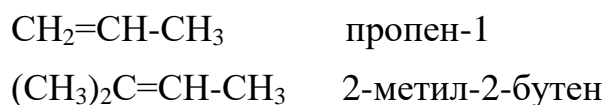


Курта С.А. Органічна хімія.
ЛЕКЦІЯ №4
РОЗДІЛ 5. АЛКЕНИ (ОЛЕФІНИ, НЕНАСИЧЕНІ
ВУГЛЕВОДНІ)

Алкенами називають вуглеводні, у молекулах яких міститься один подвійний зв'язок С=С. Їх також називають *етиленовими вуглеводнями*, або *олефінами*.

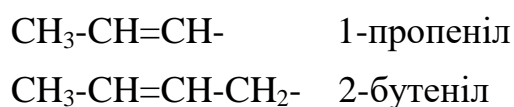
Алкени утворюють гомологічний ряд із загальною формулою C_nH_{2n} . Родоначальник ряду – етен (етилен) $CH_2=CH_2$.

За номенклатурою ІУРАС назви алкенів утворюють від назв відповідних алканів заміною суфікса *-ан* на *-ен*. Головний ланцюг обов'язково повинен включати подвійний зв'язок, і його нумерацію починають з того кінця, ближче до якого розташований подвійний зв'язок. Положення подвійного зв'язку в ланцюзі молекули позначають локантом – положенням атома карбону, біля якого він знаходиться. Цю цифру прийнято ставити перед назвою основного ланцюга, але дозволяється ставити її і в кінці. Наприклад:

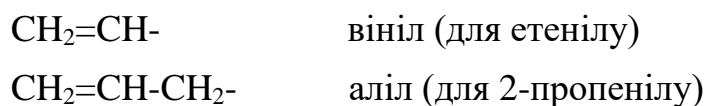


Зберігається і несистематична назва етилену $CH_2=CH_2$.

Назви одновалентних радикалів – похідних ненасичених ациклічних гідрокарбонів – закінчуються на *еніл*. У разі необхідності вказують положення подвійного зв'язку. Наприклад:

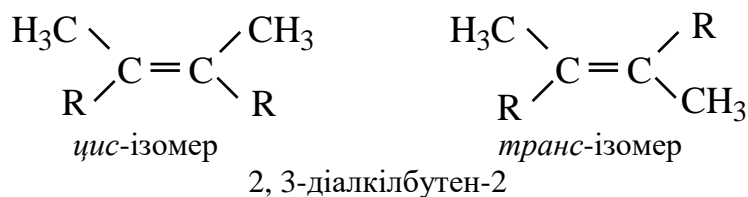


Як виняток зберігаються такі назви:



Структурна ізомерія алкенів пов'язана не тільки з розгалуженням карбонового скелета, але і з положенням подвійного зв'язку. Тому кількість структурних ізомерів для алкенів більша, ніж для алканів. Так, для гексену C_6H_{12} відомо 13 структурних ізомерів, для C_7H_{14} – 27 ізомерів.

Крім структурної ізомерії, для алкенів характерна також геометрична (*цис* (*Z*), *транс* (*E*)) ізомерія. Так, 2-бутен існує у вигляді *цис*- і *транс*-ізомерів, які відрізняються значенням фізичних констант:



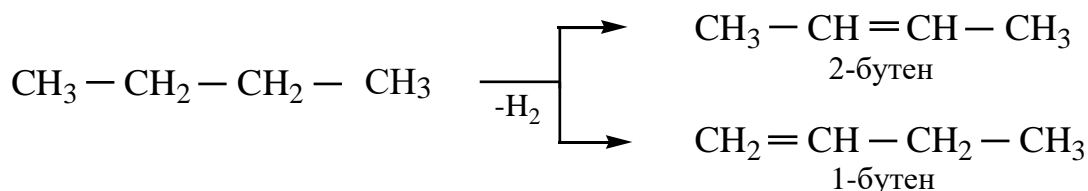
5.1 Методи одержання

Алкени $\text{C}_2\text{-C}_4$ широко застосовують у першу чергу як мономери для синтезу полімерів (поліетилен, поліпропілен тощо). Тому важливого значення набули методи їх одержання.

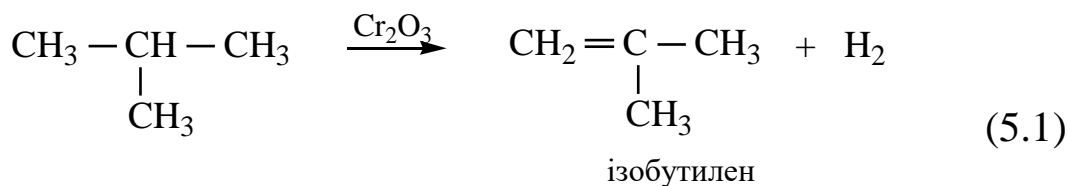
Промислові методи одержання

1. Виділення з продуктів крекінгу нафти та природного газу або безпосередньо з деяких сортів нафти, зокрема олефінової, що містить суміш олефінів $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{-C}_{13}\text{H}_{26}$ – найпростіший шлях їх добування. Частіше з метою отримання саме алкенів застосовують крекінг нафти.

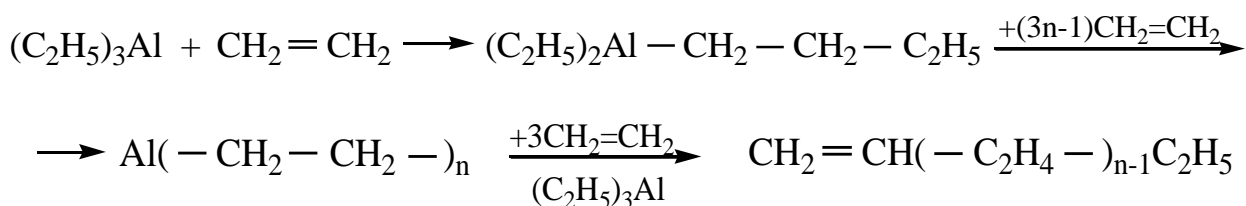
2. Дегідрування алканів відбувається за температури до 600°C , інакше можливий розрив C-C -зв'язків (крекінг):



Легше дегідрування проходить для ізобутану.



