

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Л.І.Марченко

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

**КУРСУ “ОРГАНІЧНА ХІМІЯ ” З ТЕМИ:
“ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОРГАНІЧНОЇ ХІМІЇ”**
*для студентів спеціальності 8.070801 денної та заочної
форм навчання*

СУМИ ВИД-ВО СУМДУ 2005

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОРГАНІЧНОЇ ХІМІЇ

1 ПРЕДМЕТ ОРГАНІЧНОЇ ХІМІЇ

Існує багато визначень органічної хімії. Найдавніше з них належить Берцеліусу, який ще в 1827р. видав підручник, де подав всю відому на той час інформацію про сполуки на основі карбону в окремий розділ, названий „Керування з органічної хімії”. Саме в цьому підручнику і зустрічається перше формулювання предмету органічної хімії як окремої самостійної науки.

Органічна хімія – це частина хімічної науки про речовини рослинного та тваринного походження.

Берцеліус та його прихильники вважали, що органічні сполуки утворюються винятково внаслідок життєдіяльності організмів під впливом так званої «життєвої сили». Однак послідовники берцеліусівської «теорії віталізму» дуже швидко зазнали поразки, коли німецький хімік Велер (1828р.) вперше в історії науки синтезував органічну сполуку сечовину із неорганічної речовини ціанату амонію. Це дало поштовх до бурхливого розвитку органічного синтезу: Зінін одержав анілін (1842 р.), Кольбе – оцтову кислоту (1845 р.), Бертло – сполуки типу жирів (1854 р.), Бутлеров – цукроподібні речовини (1861 р.). Отже, на базі експериментів поступово доводилося, що неправильно вважати органічну хімію наукою тільки про ті сполуки, які є продуктами життєдіяльності живих організмів. І хоча спочатку предметом вивчення органічної хімії були переважно саме природні сполуки, поступово зростало значення органічного синтезу, за допомогою якого одержувалися якісно нові матеріали, що

не мали природних аналогів. Кекуле (середина XIX ст.) запропонував таке визначення:

***органічна хімія** – це наука про сполуки карбону з іншими елементами.*

Пізніше Шорлеммер (1889р.) уточнив це формулювання:

***органічна хімія** – це наука про вуглеводні та їх похідні.*

З того часу було зроблено багато найважливіших відкриттів, винайдена велика кількість природних речовин (гормонів, вуглеводів, жирів, вітамінів, алкалоїдів тощо) і синтезована ще більша кількість штучних органічних сполук (пластмаси, синтетичні волокна, барвники, каучуки, антибіотики та інші лікарські препарати). Більше того, успіхи органічної хімії в останні десятиріччя сприяли виділенню окремих розділів у самостійні наукові дисципліни, наприклад: елементоорганічна хімія, хімія високомолекулярних сполук і полімерів, хімія нафти і газу, біохімія та біоорганічна хімія, стереохімія тощо.

Тому зрозуміло, що не можна обмежувати предмет органічної хімії вивченням лише продуктів життєдіяльності рослин і тварин. У зв'язку з цим найбільш узагальненим визначенням вважається таке:

***органічна хімія** – це наука, що вивчає сполуки карбону, їх будову, властивості, способи одержання і закони їх взаємних перетворень, а також шляхи практичного застосування.*

До органічних речовин належать сполуки карбону із гідрогеном, киснем, нітрогеном, фосфором, галогенами та іншими хімічними елементами за винятком оксидів карбону CO , CO_2 , вугільної кислоти H_2CO_3 та її солей, які традиційно відносять до неорганічних сполук.

2 ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЧНИХ СПЛУК

Розвиток органічної хімії як самостійної науки зумовлений специфічними особливостями органічних сполук. Розглянемо найважливіші з них.

- 1 Величезна кількість органічних речовин пояснюється здатністю атомів карбону сполучатися один із одним, утворюючи ланцюги і кільця. За різними джерелами кількість органічних сполук оцінюється від 17 до 20 млн., у той час як неорганічних речовин достовірно відомо близько 500 тис.
- 2 Органічні сполуки поряд із водою є, з одного боку, головним будівельним матеріалом тваринних і рослинних організмів, а з іншого – основним харчовим компонентом, що забезпечує постійну підтримку їх життєдіяльності на відповідному рівні. Крім того, величезна кількість органічних сполук є основою для створення багатьох виробів із широким спектром властивостей, які набули застосування у всіх без винятку галузях промисловості, у будівництві, а також у повсякденному побуті.
- 3 Молекули органічних речовин, в яких атоми сполучені між собою переважно за рахунок неполярних чи малополярних ковалентних зв'язків, як правило, належать до неелектролітів. Іонний тип

зв'язку трапляється рідко, найчастіше в солях органічних кислот, наприклад, в ацетаті натрію.

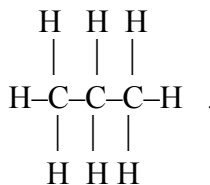
- 4 Органічні сполуки, що містять тільки прості одинарні зв'язки С-С, С-Н, за звичайних умов взаємодіють між собою надзвичайно повільно або не взаємодіють зовсім.
- 5 При нагріванні до підвищених температур органічні речовини обвуглюються, а за наявності кисню – згоряють. Це пояснюється невисокою міцністю зв'язків між атомами карбону.
- 6 Органічні сполуки всіх класів утворюють особливі ряди *гомологів* – речовин, що мають певні загальні ознаки.

Гомологічним рядом називається послідовність подібних за будовою та властивостями речовин, в якій кожний наступний член відрізняється від попереднього на постійну структурну одиницю - гомологічну різницю CH_2 .

- 7 Для органічних сполук характерно утворення ізомерів.

Ізомерами називаються речовини, що мають однаковий склад і однакову молекулярну масу, але відрізняються один від одного будовою молекул і, отже, фізичними та хімічними властивостями.

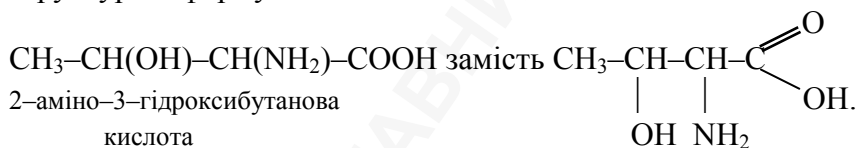
Склад органічних сполук виражають за допомогою структурних формул, в яких кожний ковалентний зв'язок позначається рисочкою. Наприклад, пропан C_3H_8 можна зобразити структурною формулою



Однак доцільніше і зручніше користуватися **раціональними**, тобто скороченими структурними формулами, в яких зазначають тільки зв'язки між атомами карбону та між карбоном і гетероатомом, а зв'язки між атомами карбону і гідрогену не показують – просто приписують символ гідрогену поруч із символом карбону, наприклад:



Для тих органічних сполук, які мають розгалужену будову, інколи допускається така форма запису скороченої структурної формули



Раціональні структурні формули циклічних сполук зображують багатокутниками із відповідною кількістю кутів.



Циклобутан

Наприклад, структуру циклобутану, замкнутий ланцюг якого містить чотири атоми С, зображують за допомогою квадрата.

3 ТЕОРІЯ БУДОВИ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК

До середини XIX ст. в органічній хімії був накопичений величезний фактичний матеріал, подальше вивчення якого гальмувалося відсутністю систематизуючої

основи, спроможної пояснити і обґрунтувати особливості будови і властивостей органічних сполук. Тому почали з'являтися численні теорії, які зробили певний внесок у пізнання структури органічних сполук, однак не могли узагальнити всі відомості про їх властивості та реакційну здатність. Це вдалося здійснити О.М.Бутлерову (1861р.).

Сутність теорії будови органічних сполук Бутлерова можна стисло сформулювати за допомогою декількох основних положень.

- 1 Атоми в молекулах сполучені один із одним хімічними зв'язками відповідно до їх валентностей. Карбон практично в усіх органічних сполуках виявляє валентність IV, гідроген – I, кисень – II.
- 2 Атоми розміщуються в молекулах не хаотично, а сполучені між собою в певній послідовності.

*Порядок розміщення атомів у молекулі та характер хімічних зв'язків між ними називається **хімічною будовою**.*

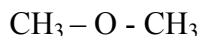
- 3 Властивості органічних сполук залежать не тільки від якісного і кількісного складу, але і від хімічної будови їх молекул.

Це положення найбільш наочно ілюструється при зіставленні будови і властивостей ізомерів.

Наприклад, існує дві різні речовини складу C_2H_6O з однаковою молекулярною масою (46а.о.м.), які відрізняються послідовністю сполучення атомів, фізичними і хімічними властивостями: етиловий спирт (рідина, $T_{\text{кип}} = 78^\circ\text{C}$) і диметиловий етер (газ, $T_{\text{кип}} = -24^\circ\text{C}$), різна будова яких відображається структурними формулами:



Етиловий спирт (етанол)



Диметиловий етер

- 4 У молекулах відбувається взаємний вплив атомів –

як тих, що сполучені хімічними зв'язками безпосередньо один із одним, так і тих, що розділені проміжними атомами чи атомними групами.

Для прикладу можна зіставити властивості атома гідрогену в сполуках: метані HCH_3 , воді HOH , амоніаку HNNH_2 , гідроксиді натрію HONa . Якщо порівняти відношення виділених жирним шрифтом атомів гідрогену до металів, кислот, лугів та представників інших класів, зрозуміло, що вони поводять себе в хімічних реакціях протилежним чином завдяки впливу сполучених з ними атомних груп.

5 Хімічна будова речовини встановлюється при вивченні її хімічних перетворень і, навпаки, на основі хімічної будови сполуки можна визначити її властивості.

Теорія будови органічних сполук Бутлерова стала логічно завершеною науковою основою органічної хімії. Вона не тільки пояснила вже відомі на той час факти, але і дозволила прогнозувати існування нових органічних речовин.

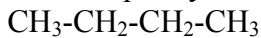
4 КЛАСИФІКАЦІЯ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК

Надзвичайно велику кількість органічних сполук вдалося вивчити лише базуючись на їх **класифікації**, тобто на віднесенні кожної окремої речовини до певного класу чи типу за наявності в її будові та властивостях характерних родових ознак, притаманних даній групі сполук. При класифікації органічних сполук за основу беруть три найважливіші ознаки.

