

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ОРГАНІЧНОЇ ХІМІЇ**

ЗАТВЕРДЖЕНО

Вченою радою

Інституту органічної хімії НАН України
протокол № 18

від « 07 » 12 20 20 року

Голова Вченої ради
Інституту органічної хімії

НАН України

акад. В.І. Кальченко

(підпис)
Ідентифікаційний код
№ 05417325

2020 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА З ДИСЦИПЛІНИ

**«СТРУКТУРА ТА РЕАКЦІЙНА ЗДАТНІСТЬ
ОРГАНІЧНИХ МОЛЕКУЛ»**

**для аспірантів третього науково-освітнього рівня
спеціальності 102-«Хімія», спеціалізація «Органічна хімія»,
галузь знань 10 – природничі науки**

Число кредитів ЄКТС – 4 (120 год.)

Лекцій – 62 годин

Практичних занять – 8 годин

Самостійна робота – 44 годин

Консультації – 6 годин

Форма контролю знань – іспит

Київ - 2020

Робоча програма з дисципліни «Структура та реакційна здатність органічних молекул» для здобувачів третього науково-освітнього рівня ступеня доктора філософії за спеціальністю 102 – хімія, галузь знань 10 – природничі науки.

Розробник:

д.х.н., проф. Д.М. Волочнюк

д.х.н., проф. З.В. Войтенко

д.х.н., проф. М.І. Короткіх

Програму затверджено на засіданні Вченої ради Інституту органічної хімії
НАН України (Протокол № 18 від «07» 12 2020 року)

Вчений секретар

к.х.н.



В.С. Нікітченко

ПЕРЕДМОВА

Навчальна дисципліна «Структура та реакційна здатність органічних молекул» є однією з базових у підготовці фахівців в галузі хімії, оскільки дає можливість опанувати знання щодо основних закономірностей реакційної здатності органічних сполук, структурних особливостей різних функціональних груп та їх взаємний вплив одна на одну, а також дає змогу навчитись передбачувати особливості хімічної поведінки тих чи інших молекул в залежності від їх будови та умов проведення реакції.

Міждисциплінарні зв'язки. Навчальна дисципліна «Структура та реакційна здатність органічних молекул» є однією з обов'язкових, яка входить до дисциплін професійної підготовки. Даний курс вивчається аспірантами протягом IV-V семестрів другого та третього навчальних років.

Програма навчальної дисципліни складається з трьох змістовних модулів:

1. Базові концепції та сучасні докази будови органічних молекул, просторової ізомерії та механізмів хімічних перетворень.
2. Фундаментальні основи та сучасні тенденції органічного синтезу
3. Реакційні частинки в органічній хімії

1. Мета та завдання навчальної дисципліни

1.1. Метою дисципліни є освоєння фундаментальних знань щодо будови та реакційної здатності органічних молекул та реакційних частинок, застосування новітніх уявлень з теоретичних основ органічної хімії задля побудови правильної стратегії і тактики сучасного органічного синтезу. Під час вивчення курсу особлива увага приділяється вивченню основних закономірностей впливу будови на реакційну здатність молекули, ознайомлення аспірантів з проблемами сучасного органічного синтезу, із загальними принципами, із стратегією і тактикою органічного синтезу, основними закономірностями складання плану синтезу органічної сполуки, що відноситься до будь-якого класу (чи поліфункціональної), має будову досить високої міри складності, формуванню навиків складних хімічних експериментів

та специфічних прийомів синтетичної органічної хімії для комплексного їх використання під час препаративного синтезу органічних речовин різних класів та одержання цільових матеріалів. В курсі також розглядаються сучасні підходи до реалізації тих чи інших хімічних перетворень.

1.2. Завданням дисципліни є поглиблене вивчення теоретичних і методологічних основ органічної хімії, специфічних прийомів синтетичної органічної хімії для комплексного їх використання під час одержання органічних речовин різних класів, які реально використовуються в найрізноманітніших сферах діяльності людей, формування практичних навичок і вмінь для планування і проведення складних хімічних експериментів, формування і розвиток цілісного уявлення про методи синтезу органічних сполук.

