру құралы ретінде  $H^+$ ,  $OH^-$  және  $H_2O$  пайдалануды қамтитын ион-электрондық әдісті қолдайды [13,3]. Дегенмен, ОН есептеу қиын міндет болып қала береді, әсіресе тотығу сандары екі ұшты болғанда немесе реакцияда бірнеше тотығу-тотықсыздану жұптары бар болса [14]. Сутегі (H) және оттегі (O) атомдары ғарышта және химиялық реакцияларда маңызды рөл атқарады. H-атомы және O-атомды тасымалдау реакциялары синтетикалық химияда маңызды болып табылады [15] және жиі химиялық процестерде аралық өнім ретінде қызмет етеді [16]. Осыған қарамастан, тотығу-тотықсыздану реакциялары теңестіру әдістерінде H-атомы немесе O-атом тасымалдаулары арқылы сирек анықталады [17].

1789 жылы бекітілген Лавуазьенің массаның сақталу заңынан негізделген материалдық баланс әдісі ең жалпы әдіс болып саналады. Бұл әдіс стехиометриялық коэффициенттер белгісіз ретінде қарастырылатын әрбір элемент үшін алгебралық теңдеулерді құрастыруды қамтиды. Содан кейін бұл теңдеулерді сызықтық алгебралық теңдеулер үшін стандартты әдістер арқылы шешуге болады. Бірнеше авторлар бұл әдістің пайдалылығын атап өтті [18]. Дегенмен, ол азырақ қолданылады, өйткені сыншылар химиядан гөрі математикаға көбірек ұқсайтынын айтады. Сонымен қатар, бірнеше алгебралық теңдеулерді шешу (кейде алты, жеті немесе одан да көп) жалықтыратын процесс болуы мүмкін [19].

Қазіргі уақытта ОН есептеу үшін үш жалпы әдіс қолданылады: молекулалық формула әдісі, Льюис формуласы әдісі және құрылымдық формула әдісі. Кең таралғанына қарамастан, бұл әдістер кейбір мұғалімдер мен студенттер үшін қиындықтар туғызады.

- *молекулярлық формула әдісі* - жалпы химияда жиі қолданылады және бейтарап молекуладағы ОН алгебралық қосындысы нөлге тең немесе иондық түрлер үшін ион зарядына тең болуы керек деген ережеге сүйенеді. Қарапайым болғанымен, әдіс ережелері оқулықтарда әр түрлі болады, бұл оқушылар арасында сәйкессіздік пен шатасуға әкеледі.

- *Льюис формуласы әдісі* - Льюис құрылымын салуды, электрондарды және формальды зарядтарды тағайындауды және математикалық формуланы қолдануды қамтиды. Льюис құрылымдарын сызу дағдысының болмауы көбінесе ОН анықтауға кедергі жасайды.

- *құрылымдық формула әдісі* - ең алдымен органикалық және биологиялық химияда қолданылады. Бұл тәсіл әдетте көміртегі, сутегі және оттегі атомдары үшін ОН есептеу үшін электртерістілік айырмашылықтарын және байланыс тәртібін пайдаланады. Дегенмен, ол гетероатомдар үшін сирек қолданылады және қолдану аясы шектеулі.

Бакалавриаттың химия курстарында тотығу-тотықсыздану реакциялары көбінесе электрондарды беру немесе қабылдаумен байланысты процестер ретінде сипатталады. Бірақ бұл анықтама әрқашан адекватты бола бермейді, өйткені белгілі бір реакциялар, мысалы, алкендердің тотықсыздануы электрондардың анық алмасуын көрсетпейді. Демек, тотығу дәрежелерінің ресми тағайындалуына негізделген кеңірек анықтама қажет болады. Осы қиындықтарды шешу үшін материалды баланс әдісінің жеңілдетілген нұсқасын жақында Дуков және т.б. ұсынды [6]. Бұл түрлендіру элементтерді сақтау принциптеріне негізделген басқаларын шығару кезінде тек екі немесе үш стехиометриялық коэффициенттерді белгісіз ретінде көрсету арқылы алгебралық теңдеулердің санын бір немесе екіге дейін азайтады.