1 Будова вуглецевого скелета

за якою органічні сполуки поділяються на три групи:

– **ациклічні, або аліфатичні сполуки** з відкритим вуглецевим ланцюгом, який може мати як нормальну, так і розгалужену структуру, наприклад, незамкнутий ланцюг із чотирьох атомів карбону:

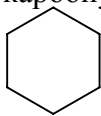


Бутан

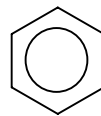


Ізобутан

– **карбоциклічні сполуки**, в яких вуглецевий скелет утворює цикл (кільце), наприклад, замкнутий ланцюг із шести атомів карбону:

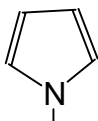


Циклогексан

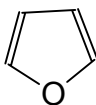


Бензен

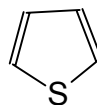
– **гетероциклічні сполуки**, які містять у циклі атоми не тільки карбону, але й інших елементів (нітрогену, кисню, сульфуру), наприклад:



Пірол



Фуран

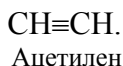
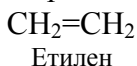


Тіофен

2 Характер зв'язків між атомами карбону

Атоми карбону здатні сполучатися між собою за допомогою ковалентних зв'язків різної кратності, залежно від чого органічні сполуки поділяють на ряди:

- **насичені**, або **граничні**, в яких між атомами карбону утворюються прості (одинарні) ковалентні σ -зв'язки C-C;
- **ненасичені**, у вуглецевих ланцюгах яких містяться подвійні (C=C) чи потрійні (C≡C) зв'язки, наприклад,



3 Наявність у молекулі певних функціональних груп

Функціональна група – це атом чи група атомів, що має неуглеводну природу і надає речовині певних властивостей, специфічних для даного класу органічних сполук.

Залежно від кількості та характеру функціональних груп органічні сполуки бувають:

- **монофункціональними**, до складу яких входить лише одна функціональна група, наприклад, метанол $\text{CH}_3\text{-OH}$;

- **поліфункціональними**, які містять декілька однакових функціональних груп, наприклад, гліцерин $\text{HO-CH}_2\text{-CH(OH)-CH}_2\text{-OH}$;

- **гетерофункціональними**, що мають у своєму складі дві чи більше різних функціональних груп, наприклад, амінокислота гліцин $\text{NH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH}$.

У моно- і поліфункціональних сполуках природа функціональної групи в молекулі визначає належність речовини до конкретного класу. Наприклад, метанол, молекула якого містить одну гідроксильну групу OH, і гліцерин, в якому таких груп три, належать до класу спиртів. У випадку гетерофункціональних сполук належність до певного класу визначається за природою характеристичної групи.

Характеристична група – це старша функціональна група, яка визначає належність даної сполуки до певного класу і відображається у назві речовини.

Наприклад, у молекулі гліцину містяться дві функціональні групи – карбоксильна COOH і аміно NH_2 , серед яких старшою є саме карбоксильна група, тому ця речовина належить до кислот. Зрозуміло, що в моно- чи поліфункціональних сполуках єдина функціональна група одночасно буде і характеристичною.

Перелік функціональних груп у порядку зменшення їх старшинства наведений у табл. 3.

5 НОМЕНКЛАТУРА ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК

Номенклатура – це сукупність термінів і система правил, відповідно до яких утворюються назви органічних сполук.

В органічній хімії найчастіше використовують дві номенклатури: систематичну і тривіальну.

Систематична номенклатура об'єднує назви органічних сполук, побудовані згідно із загальними правилами, застосування яких вимагає ознайомлення з певними поняттями: родопчаткова структура, замісник, вуглеводневий радикал тощо – їх буде розглянуто дещо пізніше.

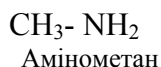
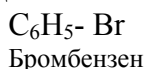
Тривіальна номенклатура (від лат. *trivialis* - звичайний) – це історично складені назви, що вказують на джерела добування органічних речовин чи на їх яскраві властивості, наприклад, сечовину вперше було виділено із сечі; у назвах глюкози, гліцину, гліцерину (від грецького кореня *glycys* - солодкий) відображається спільна властивість

цих сполук – солодкий смак. Тривіальна номенклатура особливо поширена серед природних речовин (амінокислот, вуглеводів, алкалоїдів, стероїдів, гормонів).

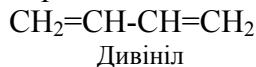
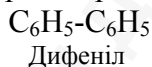
При розгляданні величезної сукупності різних класів органічних речовин необхідна об'єднувальна міжнародна система назв, якою стала номенклатура IUPAC (IUPAC – від англ. International Union Pure and Active Chemistry – Міжнародний союз теоретичної та прикладної хімії). Слід відмітити, що назви для складних за структурою сполук відповідно до правил IUPAC іноді бувають надзвичайно громіздкими, тому для спрощення допускається використання тривіальної номенклатури.

Згідно із положеннями IUPAC для утворення назви розроблено вісім способів, але найвідомішими є чотири із них.

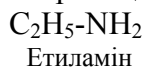
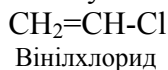
1 Замісниковий, в якому основою назви найчастіше є відповідний вуглеводень, а всі інші фрагменти структури молекули розглядаються як замісники атомів гідрогену, наприклад:



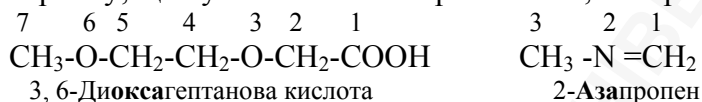
2 Сполучальний, згідно із яким назва складається з декількох рівноправних частин, наприклад:



3 Радикально-функціональний, при якому до назви радикалу додається назва функціональної групи; цей варіант номенклатури IUPAC найчастіше вживають для спиртів, галогенопохідних і простих етерів; для деяких класів органічних сполук він не годиться. Наприклад:



4 Замінювальний – для сполук, що містять гетероатоми в аліфатичному чи циклічному ланцюгу. Перша частина назви вказує на гетероатом, який за цим способом IUPAC називають так: N - аза, O - окса, S - тіа, P - фосфа. А друга частина є назвою відповідного вуглеводню, якщо виходить із припущення, що сполука містить тільки атоми карбону. Цифри перед назвою вказують на номери атомів карбону, що були замінені гетероатомами, наприклад:



За номенклатурою IUPAC утворення назв використовується досить рідко – переважно для гетероциклічних сполук. Тому докладніше його буде розглянуто при вивченні відповідної теми.

5.1 ЗАМІСНИКОВА НОМЕНКЛАТУРА

Незважаючи на великий вибір способів IUPAC, найбільш зручною є замісникова номенклатура, для застосування якої необхідно знати назви родопчаткових структур і замісників.

Родопчаткова структура – це основа будови молекули, від кореня назви якої утворюється назва сполуки.

Наприклад, **етан** $\text{CH}_3\text{-CH}_3$, що містить два атоми карбону, є родопчатковою структурою для **етанової** кислоти $\text{CH}_3\text{-COOH}$, ланцюг якої складається також із двох атомів карбону, а вона, в свою чергу, – для **аміноетанової** кислоти $\text{NH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH}$.

Родопчатковою структурою для аліфатичних (незамкнутих) сполук вважається головний вуглецевий ланцюг, а для карбо- і гетероциклічних сполук – цикл. Назви

більшості головних вуглецевих ланцюгів і циклів формуються на основі номенклатури алканів - насичених аліфатичних вуглеводнів (табл. 1).

Таблиця 1 – Назви алканів - насичених аліфатичних вуглеводнів нормальної (нерозгалуженої) будови відповідно до замісничкової номенклатури

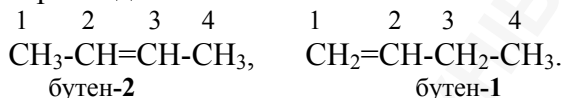
Будова, склад	Кількість атомів карбону	Назва
CH_4	1	Метан
$\text{CH}_3\text{-CH}_3$	2	Етан
$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_3$	3	Пропан
$\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_2\text{-CH}_3$	4	Бутан
$\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_3\text{-CH}_3$	5	Пентан
$\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_4\text{-CH}_3$	6	Гексан
$\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_5\text{-CH}_3$	7	Гептан
$\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_6\text{-CH}_3$	8	Октан
$\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_7\text{-CH}_3$	9	Нонан
$\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_8\text{-CH}_3$	10	Декан
$\text{C}_{11}\text{H}_{24}$	11	Ундекан
$\text{C}_{12}\text{H}_{26}$	12	Додекан
$\text{C}_{20}\text{H}_{42}$	20	Ейкозан
$\text{C}_{30}\text{H}_{62}$	30	Триаконтан
$\text{C}_{40}\text{H}_{82}$	40	Тетраконтан
$\text{C}_{100}\text{H}_{202}$	100	Гектан

При складанні назви ненасиченого вуглеводню суфікс **-ан** замінюють на **-ен** (чи **-єн**) у випадку сполук, що містять подвійний зв'язок, чи на **-ин** (**-ієн**) для сполук з потрійним зв'язком: етан $\text{CH}_3\text{-CH}_3$, етен $\text{CH}_2\text{=CH}_2$, етин $\text{CH}\equiv\text{CH}$. У

назвах сполук з більш довгим ланцюгом після суфікса (через дефіс) необхідно вказувати локант.

Локант – це номер атома карбону, від якого починається кратний зв'язок, чи номер атома карбону, сполученого із замісником.

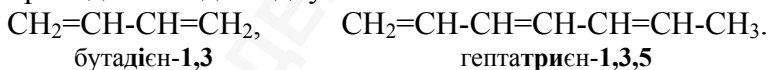
Наприклад:



За наявності двох чи декількох кратних зв'язків застосовують множильні частки.

Множильними називаються частки (*ди-, три-, тетра-, пента-* та ін.), за допомогою яких позначають кількість кратних зв'язків чи замісників.

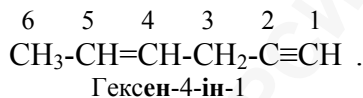
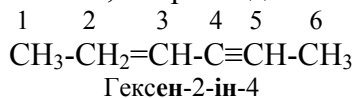
Використовуючи множильні частки, необхідно приводити і відповідну кількість локантів:



Обов'язково слід звернути увагу на те, що у родопчаткових назвах ненасичених вуглеводнів з декількома подвійними зв'язками остання буква зникає: не бутандієн, а бутадиєн.