До завдань дисципліни відноситься також формування уявлень про реакційні частинки в органічній хімії, їх будову, стабільність, методи їх отримання або генерації, фізичні та хімічні властивості.

1.3. У результаті вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен:

Знати та розуміти:

- основні аспекти органічного синтезу (ретросинтез, стратегії органічного синтезу, синтони і т.д.);
- методи інтенсифікації процесів;
- основи хімії радикалів, фотохімії, метатезису як прикладів фундаментальних реакцій в органічній хімії;
- уявлення про промислові процеси. «Flow»-хімія та її особливості
- основні типи реакційних частинок та їхні властивості.
- роль реакційних частинок в механізмах органічних та біоорганічних реакцій.

Вміти:

- планувати та реалізувати органічний синтез;
- орієнтуватися в сучасних тенденціях інтенсифікації хімічних процесів;

- застосовувати нестандартні підходи та прийоми при розв'язанні експериментальних та теоретичних задач;
- передбачення властивостей реакційних частинок в залежності від структури;

Володіти:

- навиками планування, аналізу та проведення органічного синтезу, знаннями як про фундаментальні основи органічного синтезу, так і про сучасні тенденції розвитку лабораторних та промислових процесів;
- знанням основних типів реакційних частинок та їх властивостей, їх ролі в механізмах органічних та біоорганічних реакцій.

Сформовані компетентності:

- Здатність самостійно формулювати і вирішувати оригінальні дослідницькі завдання в області органічної хімії.
- Здатність опановувати і виявляти тенденції розвитку сучасної органічної хімії та суміжних наук.
- Уміння прогнозувати перспективи розвитку природничих наук і наук про життя, їхній вплив на подальше існування людства.

Програмні результати навчання:

- Фундаментальне розуміння предмету і завдань органічної хімії.
- Оволодіння уявленнями про загальні закономірності, які описують поведінку і взаємодію молекулярних об'єктів в синтетичних процесах.
- Знання класичних та сучасних механізмів перебігу органічних реакцій
- Знання про сучасні каталітичні системи органічного синтезу
- Знання структури, методів синтезу та властивостей основних типів біоактивних сполук.

2. Опис навчальної дисципліни

| Галузь знань, напрям підготовки, спеціальність, освітньо-кваліфікаційний рівень | |
|---|---------------------------------------|
| Галузь знань | 10 Природничі науки |
| Спеціальність | 102 Хімія |
| Рівень вищої освіти | Третій (освітньо - науковий) |
| Характеристика навчальної дисципліни | |
| Вид | Цикл дисциплін професійної підготовки |
| Загальна кількість годин | 120 |
| Кількість кредитів ECTS | 4 |
| Кількість змістових модулів | 3 |
| Форма контролю | іспит |
| Показники навчальної дисципліни для денної та заочної форм навчання | |
| Рік підготовки | 2-3 |
| Семестр | 4-5 |
| Лекційні заняття | 62 год. |
| Практичні, семінарські заняття | 10 год. |
| Самостійна робота | 42 год. |
| Консультації | 6 год. |
| Індивідуальні завдання | - |

3. Інформаційний обсяг навчальної дисципліни

ЗМІСТОВНИЙ МОДУЛЬ 1. Базові концепції та сучасні докази будови органічних молекул, просторової ізомерії та механізмів хімічних перетворень.

Тема 1. Вступ. Основні поняття, що потрібні для вивчення курсу «Структура та реакційна здатність органічних молекул». Будова органічних молекул в твердому стані та розчині. Методи встановлення та доказу будови енантіомерів та діастереомерів. Їх класифікація. Селективні реакції. Хемо-, регіо- та стереоселективність. Поняття про асиметричний синтез та асиметричний каталіз.