Бұл әдістер тотығу-тотықсыздану реакцияларының микроскопиялық және макроскопиялық аспектілерін байланыстыру негізін құрайды. Олар тотығу-тотықсыздану реакцияларының концепциясын қайта қарап қана қоймай, олардың күрделі өзара байланыстарын тереңірек зерттеуге мүмкіндік береді, сонымен қатар химияны оқытудағы тотығу-тотықсыздану теңгерімін нақты әрі қолжетімді етеді.

**Материалдар мен әдістер.** «Кез келген тотығу-тотықсыздану реакциясы екі жарты реакцияның қосындысына ыдырауы мүмкін» [12]. Тотығу дәрежесін анықтау әдісі тотығу дәрежесі анықталмаған жағдайларда шектеледі (1-кестеге қараңыз).

## Кесте 2- Тотығу дәрежесін анықтау әдісі

| Термин            | Тотығу дәрежесі | Электронды беру |
|-------------------|-----------------|-----------------|
| Тотығу            | жоғарылайды     | $e^-$ жоғалады  |
| Тотықсыздану      | төмендейді      | $e^-$ артады    |
| Тотықсыздандырғыш | жоғарылайды     | $e^-$ жоғалады  |
| Тотықтырғыш       | төмендейді      | $e^-$ артады    |

Редокс процестерін органикалық химияда зерттеу мен теңестіру барысында қолданылатын материалдар мен әдістер ғылыми дәлдікті қамтамасыз етуде шешуші рөл атқарады. Осы бөлімде редокс процестерін зерттеуге қажетті химиялық реактивтер, жабдықтар мен әдістемелер қарастырылады. Редокс процестерін зерттеу үшін келесі заттар жиі қолданылады:

*Химиялық заттар*

1. *Тотығу реакциялары үшін:* калий перманганаты ( $\text{KMnO}_4$ ), хром қышқылы ( $\text{H}_2\text{CrO}_4$ ), азот қышқылы ( $\text{HNO}_3$ )

2. *Тотықсыздану реакциялары үшін:* натрий тиосульфаты ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ), темір (II) сульфаты ( $\text{FeSO}_4$ ), литий алюминий гидрид ( $\text{LiAlH}_4$ )

3. *Биологиялық редокс реакцияларын зерттеу үшін:* глюкоза, фруктоза сияқты органикалық қосылыстар, NADH немесе FADH сияқты коферменттер.

*Еріткіштер:* судың дистилденген немесе ионсызданған түрі, органикалық еріткіштер (этанол, ацетон, хлороформ).

Редокс реакцияларын дұрыс теңестіру тек химиялық білімге ғана емес, сонымен қатар математикалық дағдыларға да тәуелді. Бұл, әсіресе, органикалық молекулалардың құрылымдық күрделілігі мен функционалды топтардың алуан түрлілігі жағдайында маңызды. Осы мақалада редокс процестерін органикалық химияда теңестірудің жаңа әдісі мен олардың тиімді жолдары қарастырылады.

Редокс реакциялары екі қарама-қарсы процесті қамтиды:

- *Тотығу* – электрондарды жоғалту процесі.
- *Тотықсыздану* – электрондарды қосып алу процесі.

Мұнда электрондар донордан (тотықсыздандырғыш) акцепторға (тотығдырғыш) беріледі. Бұл процестерде атомдардың тотығу дәрежесі өзгереді. Органикалық химияда бұл көбінесе сутегі атомдарын қосу немесе оттегіні енгізу арқылы жүреді.

Органикалық қосылыстардың редокс реакцияларының ерекшеліктері:

- Бірнеше функционалды топтардың қатысуы.
- Реакциялардың көпсатылы сипаты.
- Катализаторлардың немесе ферменттердің әсері.

Мұндай факторлар редокс процестерін теңестіруді айтарлықтай қиындатады, сондықтан дәлелденген әдістерді қолдану қажет.

Біз ұсынып отқан жаңа әдістің ерекшелігі теңестірудің дәлдігі мен жылдамдығында. Бұл жаңа әдіс бірнеше қадамдарды қамтиды.

1 – қадам: гетеролитті үзілу кезінде электрондар бензол сақинасына тартылып, теріс және оң зарядталады. Молекуланың тотығу дәрежелерін алгебралық жолмен анықтап аламыз.