Коли сполука містить одночасно зв'язки різної кратності, у назві спочатку зазначають подвійний, а потім – потрійний. При цьому, якщо обидва кратні зв'язки перебувають на однакових відстанях від країв вуглецевого ланцюга, атоми карбону нумерують таким чином, щоб подвійний зв'язок одержав найменший номер. Якщо ж

потрійний зв'язок розміщений ближче до краю, ніж подвійний, то нумерацію починають з найближчого до нього боку, але у назві все одно спочатку вказують подвійний зв'язок, наприклад:



Назви карбоциклічних сполук також будуються на основі номенклатури аліфатичних вуглеводнів (з тією самою кількістю атомів карбону в основному ланцюгу) при додаванні префікса **цикло-** та з урахуванням кратних зв'язків, наприклад:

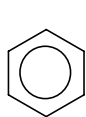


Циклобутан

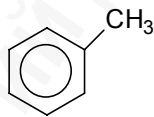


Циклопентадієн-1,3

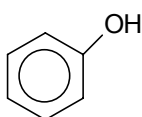
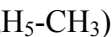
В ароматичних вуглеводнях, головним фрагментом молекул яких є бензенове кільце C_6H_6 , родопочатковою структурою вважається **бензен** (стара назва - бензол). Однак деякі представники ароматичних сполук мають настільки поширені тривіальні назви, що вони вже офіційно закріплені правилами IUPAC, наприклад:



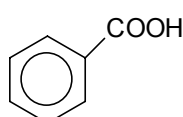
Бензен
(бензол)



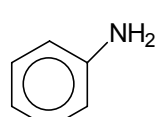
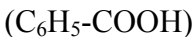
Толуол



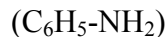
Фенол



Бензойна
кислота



Анілін



Як бачимо із порівняння наведених структур та наведених знизу емпіричних формул, всі сполуки, крім

самого бензену, мають бокові розгалуження, тобто містять замісники.

***Замісник** – це будь-який атом чи група атомів, які заміщують атом гідрогену в родопочатковій структурі.*

Як замісник може виступати вуглеводневий радикал чи вже згадувана функціональна група.

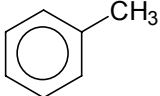
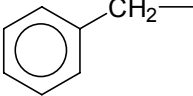
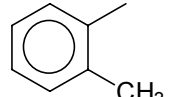
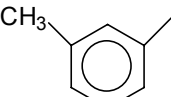
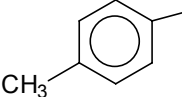
***Вуглеводневим радикалом** називається залишок молекули вуглеводню, який містить на один чи декілька атомів гідрогену менше, ніж у вихідній молекулі.*

Залежно від кількості втрачених атомів гідрогену вуглеводневі радикали можуть бути *одновалентними* і *двовалентними*.

Насичені одновалентні радикали мають загальну назву **алкіли** (позначаються Alk чи R). Їх назви утворюються шляхом *заміни* у назві вихідного алкану суфікса **-ан** на **-ил** (**-іл**), наприклад: радикали метил CH_3- , етил $\text{CH}_3\text{-CH}_2-$, які походять відповідно від алканів метану CH_4 і етану C_2H_6 .

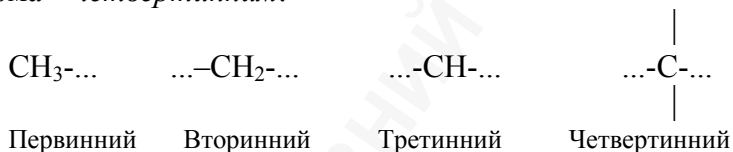
Назви одновалентних радикалів, утворених із ненасичених аліфатичних вуглеводнів, складаються із назви вихідного вуглеводню, до якого *додається* закінчення **-ил** (**-іл**); при цьому зазначаються положення (локант) кратного зв'язку, а нумерацію починають від атома карбону з вільною валентністю, наприклад: **бутен-3-іл** $\text{CH}_2=\text{CH-CH}_2\text{-CH}_2-$. Інколи для деяких із них використовують спеціальні назви: вініл, аліл (табл. 2).

Таблиця 2 – Номенклатура вуглеводневих радикалів

Вуглеводень	Радикал	Вуглеводень	Радикал
Насичені		Ненасичені	
CH ₄ Метан	CH ₃ - Метил	CH ₂ =CH ₂ Етен	CH ₂ =CH- Етеніл (Вініл)
C ₂ H ₆ Етан	C ₂ H ₅ - Етил	CH≡CH Етин	CH≡CH- Етиніл
C ₃ H ₈ Пропан	CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ - Пропіл CH ₃ -CH-CH ₃ Ізопропіл	CH ₃ - CH=CH ₂ Пропан	CH ₃ -CH=CH- Пропеніл CH ₂ =CH-CH ₂ - Аліл
		Ароматичні	
C ₄ H ₁₀ Бутан	CH ₃ -(CH ₂) ₂ -CH ₂ - н-Бутил CH ₃ -CH ₂ -CH-CH ₃ Вторбутил CH ₃ -CH-CH ₂ - CH ₃ Ізобутил CH ₃ CH ₃ -C- CH ₃ Третбутил	C ₆ H ₆ Бензен  Толуол	C ₆ H ₅ - Феніл  Бензил  Ортоліл  Метатоліл  Паратоліл

Загальна назва ароматичних радикалів – **арили** (позначаються Ar). Серед них найважливішими є феніл C_6H_5- , бензил $C_6H_5-CH_2-$ і три ізомери (залежно від положення метильної групи відносно атома карбону з вільною валентністю: орто-, мета-, пара-) з назвою толіл $CH_3-C_6H_4-$.

Для називання розгалужених радикалів вживаються додаткові префікси (*ізо-, втор-, трет-*), які визначаються особливостями будови атома карбону з вільною валентністю: у випадку його сполучення лише з одним іншим атомом карбону, він вважається *первинним*, з двома сусідніми атомами карбону – *вторинним*, з трьома – *третинним* і з чотирма – *четвертинним*:



У назвах двовалентних вуглеводневих радикалів використовується додатковий суфікс **-иліден (-іліден)**, якщо обидва атоми гідрогену відщеплені від одного і того самого атома карбону (винятком є назва двовалентного радикала метилену CH_2): **етиліден** $CH_3-CH=$, **вініліден** $CH_2=C=$, **бензиліден** $C_6H_5-CH=$.

Як вже зазначалося, до іншого типу замісників належать функціональні групи (табл. 3), старша з яких є характеристичною і визначає клас органічної сполуки. Наявність функціональної групи відображається у назві за допомогою префіксів чи суфіксів. Деякі групи позначаються тільки префіксами (галогени, нітро, алкокси), але для більшості існують як префікси, так і суфікси. У гетерофункціональних сполуках лише одна група – старша – позначається суфіксом, а всі інші виносяться на початок назви у вигляді префіксів і перелічуються в алфавітному порядку.

Таблиця 3 – Функціональні групи (у порядку зменшення старшинства)

Група	Назва групи	Префікс	Суфікс	Клас сполук
1	2	3	4	5
$-(C)OON^*$	Карбоксильна	-	-ова кислота	Карбонові кислоти
$-COOH$		Карбокси-	-карбонова кислота	
$-SO_3H$	Сульфогрупа	Сульфо-	-сульфонова кислота	Сульфонові кислоти
$-(C)OOM^*$	Карбоксильна	–	-оат катіона M^+	Солі карбонових кислот
$-COOM$		–	-карбоксилат катіона M^+	
$-(C)-O-(C)-^*$ $\begin{array}{cc} \parallel & \parallel \\ O & O \end{array}$	Ангідридна	–	-овий ангідрид	Ангідриди кислот
$-(C)OOR^*$	Естерна	–	-оат**	Естери (складні ефіри)
$-(C)ONaI^*$	Галогенангідридна	–	-оілгалогенід	Галогенангідриди

Продовження таблиці 3

1	2	3	4	5
$-(C)ONH_2^*$	Амідна	–	-оіламід	Аміди кислот
$-(C)\equiv N^*$	Ціаногрупа	-	-нітрил	Нітрили
$-CN$		Ціано–	–	
$-(C)H=O^*$	Карбонільна	Оксо-	-аль	Альдегіди
$-CH=O$		Форміл-	-карбальдегід	
$=(C)=O^*$		Оксо-	-он	Кетони
$=C=O$		Оксо-	-	
$-OH$	Гідроксильна	Гідрокси-	-ол	Спирти
		Гідрокси–***	-фенол	Феноли
$-SH$	Тіольна	Меркапто-	-тіол	Тіоспирти (меркаптани)
$-NH_2$	Аміногрупа	Аміно-	-амін	Аміносполуки
$-NO_2$	Нітрогрупа	Нітро-	–	Нітросполуки
$-OR$	Алкоксильна	Алкокси-	–	Прості етери
$-F,-Cl,-Br,-I$ (-Hal)	Галогени	Фтор-, хлор-, Бром-, -йод	–	Галогенопохідні

*Атом карбону в дужках входить до складу головного ланцюга, саме з нього розпочинається нумерація.

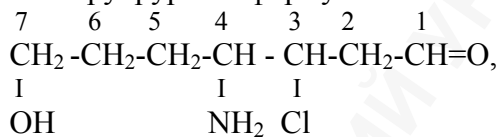
Перед коренем дається назва радикала R. *

Якщо гідроксильна група безпосередньо сполучена з ароматичним кільцем, така сполука належить до класу фенолів, у всіх інших випадках – до класу спиртів.

5.2 УТВОРЕННЯ НАЗВ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК ЗГІДНО ІЗ ЗАМІСНИКОВОЮ НОМЕНКЛАТУРОЮ IUPAC

Отже, із основних положень замісничого способу номенклатури IUPAC впливає такий алгоритм у **послідовності при складанні назв** органічних сполук:

1 *Встановлюють старшу характеристичну групу*, оскільки саме вона зумовлює подальший вибір родопочаткової структури та її нумерацію. Наприклад, у сполуці, будова якої виражається структурною формулою



4-Аміно-7-гідрокси-3-хлоргептаналь

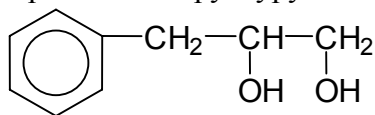
міститься чотири функціональні групи (-CH=O, -Cl, -NH₂, -OH). Але старшою із них є карбонільна група -CH=O, тому з неї починається нумерація ланцюга і вона визначає основу родопочаткової назви: гептаналь.