Тема 2. Класифікація хімічних процесів. Основні принципи органічної хімії. Термодинаміка та кінетика органічних реакцій. Механізми органічних реакцій. Класифікація механізмів та інтермедіатів. Докази механізмів органічних реакцій. Кінетичні дослідження. Порядок та молекулярність реакції.

Ізотопні ефекти: первинний та вторинний. Ізотопні мітки. Спектральні дослідження нестабільних інтермедіатів. Стереохімічні докази механізму.

Методи дослідження таутомерних перетворень.

Тема 3. Орбітальний контроль. Класифікація та номенклатура синхронних процесів. Теорія Вудворда – Гофмана. Дозволені та заборонені реакції. Вплив різних факторів на стереохімічні особливості узгоджених реакцій. Реакції циклізації, циклоприєднання та сигматропні зміщення. Реакції циклоприєднання в гетероциклічних системах.

ЗМІСТОВНИЙ МОДУЛЬ 2. Фундаментальні основи та сучасні тенденції органічного синтезу

Тема 4. Ретросинтез

Предмет і задачі органічного синтезу. Планування та проведення органічного синтезу. Ретросинтез. Синтетичні стратегії.

Тема 5. Хімія радикалів

Фізичні основи процесів пов'язаних з радикалами. Методи генерування радикалів. Будова та стабільність радикалів. Використання органічних та неорганічних радикалів в синтезі.

Тема 6. Фотохімія

Фізичні основи взаємодії світла з молекулами. Основні типи фотохімічних реакцій. Приклади використання в органічному синтезі.

Тема 7. Метатезис

Історія розвитку алкенового метатезису. Особливості механізму. Типи реакцій метатезису. Каталізатори метатезису, їх особливості. Практичне застосування.

Тема 8. Інтенсифікація хімічних процесів.

Ультразвук та мікрохвильове опромінення як методи покращення перенесення тепла та маси в реакціях, та засоби підвищення швидкості реакцій.

Тема 9. Основи «Flow» - хімії

Основні поняття та історія виникнення. Основні переваги синтезів у проточному варіанті. Приклади проведення органічних синтезів.

ЗМІСТОВНИЙ МОДУЛЬ 3. Реакційні частинки в органічній хімії

Тема 10. Хімія карбокатионів.

Будова. Характеристики карбокатионів. Стабілізація карбокатионів. Фільність. Методи генерації йонів карбенію. Реакції, що перебігають через карбокатиони.

Тема 11. Хімія карбаніонів.

Будова. Стабілізація. Фільність. Характеристики карбаніонів. Способи утворення карбаніонів. Іліди та їх типи, методи утворення. Основні типи реакцій карбаніонів.

Тема 12. Хімія радикалів.

Будова. Стабілізація. Фільність. Способи утворення радикалів. Основні стадії радикальних процесів. Реакції радикального відриву водню та галогенів. Реакції за участю радикалів.

Тема 13. Хімія карбенів.

Будова. Синглетні та триплетні карбени. Термодинамічна та кінетична стабілізації карбенів. Основність. Фільність. Методи генерації та отримання карбенів. Реакції за участю карбенів.

Тема 14. Хімія нітренив.

Будова нітренив. Методи генерування нітренив. Реакції за участю нітренив.

Тема 15. Хімія аринів.

Будова 1,2-,1,3- та 1,4-дегідробензенів. Методи генерування аринів. Реакції за участю аринів.