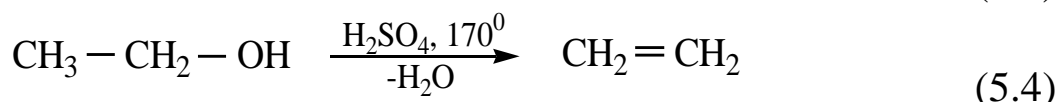
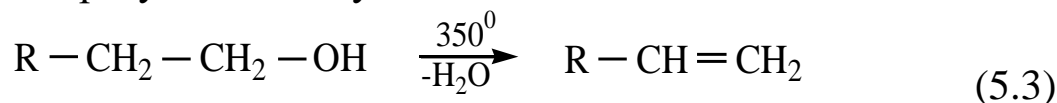
3. Синтез α -алкенів за допомогою алюмінійорганічних сполук. Під дією сполук на зразок триетилалюмінію відбувається приєднання алкенів (етилену) до $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$ з утворенням вищих α -алкенів (α -олефінів):



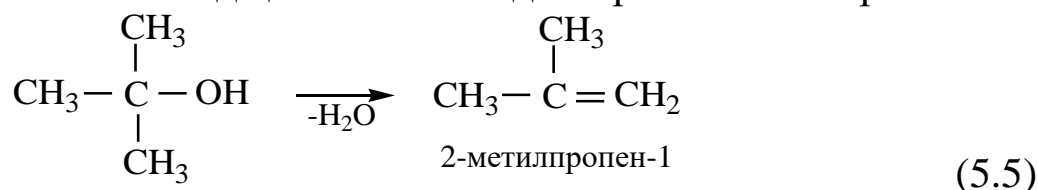
(5.2)

Лабораторні методи одержання

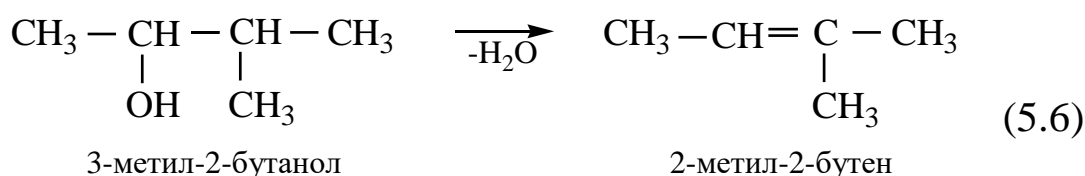
1. Дегідратація спиртів проходить у присутності каталізаторів на зразок дегідратуючих сполук H_2SO_4 , Al_2O_3 , H_3PO_4 :



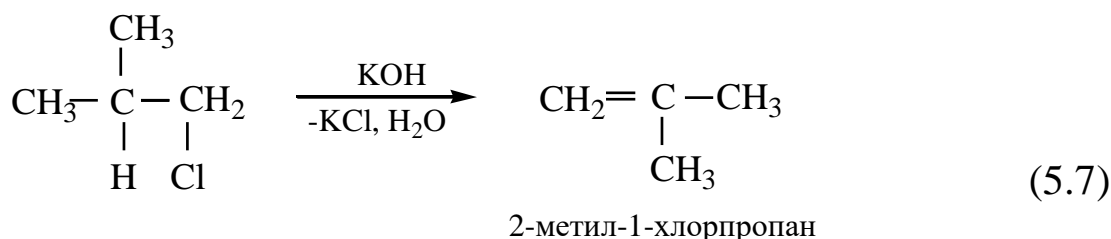
Особливо легко відщеплюється вода в третинних спиртів:



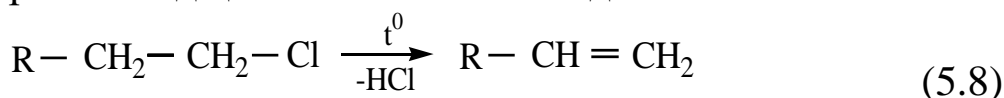
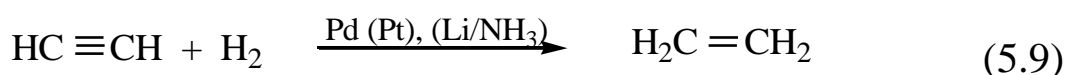
Відщеплення води від спиртів з розгалуженою структурою підпорядковується *правилу О. Зайцева*: гідроген найлегше відщеплюється від найменш гідрогенізованого атома карбону, що знаходиться в β -положенні до OH -групи:



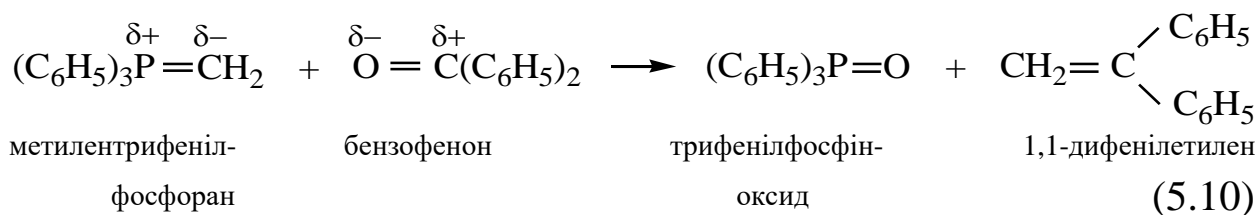
2. Відщеплення галогеноводнів або галогенів від галогеналканів. Під час дії на галогеналкани спиртового розчину луку утворюються алкени внаслідок лужного дегідрогалогенування:



Можливе й термічне відщеплення галогеноводню:

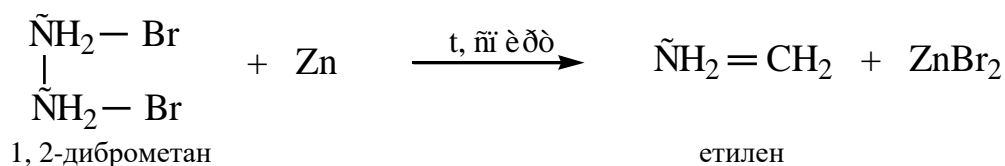
**3. Гідрування алкінів та алкадієнів:**

4. Синтез за допомогою фосforoорганічних сполук – реакція Г. Віттіга, У. Шелькопфа.



Перевага цього методу над іншими полягає в тому, що з'являється можливість синтезу алкену із чітко визначеним положенням подвійного зв'язку в молекулі.