2 *Визначають родопочаткову структуру* – головний аліфатичний ланцюг чи циклічну систему. Для обрання родопочаткової структури керуються такими критеріями (у порядку зменшення їх значущості):

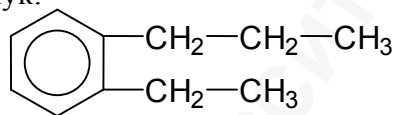
- найбільша кількість функціональних груп;
- найбільша кількість кратних зв'язків;
- найбільша довжина вуглецевого ланцюга - саме кількість атомів карбону є основою назви родопочаткової структури;
- найбільша кількість вуглеводневих радикалів.

Для карбоциклічних, гетероциклічних і ароматичних сполук родопочатковою структурою є цикл. Якщо сполука містить одночасно і відкритий ланцюг, і цикл, за

родопочаткову структуру вважається та частина, в якій міститься старша характеристична група. Для прикладу порівнюємо структуру двох сполук:



3-Фенілпропандиол-1,2



1-Етил-2-пропілбензен

У першому випадку родопочатковою структурою є боковий ланцюг, оскільки він містить три замісники (один фенільний радикал $-C_6H_5$ і дві гідроксогрупи $-OH$), а у другому – цикл (бензенове кільце) з двома замісниками.

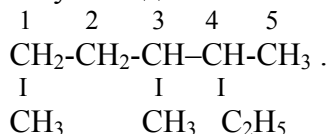
3 Нумерують атоми карбону у складі родопочаткової структури, починаючи від старшої характеристичної групи. Якщо це правило не дозволяє однозначно вибрати напрямок нумерації, то ланцюг нумерують, щоб замісники чи кратні зв'язки одержали найменші номери.

4 В алфавітному порядку називають замісники, які позначаються префіксами, із попереднім зазначенням їх локантів. За наявності декількох однакових замісників користуються множувальними префіксами (множувальні префікси не входять в алфавітну послідовність), а цифри-локанти повторюються стільки разів, скільки є замісників. Цифри записують перед префіксами і після суфіксів. При цьому цифри одна від одної розділяються комою, а цифра від букви – дефісом, наприклад: 2,2,3-триметил..., 3,4-дибром-1,1,1-трихлор... .

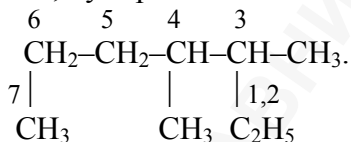
5 Називають родопочаткову структуру з урахуванням відповідних суфіксів (для позначення характеру і кратності зв'язків, а також природи старшої характеристичної групи) з множувальними частками; після суфіксів через дефіс записують цифри-локанти, кількість яких повинна

відповідати множувальним часткам, наприклад: ...триєн-1,3,5-ін-8, ...триол-1,2,3.

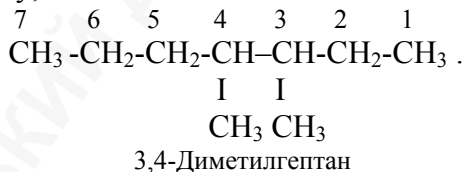
ПРИКЛАД 1 Перевірити правильність нумерації головного ланцюга і назвати вуглеводень:



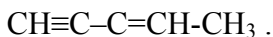
РОЗВ'ЯЗАННЯ. Нумерація наведена неправильно, оскільки порушені критерії, згідно із якими головним вважається найдовший вуглецевий ланцюг. Тому метильну групу CH_3- , сполучену з першим атомом С, і етильну групу C_2H_5- , сполучену із другим від краю атомом карбону, необхідно розглядати не як радикал, а як продовження основного ланцюга. Отже, нумерація ланцюга буде такою:



Але наочніше переписати запропоновану структурну формулу, розвернувши її таким чином, щоб було видно найдовший ланцюг, який містить сім атомів С (що відповідає гептану) і два метильні радикали. Тоді нумерація починається з того боку, до якого найближчим є один із радикалів:

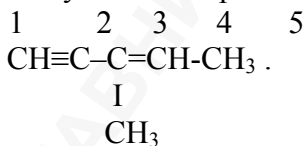


ПРИКЛАД 2 Назвати сполуку, будова якої виражається структурною формулою



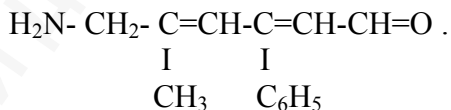


РОЗВ'ЯЗАННЯ. Із структурної формули бачимо, що сполука належить до аліфатичних (оскільки має незамкнутий ланцюг), ненасичених (оскільки містить кратні зв'язки – подвійний і потрійний), розгалужених вуглеводнів. Головний ланцюг складається із п'яти атомів карбону, що відповідає алкану з назвою пентан. Однак наявність кратних зв'язків вимагає змінення суфікса -ан на -ен і додавання ще одного суфікса -ін для позначення відповідно подвійного і потрійного зв'язків: пентенін. Далі, щоб визначити локанти, необхідно пронумерувати головний ланцюг, починаючи від потрійного зв'язку (оскільки саме він знаходиться у крайньому положенні), і перед назвою головного ланцюга поставити як префікс назву бокового радикала:



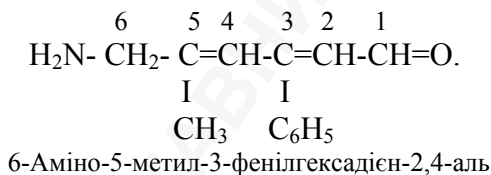
3-Метилпентен-3-ін-1

ПРИКЛАД 3 Назвати сполуку, будова якої виражається структурною формулою



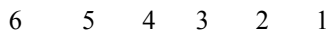
РОЗВ'ЯЗАННЯ. Ця сполука містить чотири замісники, два з яких є вуглеводневими радикалами (алкільний метил –CH₃ і арильний феніл –C₆H₅), а два інші (-NH₂, -CH=O) – функціональними групами. Згідно із порядком старшинства характерною буде карбонільна група –CH=O, тому вона визначає належність сполуки до альдегідів і відображається у назві за допомогою суфікса -аль; з неї необхідно починати

нумерацію атомів карбону. Назву другої функціональної групи – аміногрупи $-\text{NH}_2$ – разом із назвами радикалів у алфавітному порядку слід віднести у префікс, зазначивши перед ними локантні номери атомів карбону. Загальна кількість атомів карбону в ланцюгу – 6 – відповідає насиченому аліфатичному вуглеводню з нерозгалуженою структурою – гексану, але наявність подвійних зв'язків вимагає заміни суфікса -ан на **-єн**. Однак у випадку двох, трьох чи більше подвійних зв'язків формування назв має невеликий нюанс, який полягає у тому, що заміняють не весь суфікс -ан, а тільки останню букву (-н) у назві алкану з додаванням множувальної частки (для даної сполуки – -ді) за кількістю подвійних зв'язків. Отже, узагальнюючи всі положення, одержимо кінцевий варіант назви запропонованої структури:



ПРИКЛАД 4 Дати систематичні назви таким кислотам:
 а) сорбінова; б) шавлева; в) α -аланін; г) саліцилова;
 д) олеїнова; е) лимонна. Навести необхідні пояснення.

РОЗВ'ЯЗАННЯ. а) Сорбінова кислота має нерозгалужений вуглецевий ланцюг із шести атомів карбону, карбоксильну групу $-\text{COOH}$ і два подвійні зв'язки: між атомами С-2 і С-3 та між С-4 і С-5. Кількість атомів С зумовлює корінь назви – *гексан*, карбоксильна група дає закінчення родопочаткової структури *-ова кислота*, наявність подвійних зв'язків зазначається суфіксом *-єн*, а їх кількість – множувальною часткою *ді*. Отже, систематична назва сорбінової кислоти буде такою:





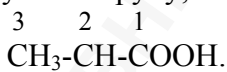
Гексадієн-2,4-ова кислота

б) До складу шавлевої кислоти входять два атоми карбону, але на відміну від оцтової (етанової) кислоти CH_3COOH вона належить до двоосновних (дикарбонових) кислот. Отже, кожен атом С одночасно є і основою ланцюга і центром характеристичної групи. Тому перед відповідним префіксом необхідно поставити множувальну частку *ди*:



Етандиова кислота

в) α -Аланін – це одноосновна аліфатична насичена амінокислота, молекула якої містить три атоми карбону (один із них входить до складу старшої характеристичної групи COOH) і функціональну аміногрупу, сполучену з С-2:

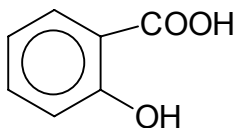


I



2-Амінопропанова кислота

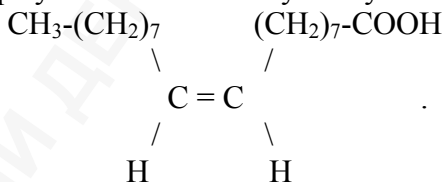
г) В основу будови саліцилової кислоти покладено структуру бензену, в якому один із атомів гідрогену заміщений карбоксильною групою $-\text{COOH}$, а сусідній – гідроксильною групою $-\text{OH}$. Оскільки старшою є карбоксильна група, то родопчатковою назвою буде бензойна кислота, а назва гідроксильної групи разом із локантом повинна виноситися у префікс:



2-Гідроксибензойна кислота

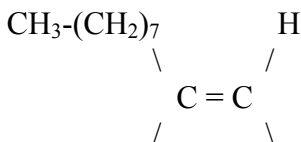
д) Молекула олеїнової кислоти має нерозгалужений аліфатичний ланцюг із 18 атомів карбону, що дає корінь родопочаткової назви – *октадекан*. Перший атом карбону входить до складу старшої характеристичної групи -COOH, тому до родопочаткової назви додається закінчення *-ова кислота*. Вуглецевий ланцюг містить один подвійний зв'язок між атомами С-9 і С-10, що визначає зміну префікса *-ан* у родопочатковій назві на *-ен*. Однак латинська граматики вимагає одночасну заміну звука *к* на *ц*: *октадецен-9-ова кислота*.