4. Структура навчальної дисципліни

| Назви змістових модулів і тем | Кількість годин | | | | |
|--|-----------------|--------------|-----------|-------------------|--------------|
| | усього | у тому числі | | | |
| | | Лекції | Практичні | Самостійна робота | Консультації |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 7 |
| Змістовий модуль 1. <u>Базові концепції та сучасні докази будови органічних молекул, просторової ізомерії та механізмів хімічних перетворень.</u> | | | | | |
| Тема 1. | 19 | 10 | - | 8 | 1 |
| Тема 2. | 18 | 10 | - | 8 | - |
| Тема 3. | 23 | 10 | 4 | 8 | - |
| <i>Разом за змістовим модулем 1</i> | 60 | 30 | 4 | 24 | 2 |
| Змістовий модуль 2. <u>Фундаментальні основи та сучасні тенденції органічного синтезу</u> | | | | | |
| Тема 4. | 6 | 2 | - | 2 | 2 |
| Тема 5. | 2 | 2 | - | - | - |
| Тема 6. | 4 | 2 | - | 2 | - |
| Тема 7. | 2 | 2 | - | - | - |
| Тема 8. | 7 | 4 | - | 3 | - |
| Тема 9. | 9 | 2 | 4 | 3 | - |
| <i>Разом за змістовим модулем 3</i> | 30 | 14 | 4 | 10 | 2 |
| Змістовий модуль 3. <u>Реакційні частинки в органічній хімії</u> | | | | | |
| Тема 10. | 8 | 4 | - | 2 | 2 |
| Тема 11. | 6 | 4 | - | 2 | - |
| Тема 12. | 3 | 2 | - | 1 | - |
| Тема 13 | 7 | 4 | 2 | 1 | - |
| Тема 14 | 3 | 2 | - | 1 | - |
| Тема 15 | 3 | 2 | - | 1 | - |
| <i>Разом за змістовим модулем 3</i> | 30 | 18 | 2 | 8 | 2 |
| Усього годин | 120 | 62 | 10 | 42 | 6 |

5. Теми практичних занять.

| № з/п | Назва теми | Кількість годин |
|-------|--|-----------------|
| 1 | Реакції[2+2]- та [4+2]циклоприєднання з використанням гетероциклічних сполук та (або) нестандартних умов реакції. (викладач д.х.н., проф. Войтенко З.В., тема 3) | 4 |
| 2 | Проведення синтезу в Flow-реакторі (викладач д.х.н., проф. Волочнюк, тема 9) | 4 |
| 3 | Синтез карбеноїдних сполук (викладач д.х.н., проф. | 2 |

| | | |
|---------------|-------------------------|-----------|
| | Короткий М.І., тема 13) | |
| Разом: | | 10 |

6. Тематика самостійної роботи.

| № з/п | Назва теми | Кількість годин |
|---------------------------------|--|-----------------|
| 1. | Типи хіральності. Критерії розпізнавання хіральних сполук різних класів. Приклади з сучасної хімічної літератури. (Войтенко, тема 1) | 4 |
| 2. | Електронна будова супряжених молекул. Ступінь супряження в межі ароматичних та гетероароматичних систем. Різноманітні критерії ароматичності. (Войтенко, тема 1) | 4 |
| 3. | Зв'язок реакційної здатності органічних молекул з квантово-хімічними розрахунками. Індекси реакційної здатності. (Войтенко, тема 2) | 4 |
| 4. | Співвідношення понять основність і нуклеофільність. Пошук цікавих прикладів. (Войтенко, тема 2) | 4 |
| 6. | Синхронні процеси в незвичайних умовах. Використання молекулярних реакторів для зміни перебігу реакції. (Войтенко, тема 3) | 4 |
| 7. | Конкурентні реакції в умовах реакцій циклоприєднання. Приклади. Пояснення. Методи впливу на отримання бажаного результату. Обернено електронна реакція Дільса – Альдера. Успіхи в дослідженні гетероциклічних систем у якості дієнів та дієнофілів. (Войтенко, тема 3) | 4 |
| 9. | Ретросинтетичний аналіз складних природніх сполук (Волочнюк, тема 4) | 2 |
| 10. | Перициклічні процеси (Волочнюк, тема 6) | 2 |
| | Реакції під підвищеним тиском та механохімія (Волочнюк, тема 8) | 3 |
| | Промислові процеси у “Flow” варіанті (Волочнюк, тема 9) | 3 |
| | Карбокатиони в органічному синтезі (М.І. Коротких, тема 10) | 2 |
| | Карбаніони в органічному синтезі (М.І. Коротких, тема 11) | 2 |
| | Радикали в органічному синтезі (М.І. Коротких, тема 12) | 1 |
| | Карбени в органічному синтезі (М.І. Коротких, тема 13) | 1 |
| | Нітрени в органічному синтезі (М.І. Коротких, тема 14) | 1 |
| | Арини в органічному синтезі (М.І. Коротких, тема 15) | 1 |
| Разом у першому семестрі | | 42 |