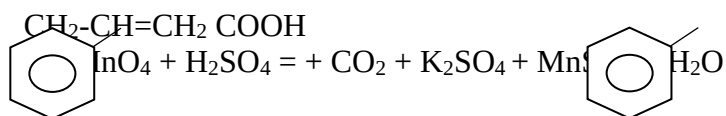
2 – қадам: тотығу-тотықсыздану реакцияларын жазамыз.

3 – қадам: теңестірілген тотығу-тотықсыздану процесі:

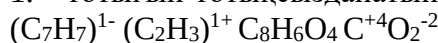
4 – қадам: реакция теңдеуін теңестіреміз.

Енді осы қадамдарды қолдана отырып реакция теңдеулерін теңестіріп көрейік.

1– *мысал:* Аллилбензолдың бензой қышқылы және көмірқышқыл газына қышқылдық ортада калий перманганаты қатысында тотығу реакциясы.



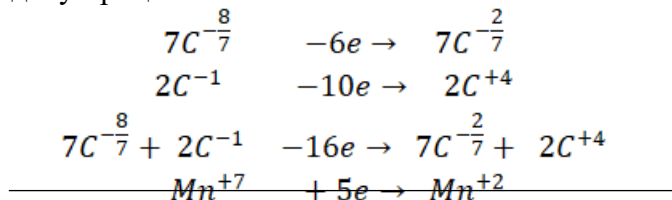
1. тотығып-тотықсызданатын элементтердің тотығу дәрежесі:



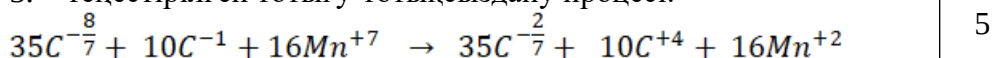
$$7x + 7 = -1 \quad 2x + 4 = +2 \quad 8x + 6 + (-8) = 0$$

$$x = -\frac{8}{7} \quad x = -1 \quad x = -\frac{2}{7}$$

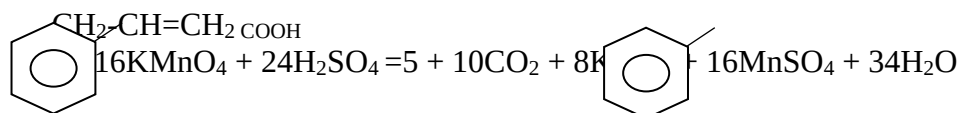
2. тотығу-тотықсыздану процесі:



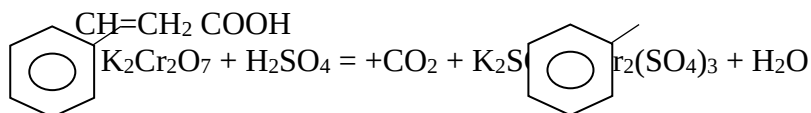
3. теңестірілген тотығу-тотықсыздану процесі:



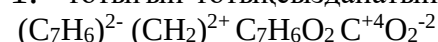
4. теңестірілген молекулярлық реакция теңдеуі:



2-мысал: Стиролдың бензой қышқылы және көмірқышқыл газына қышқылдық ортада калий дихроматы қатысында тотығу реакциясы.



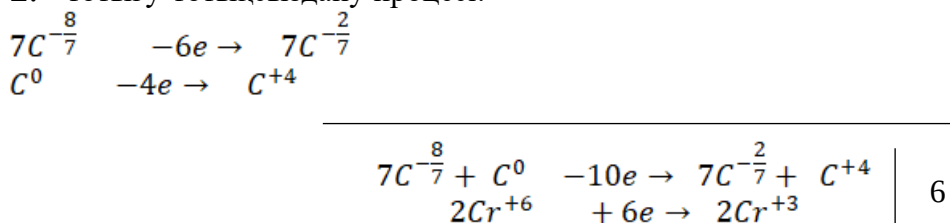
1. тотығып-тотықсызданатын элементтердің тотығу дәрежесі:



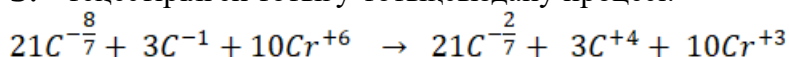
$$7x + 6 = -2 \quad x + 2 = +2 \quad 7x + 6 + (-4) = 0$$

$$x = -\frac{8}{7} \quad x = 0 \quad x = -\frac{2}{7}$$

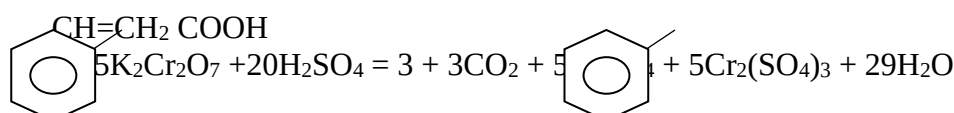
2. тотығу-тотықсыздану процесі:



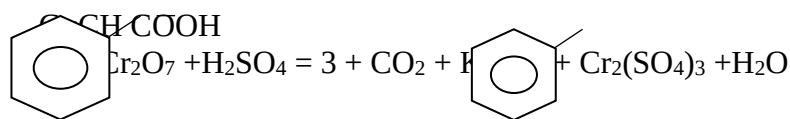
3. теңестірілген тотығу-тотықсыздану процесі:



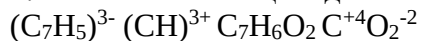
4. теңестірілген молекулярлық реакция теңдеуі:



3-мысал: Ацетиленбензолдың бензой қышқылы және көмірқышқыл газына қышқылдық ортада калий дихроматы қатысында тотығу реакциясы.



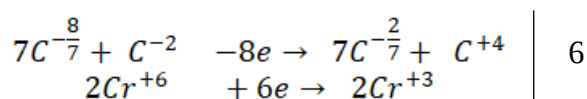
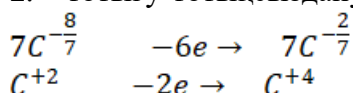
1. тотығып-тотықсызданатын элементтердің тотығу дәрежесі:



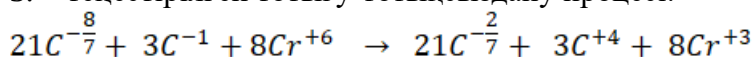
$$7x + = -3 \quad x + 1 = +3 \quad 7x + 6 + (-4) = 0$$

$$x = -\frac{8}{7} \quad x = +2 \quad x = -\frac{2}{7}$$

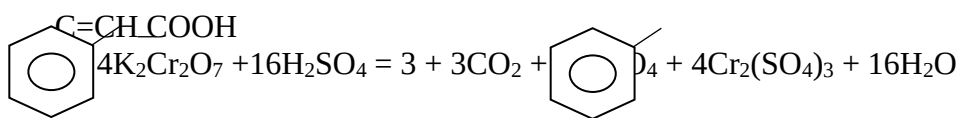
2. тотығу-тотықсыздану процесі:



3. теңестірілген тотығу-тотықсыздану процесі:



4. теңестірілген молекулярлық реакция теңдеуі:



Органикалық химия курсын оқытуда білім алушылардың сыни ойлау және мәселелерді шешу дағдысын дамытуда бірнеше оқу әдістерін қолдануға болады. Органиканың химиялық қасиеттері мен реакцияларын оқытқанда, студенттерге практикалық тәжірибе өткізу.

1. Практикалық тапсырмалар мен жобалар. Студенттерге органикалық заттардың қасиеттерін зерттеуге арналған практикалық тапсырмалар мен зертханалық жұмыстарды орындау арқылы ойлау дағдыларын дамытуға болады. Бұл әдіс студенттердің тәжірибелік білімін нығайтады және ғылыми әдіс арқылы ойлау қабілетін арттырады.

2. Кейстік зерттеу (case study). Органикалық заттардың қолданылуы мен қасиеті жайлы нақты мысалдар мен зерттеулерді талқылау арқылы студенттер әртүрлі жағдайларға байланысты шешім қабылдау дағдыларын дамытады. Кейстік зерттеу әдісі, әсіресе, нақты өндірістік немесе ғылыми мәселелерге қатысты шешімдерді табуды талап етеді. Нақты өмірден алынған мысалдар мен жағдайларды (кейс) талдау. Студенттер синтез өндірісі, экологиялық әсері немесе өнеркәсіптегі қолданылуы туралы шешімдер қабылдауы керек.