Олеїнова кислота належить до просторових цис-ізомерів. (Нагадаємо із шкільного курсу хімії: особливості структури просторових або геометричних ізомерів зумовлюються типом sp^2 -гібридизації атомів С при подвійному зв'язку і виявляються в існуванні цис-ізомерів, в яких продовження ланцюга від подвійного зв'язку розміщується по один бік відносно нього, і транс-ізомерів, в яких ланцюг розміщується по обидва боки відносно подвійного зв'язку). Для наголошення того, що атоми С-9 і С-10 не просто сполучені кратним зв'язком, але і визначають вид ізомерії, цифра-локонт переноситься на початок назви. Підсумовуючи всі моменти, одержуємо систематичну назву олеїнової кислоти:



Цис-9-октадецен-9-ова (олеїнова) кислота

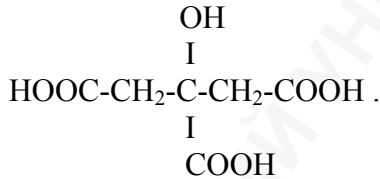
Для порівняння доречно навести структуру геометричного ізомеру олеїнової кислоти – формулу елаїдинової кислоти:





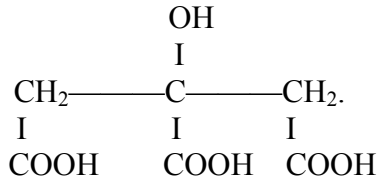
Транс-9-октадецена (елаїдинова) кислота

е) Лимонна кислота є прикладом триосновної (трикарбонової) органічної кислоти, молекула якої складається із шести атомів С. Оскільки три атоми карбону трьох карбоксильних груп не можуть входити до складу головного ланцюга, одна група -COOH розглядається як замісник атома Н при С-3, тому її назва відображається за допомогою префікса *карбокси-*. Крім того, лимонна кислота містить ще гідроксильну групу -ОН, назва якої теж виноситься у префікс:



3-Гідрокси-3-карбоксипентандиова кислота

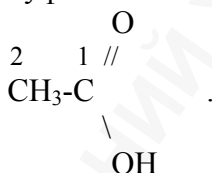
Поряд із розглянутим способом утворення назв багатоосновних (полікарбонових) кислот у рамках методів IUPAC користуються й іншим підходом. Із цих позицій атоми С всіх трьох карбоксильних груп до нумерації родопочаткової структури не включаються, а вважаються замісниками атомів Н у відповідному вуглеводні – у випадку лимонної кислоти таким вуглеводнем є пропан. Для кращого розуміння структурну формулу лимонної кислоти зручніше зобразити іншим чином. Тоді з урахуванням замісників повна назва лимонної кислоти буде такою:



2-Гідроксипропан-1,2,3-трикарбонова кислота

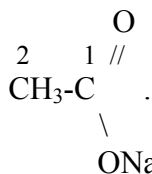
ПРИКЛАД 5 Скласти структурні формули і дати назви таким похідним карбонових кислот: а) натрієва сіль оцтової кислоти; б) етиловий естер стеаринової кислоти; в) ангідрид пальмітинової кислоти; г) хлорангідрид мурашиної кислоти; д) амід масляної кислоти; е) α -дихлорзаміщена пропіонова кислота.

РОЗВ'ЯЗАННЯ. а) Оцтова – це тривіальна назва насиченої одноосновної (монокарбонової) кислоти, молекула якої складається із двох атомів карбону; при цьому один із атомів С входить до складу характеристичної карбоксильної групи - COOH. Загальна кількість атомів С визначає корінь (етан), а характеристична група – суфікс систематичної назви:



Етанова (оцтова) кислота

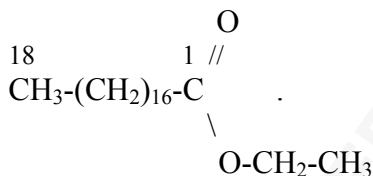
Натрієва сіль оцтової кислоти має тривіальну назву ацетат натрію. За систематичною Міжнародною номенклатурою IUPAC до кореня назви родопочаткової структури – етан – додають закінчення **-оат**, а катіон називають першим:



Натрій етаноат (ацетат натрію)

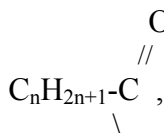
б) Оскільки стеаринова кислота $\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH}$ має нерозгалужений насичений ланцюг із 18 атомів карбону і систематичну назву **октадеканова**, то родопочатковою назвою для солей та естерів (складних ефірів) буде

октадеканоат, перед якою необхідно назвати відповідний радикал:

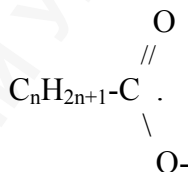


Етилоктадеканоат (етилстеарат)

в) Ангідрид можна розглядати як сполучення ацильного і карбоксилатного залишків карбонової кислоти:

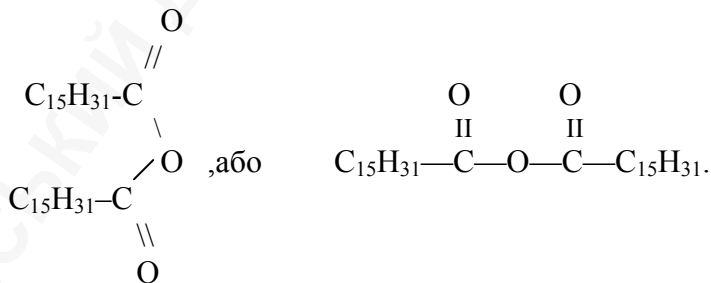


Ацильний залишок



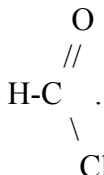
Карбоксилатний залишок

Для зображення структури ангідриду пальмітинової (гексадеканової) кислоти звичайно використовують дві типові форми, а називають як за систематичною, так і за тривіальною номенклатурою. При цьому назви походять від назв відповідних кислот при замініюванні слова *кислота* на *ангідрид*:



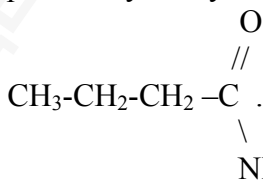
Гексадекановий (пальмітиновий) ангідрид

г) Систематичні назви галогенангідридів утворюються від назв родопочаткової структури, якою вважається вуглецевий ланцюг відповідної кислоти, при додаванні до її кореня суфікса **-оїл** та назви галогеніду. Мурашина кислота за номенклатурою IUPAC називається *метановою*, а будь-який її галогенангідрид – *метаноїлгалогенідом*. З іншого боку, виходячи із тривіальної назви ацилу мурашиної кислоти – *форміл* (від лат. *formica* - мурах), утворюються і тривіальні назви галогенангідридів:



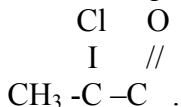
Метаноїлхлорид (формілхлорид)

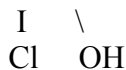
д) Масляна – це тривіальна назва бутанової кислоти $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH}$, а систематична назва її аміду складається із кореня родопочаткової назви *бутан*, до якого додають суфікс *-оїламід*. Враховуючи, що тривіальні назви ацильного і карбоксилатного залишків масляної кислоти – *бутироїл* і *бутират*, можна навести одночасно не тільки систематичну, але і тривіальну назву аміду масляної кислоти:



Бутаноїламід (бутироїламід)

е) α -Дихлорзаміщена пропіонова кислота – це пропанова кислота, в якій два атоми водню при С-2 заміщені атомами хлору:



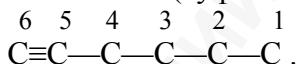


2,2-Дихлорпропанова кислота

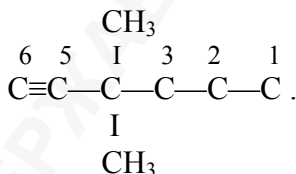
ПРИКЛАД 6 Навести структурні формули таких речовин:
 а) 4,4-диметилгексин-5-ол-1 і 2-гідрокси-4,4-диметилгексин-5-аль; б) гексадієн-3,5-нітрил і 2-ціаногексадієн-3,5-ова кислота; в) 4-гідроксибензальдегід і 4-гідроксиметилфенол; г) 4-гідроксо-4-метилпентанон-2 і 4-гідроксо-4-метил-2-оксопентан-1-сульфонова кислота. Дати необхідні пояснення.

РОЗВ'ЯЗАННЯ.

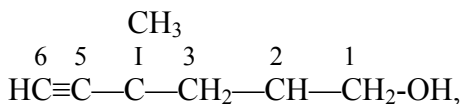
а) Як бачимо із родопчаткових назв (корінь *гекс*), вуглецевий ланцюг обох сполук складається із шести атомів карбону і має потрійний зв'язок (суфікс *-ин*) між С-5 і С-6:

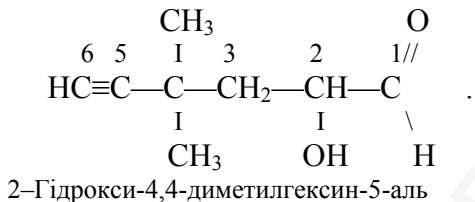


Обидві сполуки містять замісники – метильні радикали (СН₃) поруч з атомом С-4:

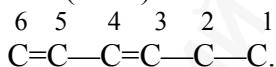


Але виходячи із додаткових суфіксів, які вказують на старші функціональні групи, перша сполука належить до спиртів (-ол), а друга, – незважаючи на наявність гідроксильної групи біля С-2, – до альдегідів (-аль). Тому в структурній формулі першої сполуки гідроксильну групу (–ОН) необхідно приписати до С-1, а в другій – до С-2. Крім того, з урахуванням чотиривалентного стану атомів карбону слід дописати певну кількість атомів водню. Після цього одержимо:

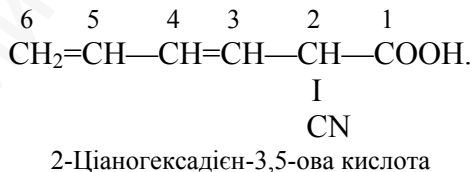
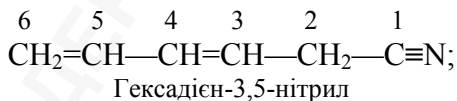




б) У наступних прикладах головні ланцюги теж складаються із шести атомів С, але на відміну від попередніх вони мають по два подвійних зв'язки (-дієн):