7. Додаткова робота

| Вид індивідуальних завдань | Тематика індивідуальних завдань | Всього годин |
|----------------------------|---|--------------|
| Реферат | Критерії розпізнавання хіральных сполук різних класів | 30 |
| | Індекси реакційної здатності | |
| | Основні типи реакцій карбаніонів. | |
| | Характеристики карбокатионів | |
| | Каталізатори метатезису, їх особливості | |
| | Реакції за участю нітренив | |
| | Поняття про асиметричний синтез та асиметричний каталіз | |

8. Методи навчання

Форми навчання: теоретичні, практичні, самостійна робота, консультації.

Методи навчання: словесні – лекція, пояснення, бесіда, on-line;

наочні – презентації, виконані із застосуванням програми PowerPoint;

практичні - лабораторні роботи, виконання вправ, завдань;

проблемно-пошукові методи – дискусія та колективне обговорення можливих підходів до вирішення задач чи експериментальних завдань

9. Форми контролю

Поточний контроль - письмові контрольні роботи за темами лекційного курсу, тестування знань аспірантів з певних тем, усне опитування, участь в дискусії, виконання вправ, додаткова робота – індивідуальне творче завдання.

Підсумковий контроль – іспит.

10. Розподіл балів, які отримують аспіранти

| Поточна самостійна та додаткова робота | | | | | | | | | | | | | | | | І С П И Т | Сума балів |
|--|----|----|-----------------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------------------|---------------|
| Змістовний модуль №1 | | | | Змістовний модуль №2 | | | | | | Змістовний модуль №3 | | | | | | | |
| T1 | T2 | T3 | ДР (реферат) | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 | T9 | T 10 | T 11 | T 12 | T 13 | T 14 | T 15 | | |
| 10 | 10 | 10 | 10 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 30 | 100 |

Критерії оцінювання успішності аспірантів

(форма підсумкового контролю - іспит)

25...30 балів ставиться аспіранту, який демонструє повні і глибокі знання навчального матеріалу, знає суть предмету, його сучасний зміст та методологію, класифікацію природних сполук та їх основні біогенетичні шляхи синтезу, особливості будови, структурну різноманітність, хімічні та біологічні властивості природних сполук; вміє визначати належність природної сполуки до певного класу чи групи на основі класифікаційних ознак, а також виділяти структурні особливості, які визначають хімічні та біологічні властивості сполуки; має достовірний рівень розвитку умінь і навичок, що лежать в основі методів виявлення, вилучення, очистки та аналізу сполук рослинного походження; вільно володіє науковими термінами; вміє приймати необхідні рішення в нестандартних та має високу комунікативну культуру.

20...25 балів ставлять у тому випадку, якщо аспірант виявляє знання теоретичного програмного матеріалу і показує систематичний характер знань по всіх розділах програми, проте у відповідях є деякі недоліки, а саме: може описати структурну різноманітність основних класів природних сполук, але не чітко оцінює взаємозв'язок між будовою та властивостями природних сполук, не вміє прогнозувати хімічні та біологічні властивості сполук за їх структурою; орієнтується в способах виділення та в синтетичних методах одержання природних сполук, але не може зробити узагальнюючі висновки; допускає

окремі несуттєві помилки і неточності; виникає необхідність задавати допоміжні питання.