5. Дегалогенування віціальних дигалогенпохідних алканів.
Для проведення цієї реакції на дигалогенпохідне алкану діють цинковим пилом під час нагрівання в спиртовому розчині:



5.2 Фізичні властивості

Перші три представники алкенів $\text{C}_2\text{-C}_4$ – гази, $\text{C}_5\text{-C}_{17}$ – рідини, починаючи із C_{18} – тверді речовини. Густина алкенів вища, ніж алканів з тією самою кількістю атомів карбону. Зі збільшенням молекулярної маси підвищуються температури топлення і кипіння. Алкени з нормальною будовою киплять за вищої температури, ніж їх розгалужені ізомери. Температура кипіння *цис*-ізомерів вища, ніж *транс*-ізомерів. Алкени слабо розчиняються у воді, але набагато краще ніж алкани.

Перший представник голомогічного ряду етилен – неполярна сполука, його дипольний момент μ дорівнює нулю. Для несиметричних алкенів характерні невеликі значення дипольних моментів завдяки донорним властивостям алкільних груп. Але подвійний зв'язок легко поляризується під дією замісника, особливо в умовах реакції.

5.3 Хімічні властивості

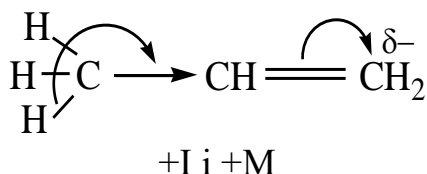
Хімічні властивості алкенів зумовлені наявністю подвійного $>\text{C}=\text{C}<$ зв'язку. Електрони π -зв'язку розташовані далі від атомних

ядер, ніж електрони σ -зв'язку, вони рухливіші, і енергія π -зв'язку менша, ніж енергія σ -зв'язку. Так, для етану $E_{C-C} = 331,2$ кДж/моль, а для етилену $E_{C=C} = 591,6$ кДж/моль. Різниця в енергіях подвійного й одинарного зв'язків дорівнює 260,4 кДж/моль.

Це пояснює той факт, що під дією реагентів, у першу чергу електрофільних, розщеплюється π -зв'язок як найслабший і відбувається приєднання замісників з утворенням нових π -зв'язків:



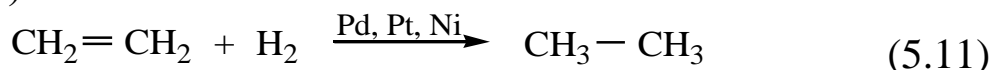
Легкість поляризації π -зв'язку під дією замісника збільшується в процесі реакції завдяки впливу розчинника, реагентів, каталізатора, температури. Це викликає зростання поляризованості (реакційної здатності) подвійного зв'язку практично в усіх хімічних перетвореннях алкенів:



Подвійний зв'язок алкенів характеризується плоскою будовою, виявляє електронодонорні властивості, легко вступає в реакції електрофільного приєднання A_E , не дозволяє вільно обертатися замісникам навколо подвійного зв'язку, легко поляризується під дією зовнішніх і внутрішніх сил.

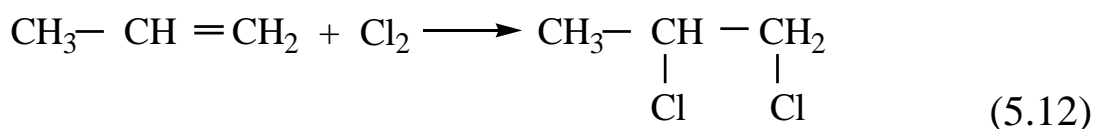
5.3.1 Реакції приєднання

1. Гідрування алкенів. Алкени легко приєднують водень, але тільки в присутності каталізаторів, з виділенням тепла (екзотермічний процес):



Для розгалужених алкенів гідрування проходить тим легше, чим менші замісники розташовані біля подвійного зв'язку (**правило С. Лебедева**).

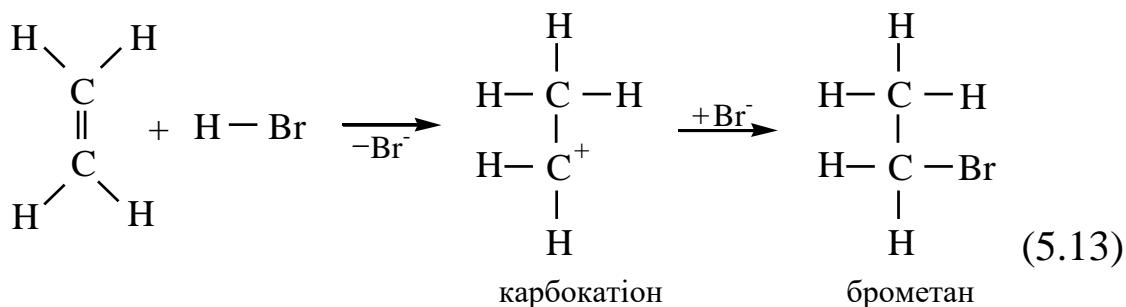
2. Галогенування. До алкенів легко приєднують галогени з утворенням віцинальних дигалогенопохідних:



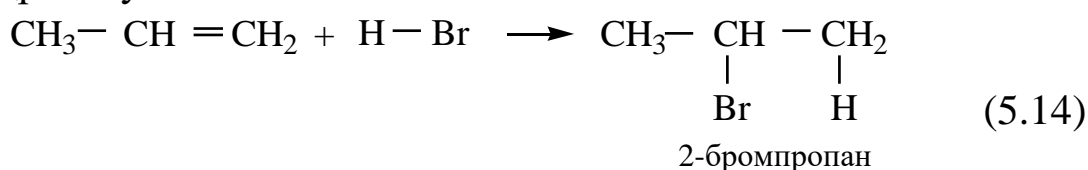
1,2-дихлоретан

Швидкість приєднання залежить від природи галогену й будови алкену. Так, флуор реагує із займанням і вибухом. Хлор легко вступає в реакцію приєднання на світлі з вибухом. Бромовання вже вимагає нагрівання, а йодування здійснюється важко.