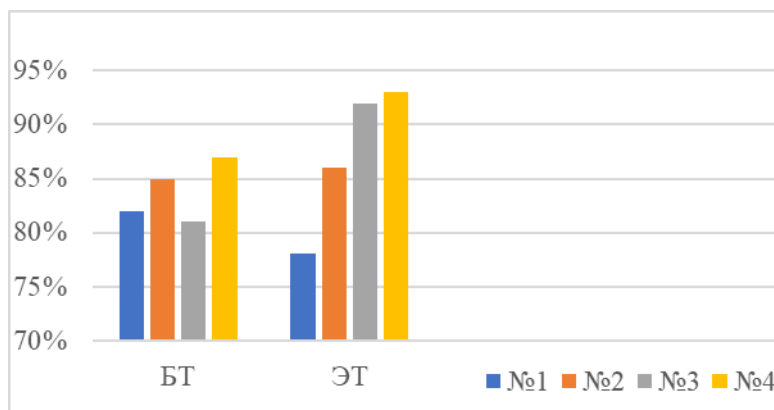
3. Проблемалық оқыту. Проблемалық оқыту әдісін қолдану арқылы студенттер күрделі мәселелерін шешу жолдарын іздестіре алады. Мысалы, студенттер органикалық заттардың қасиеттеріне байланысты белгілі бір өнеркәсіптік міндеттерді шешу үшін зерттеу жүргізе алады.

**Нәтижелер.** Зерттеу жұмысының мақсаты студенттердің есептер шығаруда тотығу-тотықсыздану реакцияларын теңестірудің жеңіл әрі тиімді жолын көрсету еді. Зерттеу нәтижелері студенттердің есептер және оларды шығару тәсілдері бойынша белгілі бір білімдері бар екендігін көрсеткенмен, студенттердің күрделі органикалық тотығу-тотықсыздану реакцияларын теңестіру бойынша есептерді шығаруда қиындықтар туындайтынын көрсетті. Эксперименттік оқытуда реакцияларды теңестіру бойынша есептер жүйесі және дайындық деңгейлері әртүрлі студенттер бойынша эксперименттік және

бақылау топтары алынды. Эксперименттің бірінші кезеңінде зерттеу мәселесі бойынша білімді меңгерудегі негізгі ерекшеліктер, қалыптасатын білік пен дағдылар анықталды.

Оқу нәтижелерін талдау. Тапсырмалар теориялық білімді практикада қолдана білуді талап етеді. Білім алушылардың бақылау жұмысы бойынша нәтижесін төмендегі кестеден көруге болады (2-кесте).

*Кесте 2 - Білім алушылардың бақылау жұмысы бойынша нәтижесі*



Студенттерге жүргізілген сауалнамаларды анализдеу және психологиялық-педагогикалық және әдістемелік әдебиеттерді зерттеу келесі қажеттіліктердің бар екенін көрсетті:

- 1) есептерді шығару заңдылықтары мен тәсілдерінің жүйелі түрде меңгерілуі;
- 2) есептердің қиындығына байланысты жеңілінен бастап қиынына қарай жүйелі түрде шығару тәсілдерін қалыптастырудың кезеңдері;
- 3) студенттердің өзіндік жұмыстарында есептерді шығару тәсілдерін қалыптастыру шарттарын тексеру.

Эксперимент кезінде студенттерді бақылау олардың химиялық білім деңгейлері әртүрлі болатынын көрсетті. Бірақ әрбір группада өздерінің жалпы химиялық білім деңгейі шамалас және ақыл-ой қызметінің ерекшеліктері ұқсас болып келетін студенттер тобы болады. Зерттеудің кезеңдерінде әр топтағы студенттерге есептерді шығару барысында өзіндік жұмыстарын әрі қарай ынталандыратын деңгейлік көмектері: бағыт беру, нұсқау, кеңес беру түрінде жасалып отырды. Осы мақсатта деңгейлік тапсырмалар пайдаланылды.

**Талқылау.** Бұл жаңа әдістің ерекшелігі, теория жүзінде көміртек атомдарының тотығу дәрежелері әртүрлі (-1, -2, -3). Алайда бензол сақинасында электрондар барлық көміртек атомдарына бірдей делокализацияланған. Яғни резонанстық күйде болып табылады. Жоғарыда көрсетілген жаңа әдісте көміртек атомдарының тотығу дәрежелері әрбір көміртек атомына бірдей делокализацияланған. Бұл резонанс теориясын сақтайтын әдіс болып табылады. Ал жартылай иондық баланс әдісінде біз нақты қандай заттардың тотығып, тотықсызданып жатқанын байқай алмаймыз. Сонымен қатар, жартылай-иондық баланс әдісінде жалпыла алынады, ал жаңа әдісте қосылыстардағы көміртек атомдарының ортақ тотығу дәрежесін көре аламыз.