14...20 балів виставляється аспіранту, який засвоїв основний навчальний матеріал, володіє необхідними вміннями та навичками для вирішення стандартних завдань, знає основні закономірності, але не зовсім чітко уявляє їх застосування, не виявляє самостійності суджень, не вміє сформулювати висновки.

0...14 балів ставиться аспіранту, який не володіє необхідними знаннями, вміннями, навичками, науковими термінами, демонструє низький рівень комунікативної культури.

Шкала оцінювання: національна та ECTS

| Сума балів за всі види навчальної діяльності | Оцінка ECTS | Оцінка за національною шкалою |
|--|-------------|--|
| | | для екзамену |
| 90 – 100 | A | відмінно |
| 82-89 | B | добре |
| 74-81 | C | |
| 64-73 | D | |
| 60-63 | E | задовільно |
| 35-59 | FX | незадовільно з можливістю повторного складання |
| 0-34 | F | незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни |

Календарно-тематичний план вивчення нормативної навчальної дисципліни

«СТРУКТУРА ТА РЕАКЦІЙНА ЗДАТНІСТЬ ОРГАНІЧНИХ МОЛЕКУЛ»

Календарний план навчальних занять
 Рівень вищої освіти Третій (освітньо-науковий)
 Галузь знань 10 – Природничі науки
 Спеціальність 102 – Хімія
 Рік навчання 2-3
 Семестр 4-5

Кількість тижнів 40
 Практичних занять 10 год.
 Консультації 6 год.

Лекцій 62 год.
 Самостійна робота 42 год.
 Всього 120 год.



Затверджую
 Директор Інституту органічної хімії НАН України
 акад. НАН України В.І. Кальченко
 «07» 12 2020 р.

| Теми лекцій | год | Теми практичних (лабораторних) занять | год | Теми самостійних робіт | год |
|--|-----|---|-----|---|-----|
| Змістовний модуль 1 <i>Базові концепції та сучасні докази будови органічних молекул, просторової ізомерії та механізмів хімічних перетворень</i> | | | | | |
| Тема 1. Вступ. Основні поняття, що потрібні для вивчення курсу «Структура та реакційна здатність органічних молекул». Будова органічних молекул в твердому стані та розчині. Методи встановлення та доказу будови енантіомерів та діастереомерів. Їх класифікація. Селективні реакції. Хемо-, регіо- та стереоселективність. Поняття про асиметричний синтез та асиметричний каталіз. | 10 | | | Типи хіральності. Критерії розпізнавання хіральных сполук різних класів. Приклади з сучасної хімічної літератури. Електронна будова супряжених молекул. Ступінь супряження в межі ароматичних та гетероароматичних систем. Різноманітні критерії ароматичності. | 8 |
| Тема 2. Класифікація хімічних процесів. Основні принципи органічної хімії. Термодинаміка та кінетика органічних реакцій. Механізми органічних реакцій. Класифікація механізмів та інтермедіатів. Докази механізмів органічних реакцій. Кінетичні дослідження. Порядок та молекулярність реакції. Ізотопні ефекти: первинний та вторинний. Ізотопні мітки. Спектральні дослідження нестабільних інтермедіатів. Стереохімічні докази механізму. Методи дослідження таутомерних перетворень | 10 | | | Зв'язок реакційної здатності органічних молекул з квантово-хімічними розрахунками. Індекси реакційної здатності. Співвідношення понять основність і нуклеофільність. Пошук цікавих прикладів. | 8 |
| Тема 3. Орбітальний контроль. Класифікація та номенклатура синхронних процесів. Теорія Вудворда – Гофмана. Дозволені та заборонені реакції. Вплив різних факторів на | 10 | Реакції[2+2]- та [4+2]циклоприсєднання з використанням гетероциклічних сполук та (або) нестандартних умов | 4 | Синхронні процеси в незвичайних умовах. Використання молекулярних реакторів для зміни перебігу реакції. Конкурентні реакції в умовах реакцій циклоприсєднання. Приклади. Пояснення. Методи впливу на отримання бажаного | 8 |