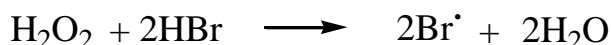
3. Гідрогалогенування. Взаємодія алкенів з галогеноводнями залежить як від будови ненасиченої сполуки, так і від природи HHal або сили їх кислотності. Зміна реакційної здатності галогеноводнів відносно алкенів зменшується в ряду: HI > HBr > HCl > HF:

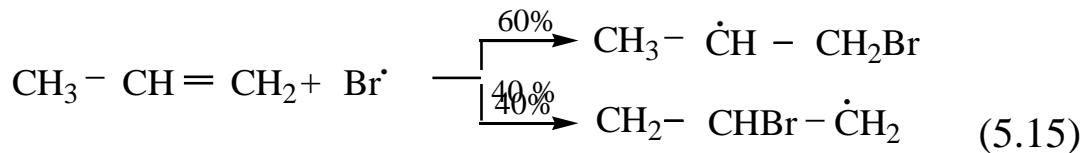


Для несиметричних алкенів приєднання гідрогенгалогенідів відбувається за *правилом В. Марковнікова*: гідроген (позитивно заряджений атом або радикал) приєднується до найбільш гідрогенізованого атома карбону, тобто до того, до якого приєднано більше атомів гідрогену:

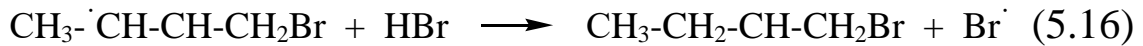


Пероксидний ефект (М. Хараша і Ф. Майо, 1933). У присутності сполук, здатних в умовах реакції утворювати вільні радикали, приєднання гідрогенгалогенідів відбувається всупереч правилу Марковнікова. При цьому в реакційному середовищі завжди присутні домішки розчиненого кисню, який сприяє утворенню радикалів. Отже, реакція такого приєднання галогеноводнів до алкену проходить за радикальним механізмом:

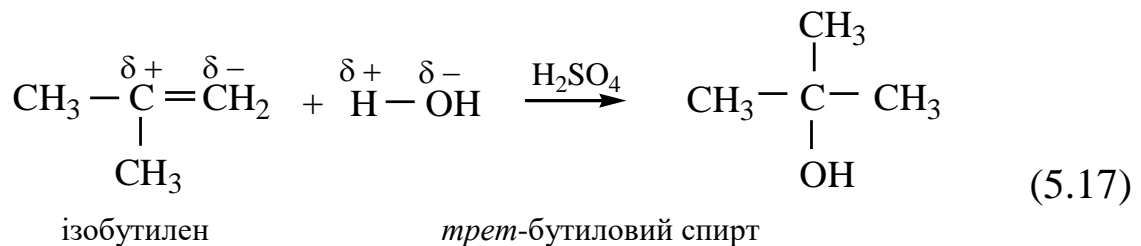




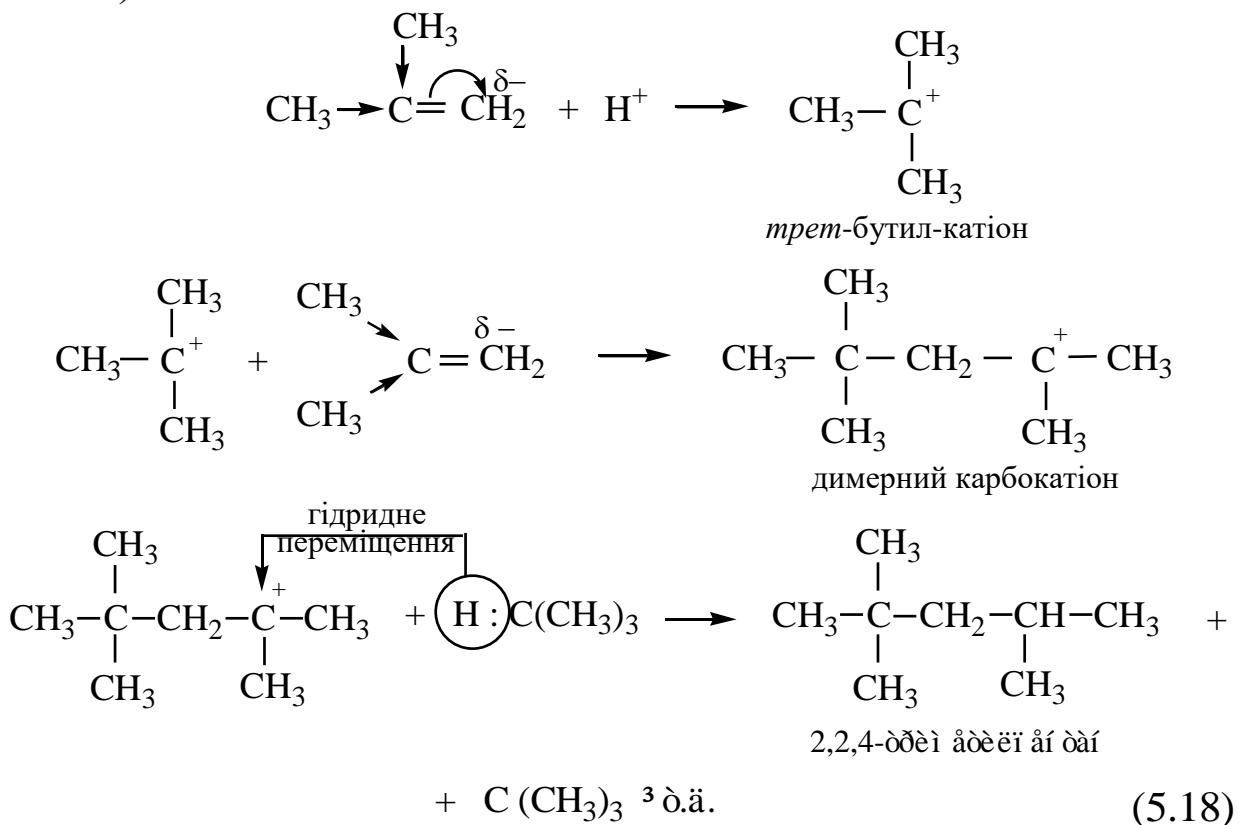
Оскільки 1-бром-2-пропіл є більш стабільним радикалом завдяки делокалізації, він домінує в реакційній масі та взаємодіє з HBr:



4. Гідратація алкенів відбувається в присутності мінеральних кислот, найчастіше сульфатної, за правилом Марковнікова.