Химиялық байланысты гетеролитті үзілудің жаңа әдісін қолдана отырып, сабақ нәтижелері оқу процесіне және студенттердің реакцияларды теңестіруде айтарлықтай әсер етті. Талқылаудың негізгі тармақтары:

- уақыт тиімділігі: реакцияны теңестіруде тезірек игеруге мүмкіндік береді. Бұл әсіресе уақыт шектеулі жағдайда пайдалы болады;
- көміртек атомдарының тотығу дәрежелері барлық молекула бойынша біркелкі делокализациялануы;
- дәлдігі;



**Қорытынды.** Жаңа әдістің негізгі артықшылығы – күрделі органикалық қосылыстарда көміртек атомдарының тотығу дәрежелері барлық молекула бойынша біркелкі делокализациялануы. Бұл қасиет резонанс теориясын растайтын ерекше тотығу-тотықсыздану әдісі ретінде танымал. Сонымен қатар, жаңа әдіс электрондық баланс әдісімен салыстырғанда маңызды артықшылықтарға ие. Электрондық баланс әдісінде әрбір көміртек атомына жеке тотығу дәрежелері тағайындалады, бұл олардың орындарын шатастыру арқылы реакция теңдеуінің қателіктеріне әкелуі мүмкін. Ал жаңа әдісте көміртек атомдарының тотығу дәрежелері ортақ болып табылады, сондықтан мұндай қателіктердің алдын алады.

*Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:*

1. Silverstein T. P. Oxidation and reduction: Too many definitions? *Journal of Chemical Education*. – 2011 - №88(3) – P. 279–281. <https://doi.org/10.1021/ed100777q>
2. Loock J. *Chem. Educ.* – 2011 - №88 – P. 282–283.
3. Chang R., Goldsby, K. A. *Chemistry (11th ed.)*. USA: McGraw-Hill International Edition. – 2013 - №11
4. Herndon W. C. On balancing chemical equations: past and present - a critical review and annotated bibliography. *Journal of Chemical Education*. – 1997 - №74(11) – P. 1139–1362.
5. Porter S. K. How should equation balancing be taught? *Journal of Chemical Education*. – 1985 - №62(6) – P. 507–508.
6. Dukov I. L. Balancing of oxidation-reduction (Redox) reactions with higher boranes participation: Oxidation number method or material balance method? *Chemistry: Bulgarian Journal of Science Education*. – 2017 - №26(6) – P. 874–880.
7. Blakley G. R. Chemical equation balancing - a general method which is quick, simple and has expected applications. *Journal of Chemical Education*. – 1982 - №59(9) – P. 728–734.
8. Goodstein M. P. Interpretation of oxidation-reduction. *Journal of Chemical Education*. – 1970 - №47(6) – P. 452–457.
9. Karen P. Oxidation State, a long-standing issue! *Angewandte Chemie International Edition*. – 2015 - №54 – P. 4716–4726.
10. Generalic E., Vladislavic N. Aggregate redox species method – An improved oxidation number change method for balancing redox equations. *Chemistry Journal*. – 2018 - №4(3) – P. 43–49.
11. Guo C. A new inspection method for balancing redox equations. *Journal of Chemical Education*. – 1997 - №74(11) – P. 1365–1366.
12. Fishtik I., Berka L. H. (2005). Procedure for decomposing a redox reaction into half-reactions. *Journal of Chemical Education*. – 2005 - №82(4) – P. 553–557.
13. Tro N. J. *Chemistry—A molecular approach (3rd ed.)*. USA: Pearson. – 2014 - №3
14. Jurowski K., Krzeczowska M. K., Jurowska A. Approaches to determining the oxidation state of nitrogen and carbon atoms in organic compounds for high school students. *Journal of Chemical Education*. – 2015 - №92 – P. 1645–1652.
15. Capaldo L., Ravelli, D. Hydrogen atom transfer (HAT): A versatile strategy for substrate activation in photocatalyzed organic synthesis. *European Journal of Organic Chemistry*. – 2017 - №15 – P. 2056–2071. <https://doi.org/10.1002/ejoc.201601485>
16. Lucci F. R., Darby M. T., Mattera M. F. G., Ivimey C. J., Therrien A. J., Michaelides A., Sykes E. C. H. Controlling hydrogen activation, spillover, and desorption with Pd-Au single-atom alloys. *The Journal of Physical Chemistry Letters*. – 2016 - №7(3) - 480–485.
17. Yuen P. K., Lau C. M. Application of stoichiometric hydrogen atoms for balancing organic combustion reactions. *Chemistry Teacher International*. – 2021 - №3(3) - P. 313–323.
18. Jensen W. B. *Chem. Educ* – 2009 – 86 – P. 681–682.
19. Olson J. A. *Chem. Educ* – 1997 – 74 – P. 538–542.