| | | | | | |
|--|---|------------------------------------|---|--|---|
| стереохімічні особливості узгоджених реакцій. Реакції циклізації, циклоприєднання та сигматропні зміщення. Реакції циклоприєднання в гетероциклічних системах. | | реакції. | | результату. Обернено електронна реакція Дільса – Альдера. Успіхи в дослідженні гетероциклічних систем у якості дієнів та дієнофілів. | |
| Змістовний модуль 2 <u>Фундаментальні основи та сучасні тенденції органічного синтезу</u> | | | | | |
| Тема 4. Ретросинтез. Предмет і задачі органічного синтезу. Планування та проведення органічного синтезу. Ретросинтез. Синтетичні стратегії. | 2 | | | Ретросинтетичний аналіз складних природних сполук | 2 |
| Тема 5. Хімія радикалів Фізичні основи процесів пов'язаних з радикалами. Методи генерування радикалів. Будова та стабільність радикалів. Використання органічних та неорганічних радикалів в синтезі. | 2 | | | | |
| Тема 6. Фотохімія. Фізичні основи взаємодії світла з молекулами. Основні типи фотохімічних реакцій. Приклади використання в органічному синтезі. | 2 | | | Перициклічні процеси | 2 |
| Тема 7. Метатезис. Історія розвитку алкенового метатезису. Особливості механізму. Типи реакцій метатезису. Каталізатори метатезису, їх особливості. Практичне застосування. | 2 | | | | |
| Тема 8. Інтенсифікація хімічних процесів. Ультразвук та мікрохвильове опромінення як методи покращення перенесення тепла та маси в реакціях, та засоби підвищення швидкості реакцій. | 2 | | | Реакції під підвищеним тиском та механохімія | 3 |
| Тема 9. Основи «Flow» - хімії. Основні поняття та історія виникнення. Основні переваги синтезів у проточному варіанті. Приклади проведення органічних синтезів. | 2 | Проведення синтезу в Flow-реакторі | 4 | Промисловий процеси у “Flow” варіанті | 3 |
| Змістовний модуль 3. <u>Реакційні частинки в органічній хімії</u> | | | | | |
| Тема 10. Хімія карбокатионів. Будова. Характеристики карбокатионів. Стабілізація карбокатионів. Фільність. Методи генерації йонів карбенію. Реакції, що перебігають через карбокатиони. | 4 | | | Карбокатиони в органічному синтезі | 2 |
| Тема 11. Хімія карбаніонів. Будова. Стабілізація. Фільність. | 4 | | | Карбаніони в органічному синтезі | 2 |

| | | | | | |
|---|----|----------------------------|----|--------------------------------|----|
| Характеристики карбаніонів. Способи утворення карбаніонів. Іліди та їх типи, методи утворення. Основні типи реакцій карбаніонів. | | | | | |
| Тема 12. Хімія радикалів. Будова. Стабілізація. Фільність. Способи утворення радикалів. Основні стадії радикальних процесів. Реакції радикального відриву водню та галогенів. Реакції за участю радикалів. | 2 | | | Радикали в органічному синтезі | 1 |
| Тема 13. Хімія карбенів. Будова. Синглетні та триплетні карбени. Термодинамічна та кінетична стабілізації карбенів. Основність. Фільність. Методи генерації та отримання карбенів. Реакції за участю карбенів. | 4 | Синтез карбеноїдних сполук | 2 | Карбени в органічному синтезі | 1 |
| Тема 14. Хімія нітренив. Будова нітренив. Методи генерування нітренив. Реакції за участю нітренив. | 2 | | | Нітрени в органічному синтезі | 1 |
| Тема 15. Хімія аринів. Будова 1,2-,1,3- та 1,4-дегідробензенів. Методи генерування аринів. Реакції за участю аринів. | 2 | | | Арини в органічному синтезі | 1 |
| | 62 | | 10 | | 42 |