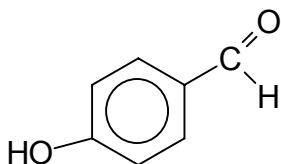


Обидві сполуки містять ціаногрупу ($\text{C} \equiv \text{N}$), однак у гексадієн-3,5-нітрилі вона є старшою, з якої починається нумерація ланцюга і відображається у закінченні назви. А в 2-ціаногексадієн-3,5-овій кислоті старшою є карбоксильна група $-\text{COOH}$, тому назва ціаногрупи виноситься у префікс. Отже, структурні формули заданих сполук будуть такими:

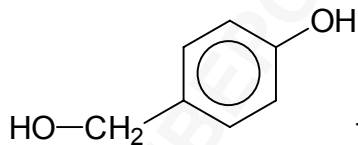


в) В основу заданих сполук покладено бензенове кільце, але як впливає із їх назв, родопочатковою структурою першої є бензальдегід, а другої – фенол. Нумерація атомів С

бензенового кільця починається від старшої характеристичної групи, а в положенні С-4 містяться відповідні замісники (гідроксильна група -ОН і гідроксиметильна група HO-CH₂):

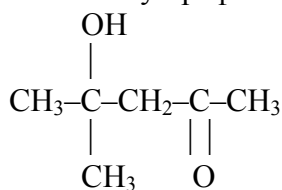


4-Гідроксибензальдегід

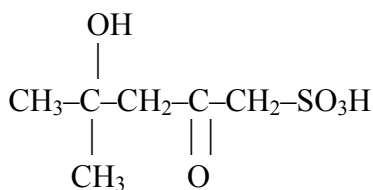


4-Гідроксиметилфенол

г) Головний ланцюг обох сполук складається із шести атомів С, однак у першій старшою є карбонільна група (C=O), а в другій – сульфогрупа, тому назва карбонільної групи (оксо) винесена у префікс:



4-Гідроксо-4-метил-
-пентанон-2



4-Гідроксо-4метил-2-
-оксопентан-1-сульфо-
нова кислота

6 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОРГАНІЧНИХ РЕАКЦІЙ

Реакції між органічними сполуками підкоряються практично тим самим законам, що і реакції неорганічних речовин, однак у той же час мають деякі свої специфічні особливості.

1 В неорганічних реакціях, особливо у розчинах чи розплавах, найчастіше беруть участь іони, а у взаємодії органічних сполук – переважно молекули; при цьому відбувається розрив старих ковалентних зв'язків і утворення нових.

2 Неорганічні реакції звичайно проходять швидко, інколи миттєво, а взаємодія між органічними сполуками відбувається повільно, іноді десятки годин; для їх успішного завершення майже завжди необхідно застосовувати жорсткі умови: підвищену температуру, тиск, випромінювання, каталізатори.

3 Неорганічні реакції проходять до повного витрачання вихідних реагентів (необоротні процеси) чи до досягнення стану рівноваги (оборотні процеси), а органічні реакції рідко закінчуються високим виходом продуктів: у більшості випадків він не перебільшує 40-50%.

***Вихід реакції** – це частка реально одержаного продукту від теоретично розрахованого; виражається у частках одиниці чи у відсотках :*

$$\eta = \frac{m_{\text{практ}}}{m_{\text{теор}}} = \frac{V_{\text{практ}}}{V_{\text{теор}}}; \text{ для газів } \eta = \frac{V_{\text{практ}}}{V_{\text{теор}}}.$$

4 В органічних реакціях, як правило, спостерігається паралельний перебіг декількох процесів, внаслідок чого одержують суміш ізомерів чи певну кількість побічних продуктів. З цієї причини не завжди доцільно користуватися стехіометричними рівняннями реакції, які виражають кількісні співвідношення між вихідними речовинами і продуктами. В органічній хімії частіше звертаються до схем, де зазначають вихідні речовини і основні продукти без

6.1 КЛАСИФІКАЦІЯ ОРГАНІЧНИХ РЕАКЦІЙ

Класифікація органічних реакцій полягає у віднесенні кожної реакції за певною ознакою до якоїсь групи. Оскільки будь-яку реакцію можна охарактеризувати з різних позицій, то і класифікацій існує достатньо багато.

I За характером розриву хімічних зв'язків у вихідних частинках органічні реакції поділяються на радикальні, іонні та узгоджені.

1) Радикальні – це процеси, що супроводжуються *гомолізом* (гомолітичним розривом зв'язків), при якому внаслідок руйнування спільної електронної пари ковалентного зв'язку кожна одержана частинка набуває по одному неспареному електрону, при цьому утворюються вільні радикали, формулу яких записують з крапкою:



Вільним радикалом називається нейтральний атом чи частинка з неспареним електроном.

Гомоліз найчастіше відбувається внаслідок опромінювання ($h\nu$, УФ), високої температури в газовій фазі чи під дією пероксидів. Прикладом радикальних реакцій є взаємодія алканів із хлором при опромінюванні розсіяним світлом, пероксидне окиснення ліпідів, гідробромовання алкенів за наявності H_2O_2 (ефект Харраша), а прикладами радикальних реагентів – вільні радикали $Cl\cdot$, $HO\cdot$, $H_3C\cdot$. Не слід плутати поняття *вуглеводневий радикал*, яке застосовується лише у номенклатурному контексті при утворенні назв органічних сполук, з поняттям *вільний радикал*, яке характеризує реально існуючий фізичний об'єкт.

2) **Іонні реакції** – це процеси, що супроводжуються *гетеролізом*, або гетеролітичним розривом ковалентних зв'язків, при якому спільна електронна пара залишається на одній із частинок. Внаслідок гетеролізу утворюються заряджені частинки: нуклеофіл і електрофіл.

Нуклеофіл – це частинка (атом, іон чи фрагмент молекули), що має вільну електронну пару на зовнішньому рівні, яку може надавати для утворення нового ковалентного зв'язку.

Нуклеофілом можуть бути:

- аніони (H^- , OH^- , CN^- , RS^- , HOO^- , RO^- , $\text{C}_5\text{H}_5\text{O}^-$);
- електронейтральні молекули з неподіленими р-електронними парами чи π -електронами (H_2O :, $:\text{NH}_3$, $:\text{NH}_2\text{R}$, $:\text{NHR}_2$, $\text{CH}_2=\text{CH}_2$, $\text{CH}\equiv\text{CH}$, C_6H_6);
- карбаніони, тобто частинки, в яких неподілена електронна пара перебуває на атомі карбону, наприклад, $(\text{CH}_3)_2\text{CH}^-$.

Електрофіл – це частинка (атом, іон чи фрагмент молекули із дефіцитом електронної густини за рахунок неповністю забудованих електронами валентних енергетичних рівнів), яка може надавати на утворення ковалентного зв'язку вільну орбіталь чи центр із зниженою електронною густиною.

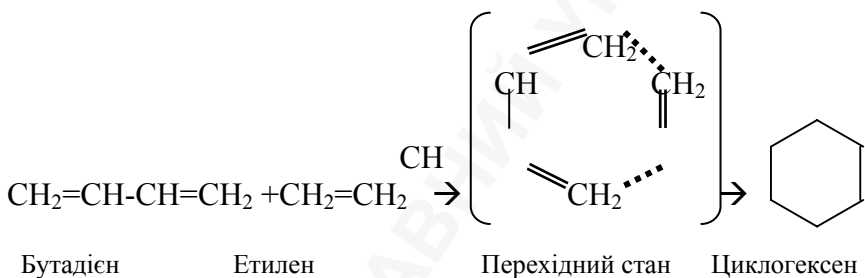
Нуклеофілом можуть бути:

- катіони (H^+ , Br^+ , NO_2^+);
- електронейтральні молекули з вільними валентними орбіталями (SO_3 , AlCl_3 , FeBr_3);

- карбокатиони – частинки із позитивним зарядом на атомі карбону, наприклад, R_3C^+ .

3) *Узгоджені* (молекулярні, або синхронні) реакції – це процеси, при яких руйнування старих зв'язків і утворення нових відбувається одночасно без участі радикальних чи іонних частинок, тобто спостерігається узгоджений розрив зв'язків.

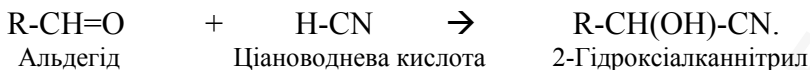
Наприклад, дієновий синтез Дільса-Альдера, що проходить при нагріванні чи опромінюванні вихідних речовин:



II **За напрямком проходження процесу**, або за кінцевим результатом, органічні реакції поділяють на декілька типів.

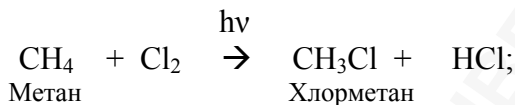
1) *Реакції сполучення, або приєднання*, які позначаються символом А (від англ. addition - додавання). При цьому, якщо реагентом є електрофільна частинка, то поруч із символом А записують індекс E , якщо нуклеофільна - N , а у випадку радикального сполучення – R . Реакції сполучення характерні для ненасичених вуглеводнів (A_E , рідше - A_R), альдегідів (A_N) та інших класів органічних сполук. Наприклад:



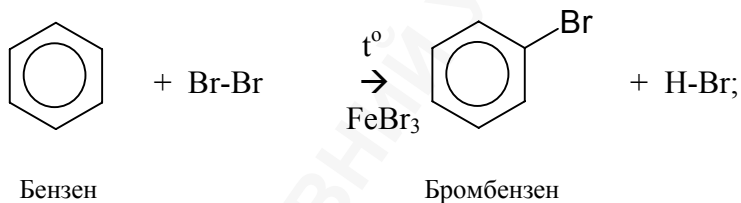


2) **Реакції заміщення** (символ S від англ. “substitution” - заміщення), які залежно від природи реагенту, в свою чергу, поділяють на такі види:

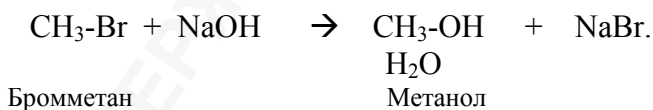
- радикальне заміщення S_R



- електрофільне заміщення S_E

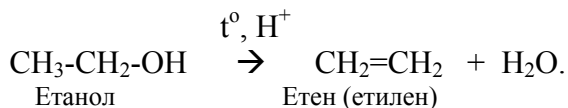


- нуклеофільне заміщення S_N

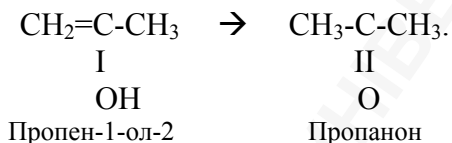


Реакції нуклеофільного заміщення, у свою чергу, поділяють на дві групи: першого порядку S_{N1} і другого порядку S_{N2} . Віднесення реакції до тієї чи іншої групи залежить від характеру і швидкості лімітуючої стадії.