References:

1. Silverstein T. P. Oxidation and reduction: Too many definitions? *Journal of Chemical Education*. – 2011 - №88(3) – P. 279–281. <https://doi.org/10.1021/ed100777q>
2. Loock J. *Chem. Educ.* – 2011 - №88 – P. 282–283.
3. Chang R., Goldsby, K. A. *Chemistry (11th ed.)*. USA: McGraw-Hill International Edition. – 2013 - №11
4. Herndon W. C. On balancing chemical equations: past and present - a critical review and annotated bibliography. *Journal of Chemical Education*. – 1997 - №74(11) – P. 1139–1362.
5. Porter S. K. How should equation balancing be taught? *Journal of Chemical Education*. – 1985 - №62(6) – P. 507–508.
6. Dukov I. L. Balancing of oxidation-reduction (Redox) reactions with higher boranes participation: Oxidation number method or material balance method? *Chemistry: Bulgarian Journal of Science Education*. – 2017 - №26(6) – P. 874–880.
7. Blakley G. R. Chemical equation balancing - a general method which is quick, simple and has expected applications. *Journal of Chemical Education*. – 1982 - №59(9) – P. 728–734.
8. Goodstein M. P. Interpretation of oxidation-reduction. *Journal of Chemical Education*. – 1970 - №47(6) – P. 452–457.
9. Karen P. Oxidation State, a long-standing issue! *Angewandte Chemie International Edition*. – 2015 - №54 – P. 4716–4726.
10. Generalic E., Vladislavic N. Aggregate redox species method – An improved oxidation number change method for balancing redox equations. *Chemistry Journal*. – 2018 - №4(3) – P. 43–49.
11. Guo C. A new inspection method for balancing redox equations. *Journal of Chemical Education*. – 1997 - №74(11) – P. 1365–1366.
12. Fishtik I., Berka L. H. (2005). Procedure for decomposing a redox reaction into half-reactions. *Journal of Chemical Education*. – 2005 - №82(4) – P. 553–557.
13. Tro N. J. *Chemistry—A molecular approach (3rd ed.)*. USA: Pearson. – 2014 - №3
14. Jurowski K., Krzeczowska M. K., Jurowska A. Approaches to determining the oxidation state of nitrogen and carbon atoms in organic compounds for high school students. *Journal of Chemical Education*. – 2015 - №92 – P. 1645–1652.
15. Capaldo L., Ravelli, D. Hydrogen atom transfer (HAT): A versatile strategy for substrate activation in photocatalyzed organic synthesis. *European Journal of Organic Chemistry*. – 2017 - №15 – P. 2056–2071. <https://doi.org/10.1002/ejoc.201601485>
16. Lucci F. R., Darby M. T., Mattera M. F. G., Ivimey C. J., Therrien A. J., Michaelides A., Sykes E. C. H. Controlling hydrogen activation, spillover, and desorption with Pd-Au single-atom alloys. *The Journal of Physical Chemistry Letters*. – 2016 - №7(3) - 480–485.
17. Yuen P. K., Lau C. M. Application of stoichiometric hydrogen atoms for balancing organic combustion reactions. *Chemistry Teacher International*. – 2021 - №3(3) - P. 313–323.
18. Jensen W. B. *Chem. Educ* – 2009 – 86 – P. 681–682.
19. Olson J. A. *Chem. Educ* – 1997 – 74 – P. 538–542.