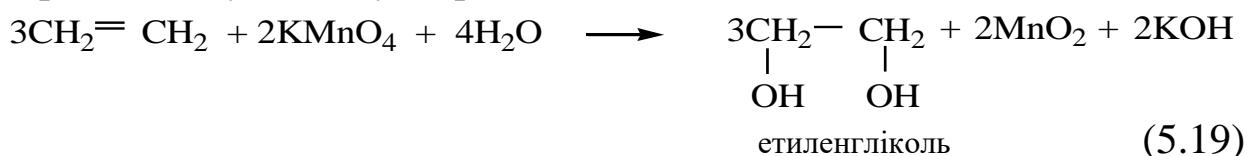
5. Алкілування алкенів. Реакцію широко використовують для одержання розгалужених алканів, у першу чергу, для синтетичного моторного палива. Реакція відбувається в присутності мінеральних кислот, наприклад сульфатної, і третинних алканів (алкілюючих агентів):



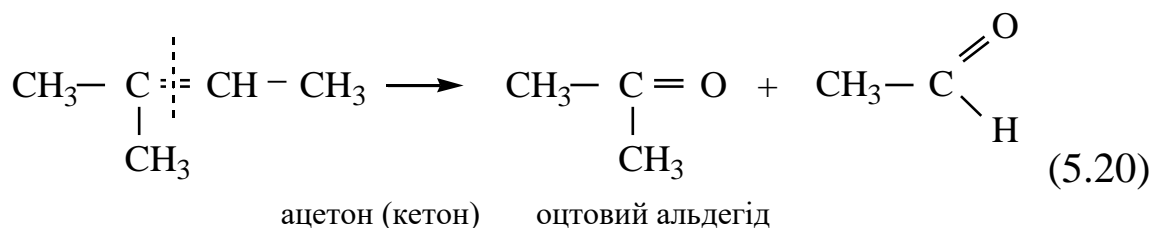
5.3.2 Окиснення алкенів

Алкени легко окиснюються і, залежно від природи окисника й умов реакції, утворюють різні продукти: епоксиди, гліколі, альдегіди, кетони та карбонові кислоти.

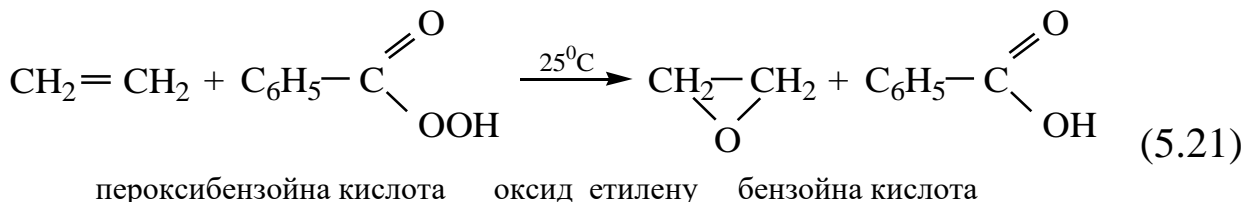
Окиснення розчином $KMnO_4$. Під час окиснення алкенів у нейтральному або слаболужному середовищі розведеним розчином перманганату калію утворюються гліколі:



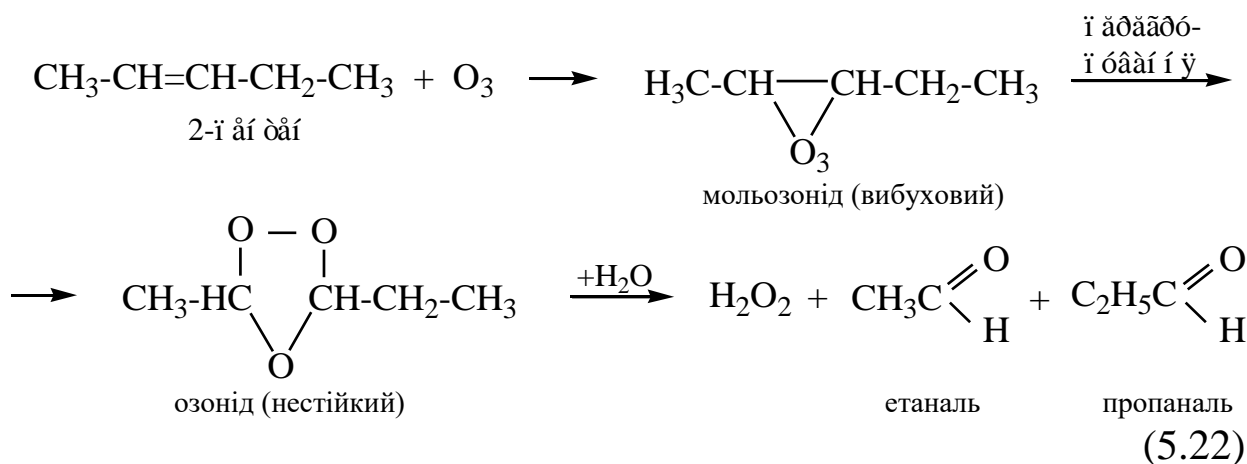
Дія сильних окисників (конц. розчин $KMnO_4$, CrO_3 , $K_2Cr_2O_7$). Під час нагрівання спостерігається розщеплення подвійного зв'язку й утворення кетонів, альдегідів чи карбонових кислот:



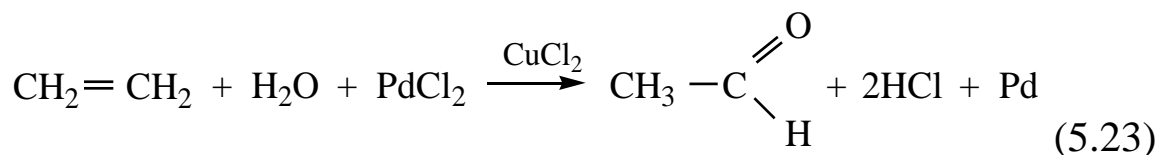
Окиснення органічними пероксидами (реакція М. Прилежаєва):



Реакція озонування (К. Гаррієс) відбувається селективно за подвійним зв'язком з утворенням, у результаті, пероксиду, альдегідів і кетонів.



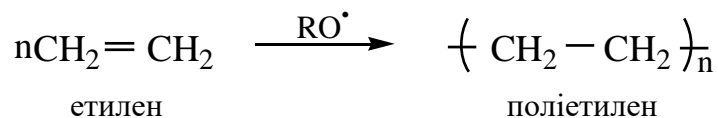
Окиснення в присутності солей паладію. Цей спосіб використовують у промисловості для синтезу оцтового альдегіду з етилену:



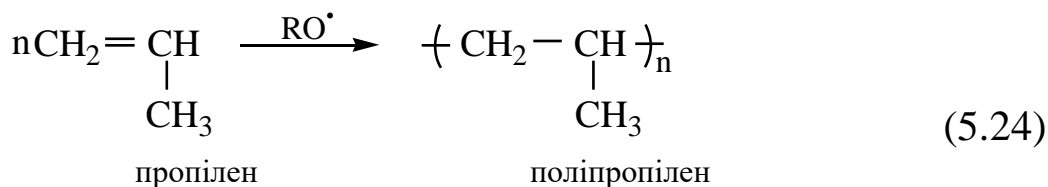
5.3.3 Реакції полімеризації

Молекули алкенів здатні приєднуватися за певних умов одна до одної з розкриттям π -зв'язків та утворенням димерів, тримерів тощо (реакція олігомеризації) або високомолекулярних сполук – полімерів. Утворення полімеру з великої кількості молекул мономеру називається *реакцією полімеризації*.