3) **Реакції елімінування**, або відщеплення (символ E – від англ. elimination), при яких від молекули вихідної сполуки внаслідок розриву зв'язків відривається частинка, здатна до самостійного існування, наприклад:



4) **Реакції перегрупування**, в ході яких відбувається перехід (міграція) окремих атомів чи атомних груп від одних ділянок молекули до інших, наприклад, кетоенольне перегрупування Ельтекова:



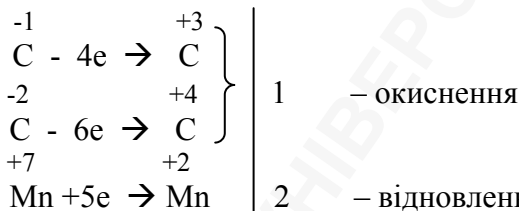
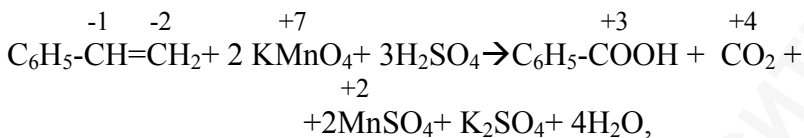
5) **Реакції полімеризації**, які можна вважати крайнім випадком реакцій сполучення, наприклад, полімеризація етилену:



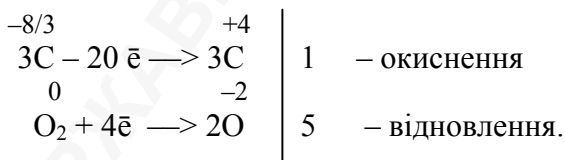
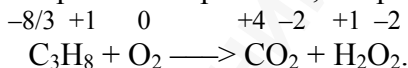
III За зміною валентного стану атомів карбону розглядають такі процеси:

- *реакції невалентних перетворень*, при яких ступінь окиснення атомів карбону не змінюється;

- *окисно-відновні реакції*, внаслідок яких відбувається зміна ступеня окиснення атомів карбону. Ці реакції мають свої особливості порівняно з неорганічними ОВР. По-перше, розглядають атом карбону тільки в тому фрагменті молекули, який піддається перетворенню, не звертаючи уваги на інші; по-друге, вважається, що сума ступенів окиснення всіх атомів у даному фрагменті дорівнює нулю; по-третє, атомам інших елементів приписують такі ступені окиснення: H^{+1} , O^{-2} , N^{-3} , S^{-2} , P^{-3} . Складання рівнянь електронного балансу проводиться так само, що і в неорганічних реакціях. Наприклад, окиснення стирену калій перманганатом у сульфатно-кислому середовищі:

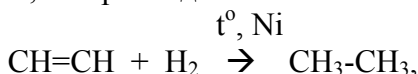


Поряд із розглянутим існує і більш формальний метод розстановки коефіцієнтів у рівняннях окисно-відновних реакцій за участю органічних речовин, наприклад:



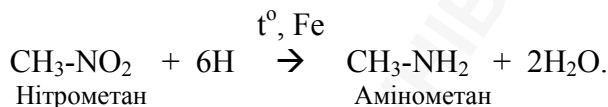
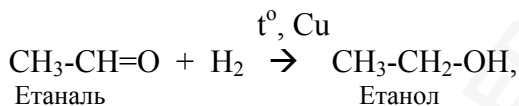
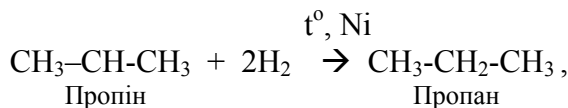
IV За природою частинок, що приєднуються до органічної сполуки або відщеплюються від неї, бувають такі реакції:

1 *Гідрування*, тобто приєднання водню (+H₂), і зворотний процес *дегідрування* – відщеплення водню (-H₂). Гідруванню, яке проходить у жорстких умовах за наявності каталізаторів, піддають ненасичені та циклічні вуглеводні, оксигенвмісні органічні речовини і нітросполуки – відносно двох останніх класів частіше вживають термін *відновлення* замість *гідрування*; наприклад:

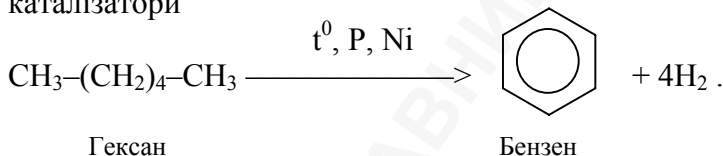


Етен (етилен)

Етан

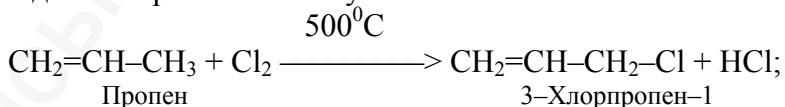


Для дегідрування використовуються ті самі каталізатори

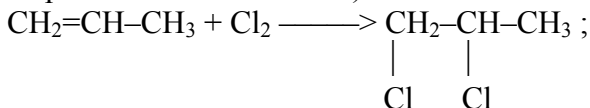


2 *Галогенування* (введення в молекулу галогенів при взаємодії сполуки з Hal_2 , найчастіше це взаємодія з Cl_2 і Br_2) і *дегалогенування* – відщеплення молекул галогену (- Hal_2). Внаслідок галогенування утворюються сполуки класу галогенопохідних. Галогенування може проходити за різними механізмами і належати до різних типів, наприклад:

- радикальне заміщення (S_R) атома Н поруч із sp^3 -гібридизованим атомом карбону, що перебуває у α -положенні відносно кратного зв'язку:

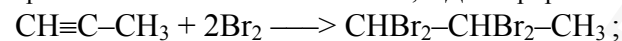


- електрофільне приєднання (A_E) галогенів до ненасичених вуглеводнів за місцем кратних зв'язків (при sp^2 - чи sp -гібридизованих атомах C):



Пропен

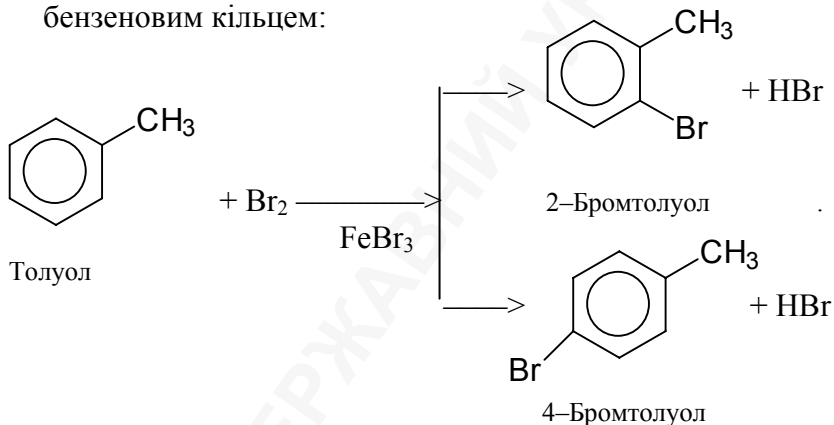
1,2-Дихлорпропан



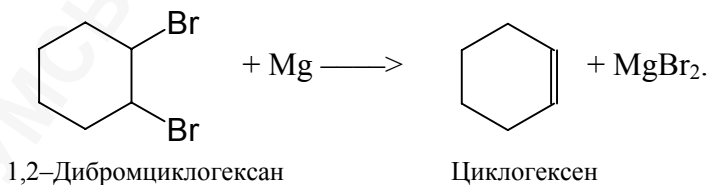
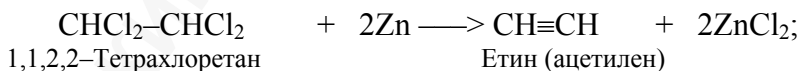
Пропін

1,1,2,2-Тетрабромпропан

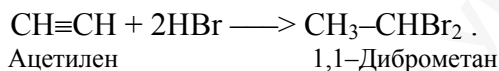
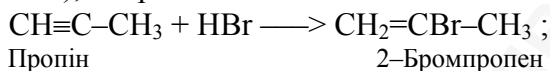
- електрофільне заміщення (S_E) атомів H, сполучених із бензеновим кільцем:



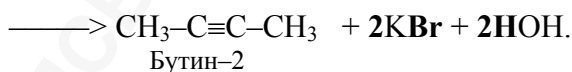
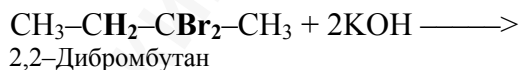
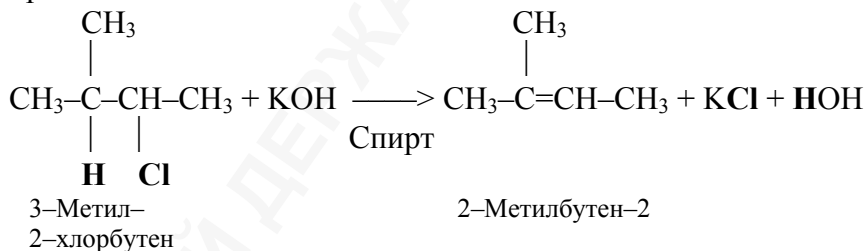
Дегалогенування дає можливість переходити від галогенопохідних до ненасичених вуглеводнів:



3 *Гідрогалогенування* – приєднання (S_E) галогеноводнів ($+HNaI, HCl, HBr, HCl, HF$) до ненасичених вуглеводнів за місцем кратного зв'язку з утворенням галогенопохідних. Необхідно пам'ятати, що гідрогалогенування несиметричних алкенів і алкінів проходить за правилом Марковникова (відомим із шкільного курсу хімії), наприклад:

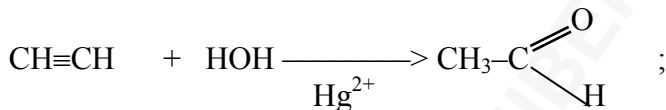
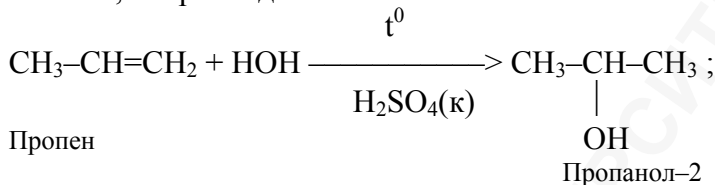


Дегідрогалогенування – одночасне відщеплення (E) атомів галогену і водню від сусідніх атомів карбону з утворенням кратних зв'язків. Дегідрогалогенування за участю несиметричних галогенопохідних відбувається за відомим правилом Зайцева:



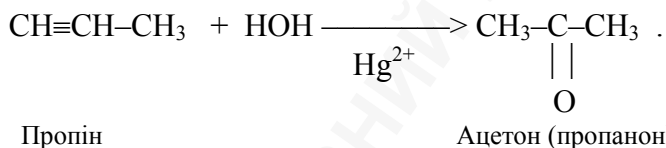
4 *Гідратація* – приєднання молекул води до алкенів та алкінів з утворенням спиртів і карбонільних сполук

відповідно. Цей процес також підпорядковується правилу Марковникова, наприклад:

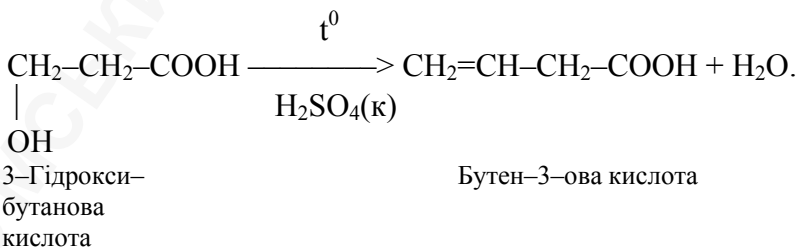
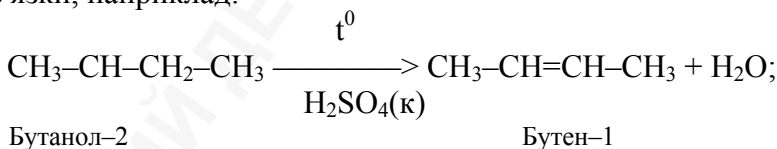


Ацетилен (етин)

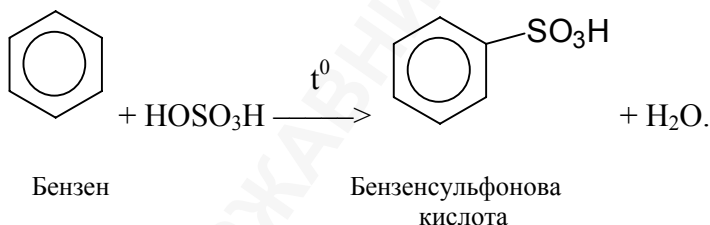
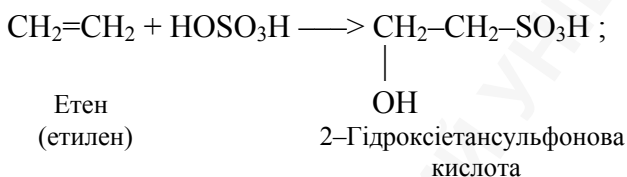
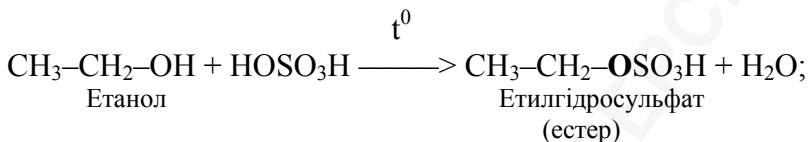
Ацетальдегід (етаналь)



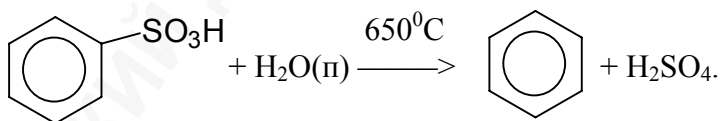
Дегідратації, тобто відщепленню молекули H_2O , найчастіше піддають спирти чи інші сполуки, до складу яких входить гідроксильна група. Внаслідок дегідратації, яка проходить за правилом Зайцева, утворюються подвійні зв'язки, наприклад:



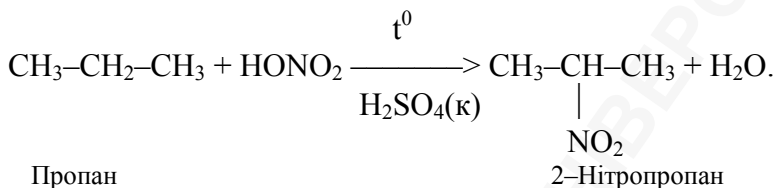
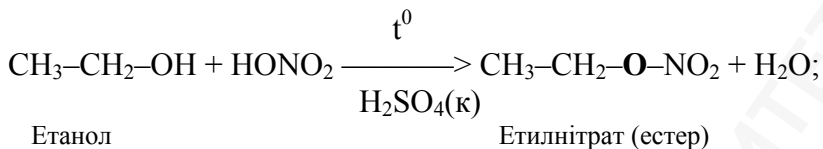
5 Сульфування – введення сульфогрупи (+SO₃H) при дії на субстрат сульфатною кислотою може приводити до утворення сполук різних класів – сульфонових кислот чи естерів:



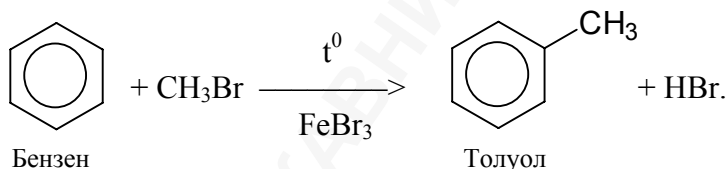
Десульфування – зворотний процес проходить при дії на сульфонові кислоти гострою парою:



6 Нітрування – введення нітрогрупи (+NO₂), що відбувається при взаємодії субстрату з нітратною кислотою за наявності каталітичних кількостей H₂SO₄:

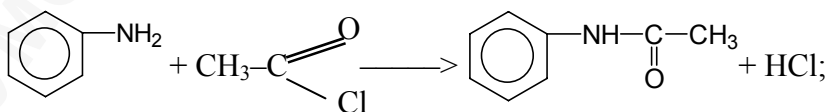


7 *Алкилювання* – введення у молекулу субстрату алкільної групи (+-C_nH_{2n+1}), наприклад *метилування* ароматичних сполук:

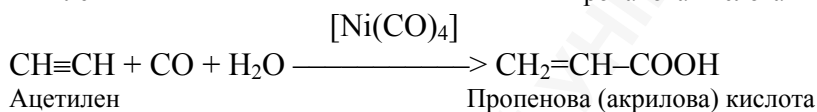
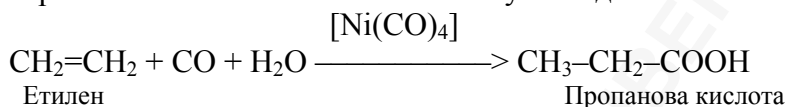


Роль реагентів при алкилюванні можуть виконувати не тільки галогеналкани, як у наведеному прикладі, але і алкени, і насичені спирти.

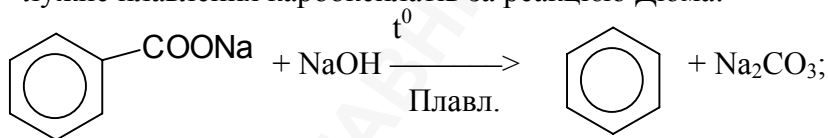
8 *Ацилювання* – введення R-CO- – ацильного залишку карбонової кислоти, який утворюється при відщепленні від неї гідроксильної групи, в тому числі *формілювання* – введення залишку HCO мурашиної (метанової) кислоти, *ацетилювання* – введення залишку CH₃CO оцтової (етанової) кислоти. Ацилювання найчастіше проводять за допомогою галогенангідридів та ангідридів карбонових кислот, наприклад:



10 Карбоксилювання, або гідрокрбонілювання – введення карбоксильної групи –COOH при взаємодії алкенів з сумішшю CO+H₂O чи CO₂+H₂, і декарбоксилювання – відщеплення від карбонових кислот та їх похідних карбоксильної групи –COOH чи просто –COO⁻. Карбоксилювання використовують при одержанні карбонових кислот із ненасичених вуглеводнів:



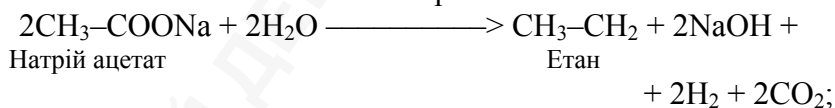
Декарбоксилювання проводять різними методами, наприклад, – лужне плавлення карбоксилатів за реакцією Дюма:



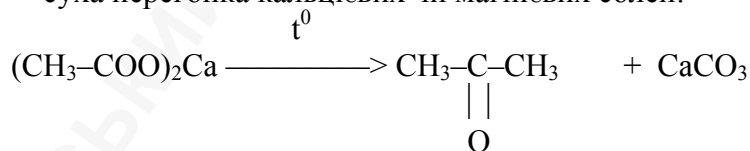
Натрій бензоат

Бензен

– електроліз розчинів солей карбонових кислот за Кольбе:
Електроліз



– суха перегонка кальцієвих чи магнієвих солей:



Кальцій ацетат

Ацетон (пропанон)

Необхідно відмітити, що в органічній хімії трапляються складні реакції, які неможливо віднести до будь-

якого з перелічених типів, наприклад, піроліз, крекінг, поліконденсація тощо. Однак більшість процесів підлягає класифікації, що значно полегшує їх вивчення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Петров А.А., Бальян Х.В., Трощенко А.Т. Органическая химия. – М.: Высшая школа, 1981, 1985.
2. Тюкавкина Н.А. Органическая химия. – М.: ДРОФА, 2002. – Кн.1.
3. Несмеянов А.Н. , Несмеянов Н.А. Начала органической химии. – Москва, 1969. – Кн.1; – Москва, 1970. – Кн.2.