Наприклад, під дією радикальних ініціаторів або під час нагрівання з етилену синтезують поліетилен з n -ною кількістю ланок мономерного етилену в полімері:



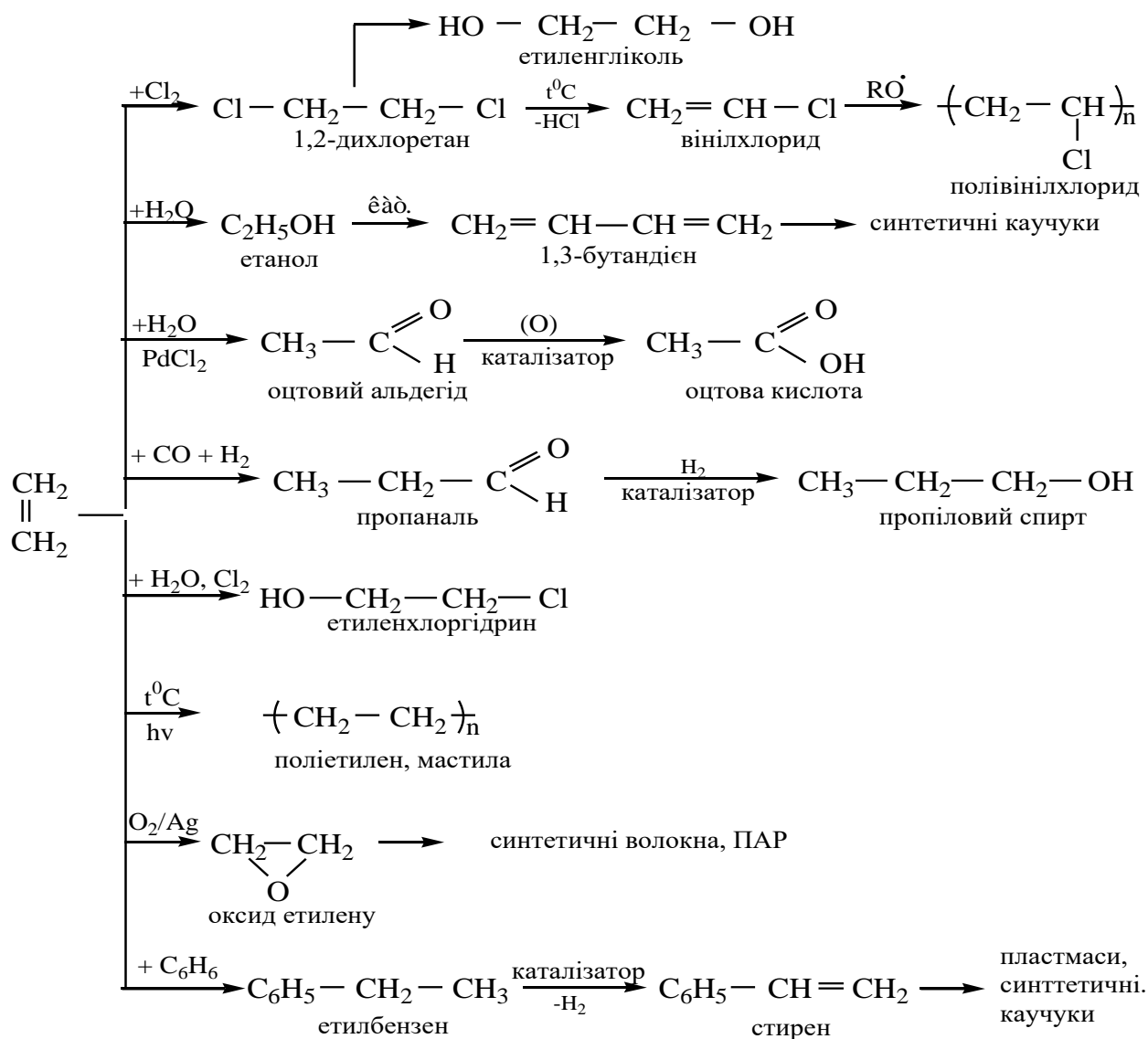
Аналогічно проходить утворення інших поліолефінів, наприклад поліпропілену:



Ініціаторами полімеризації є кислоти, пероксиди, метали тощо. Реакцію полімеризації реалізують також під дією температури, різноманітного опромінення.

Полімери на основі алкенів мають високі механічні властивості, що зумовлює їх значне застосування в різних галузях людського життя.

5.4 Практичне застосування етилену



Питання для самоконтролю

Алкени

1. Ненасичені вуглеводні. Будова, ізомерія, номенклатура, методи одержання, хімічні властивості. Реакції за правилом Марковнікова та пероксидним ефектом Хараща.

2. Етиленові вуглеводні. Основні закономірності зміни фізичних і хімічних властивостей у гомологічному ряду. Лабораторні й промислові способи одержання. Характерні реакції приєднання й окиснення.

3. Укажіть геометричну форму й величину валентного кута для трьох еквівалентних sp^2 -орбіталей.

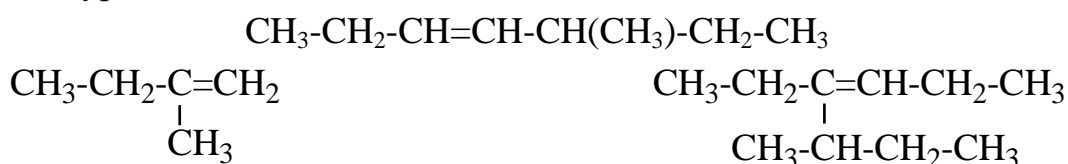
4. Які орбіталі беруть участь в утворенні σ -зв'язків у молекулі 1-бутену?

5. Які орбіталі (s , p , гібридні) беруть участь в утворенні ковалентних зв'язків (σ , π) у молекулах пропілену, ізобутилену?

6. Які види ковалентних зв'язків присутні в молекулах 2-бутену, 1-пентену, 2-метил-2-пентену?

7. Напишіть структури етилену, пропілену й бутилену за допомогою "октетних" формул.

8. Назвіть такі вуглеводні за систематичною і раціональною номенклатурою:



9. Напишіть структурні формули таких вуглеводнів, названих за раціональною і систематичною номенклатурою: ізобутилен, *сим*-метилізопропілетен, *несим*-метилізопропілетен.

10. Напишіть структурні формули ізомерних вуглеводнів складу C_5H_{10} і назвіть їх за систематичною номенклатурою.

11. Напишіть структурні формули ізомерних вуглеводнів складу C_6H_{12} і назвіть їх за систематичною номенклатурою.

12. Напишіть проєкційні формули геометричних *Z*,*E*-ізомерів наступних вуглеводнів: $\text{CH}_3\text{-CH=CH-CH}_3$; $\text{CH}_3\text{-CH=CH-CH}_2\text{-CH}_3$;
 $\text{CH}_3\text{-CH(CH}_3\text{)-CH=CH-CH(CH}_3\text{)-CH}_3$

13. Чому геометрична ізомерія можлива тільки для алкенів, а не для алканів? Напишіть і назвіть геометричні ізомери сполук:

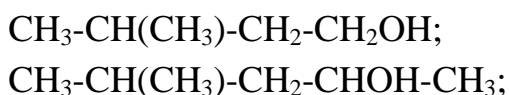


14. Напишіть алкени, які утворюються в результаті втрати протона катіонами такої будови. Якщо утворюється суміш, укажіть який алкен у ній переважає:



15. Розташуйте наступні вуглеводні в порядку зростання їх температури кипіння: гексен-1, гексен-2, 2-метил-1-пентен, 2,3-диметил-1-бутен.

16. Отримайте етиленові вуглеводні дегідратацією таких спиртів:





17. Отримайте алкени з таких галогенпохідних: бромистого *втор*-бутилу; бромистого ізопентилу; 2-бromo-3-метилгексану, 2-бromo-3-метилпентану.

18. Які вуглеводні отримують при дії цинку на такі дигалогенпохідні: 2,3-дибромопентан, 2,3-дибromo-2-метилпентан?

19. Укажіть, з яких дигалогенпохідних при взаємодії із цинком можна отримати такі алкени:



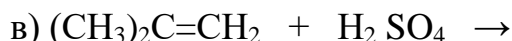
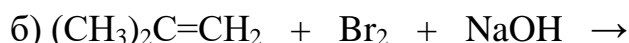
Алкени й дигалогенпохідні назвіть.

20. Який вуглеводень отримують при відновленні 2,3,4-триметил-2-пентену?

21. Якими способами можна отримати 1-бутен?

22. Отримайте 2-пентен із сполук: а) 2-бромопентану; б) 1-пентанолу; в) 2,3-дибромпентану; г) 2-пентину.

23. Напишіть рівняння реакцій і назви сполук, що утворюються при взаємодії:



24. Напишіть рівняння реакцій та назвіть продукти, які утворюються при дії таких сполук на пропен: а) розчин хлору в тетрахлорометані; б) хлорна вода. Укажіть умови реакцій.

25. Дайте теоретичне обґрунтування правилу Марковнікова на прикладі приєднання гідроген броміду до 1-бутену.

26. При взаємодії етилену з дибораном утворюється триалкілборан; реакція диборану з 2-метил-2-бутеном приводить до діалкілборану, а 2,4,4-триметил-2-пентен у цих самих умовах дає моноалкілборан. Яка структура цих адуктів? Поясніть залежність результатів цієї реакції від ступеня алкілування вихідних алкенів.

27. 4-Метил-1-пентен перетворіть у 4-метил-2-пентен. Напишіть реакції їх окиснення концентрованим розчином перманганату калію.

28. Отримайте ізопропілетилен з відповідного спирту й напишіть реакції перетворення його в триметилетилен.

29. Напишіть схему перетворення 3-метил-1-пентену в 3-метил-2-пентен і для останнього напишіть реакції з HCl і HOCl.

30. Які сполуки можна отримати з пропену й ізомерних бутенів при дії на них сульфатної кислоти і потім води?

31. Який вуглеводень отримують при дії спиртового розчину лугу на 2-бromo-2,4-диметилпентан? Назвіть отриманий вуглеводень і напишіть для нього реакції з HCl і H₂SO₄.

32. Сполука складу C_6H_{12} при озонолізі дає два продукти, один з яких ацетон $(CH_3)_2CO$. Яка з нижче наведених сполук відповідає цим фактам?

- а) $CH_3CH=CHCH(CH_3)_2$ б) $CH_3CH_2CH=C(CH_3)_2$
в) $CH_3C(C_2H_5)=CHCH_3$ г) $(CH_3)_2C=C(CH_3)_2$
д) $CH_3CH=C(CH_3)C_2H_5$

Напишіть рівняння реакцій озонування кожної із цих сполук.

33. При пропусканні пропену через хлорну воду, яка містить нітрат-йони, утворюється три продукти. Які це продукти? Назвіть їх та напишіть рівняння реакцій. Що утвориться при взаємодії 2-метилпропену з нітрозилхлоридом $NOCl$, який реагує як NO^+Cl^- ?

34. Стереохімія реакцій електрофільного приєднання (*цис-транс*-приєднання) до подвійних $C=C$ -зв'язків.

35. Поняття про реакції полімеризації. Вільнорадикальний, іонний і стереорегулярний механізми полімеризації.

36. Які вуглеводні отримують при дегідратації: а) *втор*-бутилового спирту; *трет*-пентилового спирту; в) неопентилового спирту? Розгляньте механізм дегідратації.

37. Отримайте будь-яким методом 2-метил-1-пентен і напишіть для нього реакції з HBr і $NOCl$. Розгляньте механізм реакції електрофільного приєднання.

38. З відповідного галогенпохідного отримайте 3-метил-1-пентен. Напишіть реакції алкену з HBr в присутності пероксиду й без нього. Розгляньте механізм реакції.

39. Зі спирту відповідної будови отримайте 2-етил-4-метил-1-пентен і напишіть для нього реакції електрофільного приєднання. Заповніть пропуски в рівняннях реакцій і вкажіть умови, при яких проходить дана реакція:

- а) $CH_2=CH_2 + ? \rightarrow CH_3CH_2OH$
б) $CH_3CH=CH_2 + HBr + \text{пероксид} \rightarrow ?$
в) $(CH_3)_2C=CH_2 + Br_2 + H_2O + HNO_3 \rightarrow ?$
г) $CH_3CH=CH_2 + HPO_3 \rightarrow ?$
д) $CH_3CH_2CH=CH_2 + ? \rightarrow CH_3CH_2CH(OH)CH_2OH$
е) $(CH_3)_2CHCH=CHCH_3 + ? \rightarrow (CH_3)_2CHCHO + CH_3CHO$

40. Бромалкани можуть реагувати зі спиртовим розчином гідроксиду калію, утворюючи алкени:

а) запишіть рівняння реакції 1-бромобутану зі спиртовим розчином гідроксиду калію;

б) 1) який максимальний об'єм (газоподібного) алкену (виміряний при нормальних умовах) може бути отриманий з 6,85 г 1-бромобутану? 2) реальний об'єм отриманого алкену менший від обчисленого об'єму. Які ще перетворення проходять у реакційній суміші?

в) укажіть структурні формули ізомерних алканів, які утворюються при обробці 2-бромобутану спиртовим розчином гідроксиду калію;

г) запишіть структурну формулу алкену, отриманого при реакції 2-бromo-2-метилпропану зі спиртовим розчином гідроксиду калію;

д) рівні кількості 1-бромобутану (А) і 2-бromo-2-метилпропану (Б) окремо реагували з спиртовим розчином гідроксиду калію в однакових умовах. З якого галогеналкану, А чи Б, утвориться більша кількість алкену?

41. Етилен і пропілен. Промислові методи одержання та переробки. Поліетилен, поліпропілен, стереорегулярні полімери.

42. Олефіни, технічні властивості та використання, синтези на основі олефінів.

43. Технічне одержання олефінів у процесах крекінгу й піролізу.

44. Пряма гідратація олефінів. Теоретичні основи. Механізм і кінетика реакцій.

45. Адитивне хлорування олефінів. Механізм приєднання за подвійним зв'язком.

46. Класифікація реакцій алкілування. Алкілюючі агенти й каталізатори.

47. Хімія пропілену та синтези на основі пропілену.

48. Етилен полімеризується просто при нагріванні в присутності кисню під високим тиском. Яка роль кисню в цьому процесі?

49. Полімеризація завжди протікає екзотермічно. Чим це пояснюється?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Курта С.А., Лучкевич Є.Р., Матківський М.П. Хімія органічних сполук. Підручник для вищих навчальних закладів. м. Івано-Франківськ: При-карпат.нац.ун-т ім. В.Стефаника, 2013. – 599 с. вид-во. Прикарпат. нац. у-ту. Авторські права захищені свідоцтвом про реєстрацію авторського права на твір № 52578 від 13.12.2013 р. державним департаментом інтелектуальної власності МОН України.
2. Ластухін Ю. О. Органічна хімія : підруч. [для вищ. навч. закл.] / Ластухін Ю. О., Воронов С. А. – Л. : Центр Європи, 2001. – 864 с.
3. Будова і реакційна здатність органічних сполук / Ганущак М. І., Кириченко В. І., Клим М. І. та ін. – К. : НМК ВО, 1992. – 216 с.
4. Курта С.А. Хімія та технологія високомолекулярних речовин : навчально-методичний посібник / Курта С.А., Курганський В.С. – Івано-Франківськ : ВДВ ЦІТ Прикарпат. нац. ун-ту ім. В. Стефаника, 2006. – 132 с. – (Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір. № 25394 від 20.08.2008 р.).
5. Курта С. А. Будова речовини : навчально-методичний посібник / Курта С. А. – Івано-Франківськ ; Калуш : ВДВ ЦІТ Прикарпат. нац. ун-ту ім. В. Стефаника, 2007. – 162 с. – (Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір. № 25395 від 20.08.2008 р.).
6. Курта С. А. Хімія і технологія хлорорганічних сполук : монографія / С. А. Курта. – Івано-Франківськ : ВДВ ЦІТ Прикарпат. нац. ун-ту ім. В. Стефаника, 2009 р. – 262 с. – (Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір в Україні № 30576 від 08.10.2009).
7. Хімія : збірник тестів для абітурієнтів, які вступають на спеціальності “Хімія” та “Агрохімія і ґрунтознавство” / Курта С. А., Лучкевич Є. Р., Матківський М. Г. та ін. – Івано-Франківськ : Плай, 2005. – 184 с.

8. Лучкевич Є.Р. Хімія ароматичних азосполук : монографія / Є.Р.Лучкевич. – Івано-Франківськ : ВДВ ЦІТ Прикарпат. нац. ун-ту ім. В. Стефаника, 2013 р. – 295 с.
9. Курта С.А. Природні вуглеводи і полісахариди. Навчальний посібник. ISBN 978-966-8969-84-3. Видав: Супрун В.П.76025, Івано-Франківськ, вул. В.Великого,12,аХТел.: (0342) 71-04-40,e-mail:printsv@ukr.net, Свід. про внесення до Держреєстру від 17.10.2005р. Серія ІФ №25. – 100с.
10. Стельмах Г.І., Микитин І.М., Курта С.А., Лясковська М.Р., Методичні вказівки до лабораторних та практичних робіт з курсу «Хімія ВМС». МОН ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,Івано-Франківськ 2019, 92 с.
11. Серняк І.М., Микитин І.М., Курта С.А., Лясковська М.Р., Методичні вказівки до лабораторних робіт з Органічної хімії(ароматичні вуглеводні). МОН ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,Івано-Франківськ 2019, 119 с.
12. Курта С.А. Основи нафтохімії. Навчальний посібник. Друк: Голіней О.М..76008, Івано-Франківськ, вул. Галицька 128 Тел.: (0342) 58-04-32(+380505403064 – 193 с.(друк. арк. 11,62) Рішення Вченої Ради Факультету природничих наук ПНУ, протокол №3 від «12» грудня 2019 року. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір.№95904 від 10..02.2020р. ст.1.Рішення Мінекономіки торг. Та сільс. Госп.. України.м. Київ. 01008 вул. Грушевського 12\2.
13. Курта С.А. , Хацевич О.М. Основи квантової хімії. (навчально посібник) . Рішення Вченої Ради Факультету природничих наук ПНУ, протокол № 2 від «22» лютого 2018 року р.-235с. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір.№95470 від 21.01.2020р. ст.1.Рішення Мінекономіки. України м. Київ, 01008 вул. Грушевського