Науково-педагогічні працівники _____ д.х.н., проф. **З.В. Войтенко**

_____ д.х.н., проф. **Д.М. Волочнюк**

_____ д.х.н., проф. **М.І. Короткіх**

11. Рекомендована література

Базова:

1. Тодрес З.В. Ион-радикалы в органическом синтезе. М.: Химия, 1986.
2. Reactive intermediate chemistry / Ed. Moss R.A., Platz M.S., Jones M. Wiley-Interscience, 2004.
3. Кирмсе В. Химия карбенов. М.: Мир, 1966.
4. Нефедов О.М., Иоффе А.И., Менчиков Л.Г. Химия карбенов. М.: Химия, 1990.
5. Короткіх М.І., Швайка О.П. Карбеновий та карбенокомплексний каталіз органічних реакцій. Донецьк: ДонНУ, 2013.
6. March's Advanced Organic Chemistry: Reactions, Mechanisms, and Structure 7th Edition. by Michael B. Smith (Author)
7. Comprehensive Organic Transformations. A Guide to Functional Group Preparations By Richard A. Larock
8. Fieser & Fieser; Encyclopedia of Reagents for organic synthesis
9. An Introduction to Free Radical Chemistry, Andrew Parson, 2000, Blackwell Science Ltd.
10. Radical Reactions in Organic Synthesis, Samir Zard, 2003, Oxford University Press
11. H. Togo *Advanced Free Radical Reactions for Organic Synthesis*. Elsevier Science 2004, ISBN 978-0-08-044374-4. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-044374-4.X5000-2>
12. N. Hoffmann Photochemical Reactions as Key Steps in Organic Synthesis. *Chem. Rev.* 2008, 108, 3, 1052–1103. <https://doi.org/10.1021/cr0680336>
13. R. H. Grubbs; A. G. Wenzel; D. J. O'Leary; E. Khosravi *Handbook of Metathesis*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA 2015, ISBN:9783527334247. DOI:10.1002/9783527674107
14. de la Hoz; A. Loupy *Microwaves in Organic Synthesis, Third Edition*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA 2013, ISBN:9783527331161. DOI:10.1002/97835276513.

15. *Sonochemistry. From Basic Principles to Innovative Applications.* Colmenares, J. C., Chatel, G. Ed. Springer International Publishing 2017, ISBN 978-3-319-54270-6. DOI 10.1007/978-3-319-54271-3

16. L. Vaccaro *Sustainable Flow Chemistry: Methods and Applications.* WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA 2017. ISBN:9783527338528. DOI:10.1002/9783527689118

Допоміжна:

1. Carbocation Chemistry. By P. Vogel. Institut de Chimie Organique, Universite de Lausanne, Switzerland, and Elsevier, Amsterdam, 1985.

2. Бетел Д., Голд В. Карбониевые ионы. М.: Мир, 1970.

3. Olah G., Molnar A. Hydrocarbon chemistry. 2 Ed., Hoboken (New Jersey)/Wiley-Interscience, 2003.

4. Olah G.A. Halonium ions. N-Y: Wiley, 1975.

5. Ола Дж., Пракаш Г.К., Уильямс Р.Е., Филд Л.Д., Уэйд К. Химия гиперкоординированного углерода. М.: Мир, 1990.

6. Крам Д. Основы химии карбанионов, М.: Мир, 1967.

7. Лозинський М.О., Ковтуненко В.О. Карбаніони. Добування та алкілування. К.: Трео-плюс, 2008.

8. Нонхибел Д., Уолтон Дж. Химия свободных радикалов. М.: Мир, 1977

9. Бучаченко А.Л., Вассерман А.М. Стабильные радикалы. М.: Химия, 1973.

10. Дэвис Д.И. Свободные радикалы в органическом синтезе. М: Мир. 1980.

11. Швайка О.П., Коротких Н.И., Асланов А.Ф. Гетероароматические карбены // Химия гетероцикл. соед. 1992, № 9, С. 1155 – 1170.

12. Herrmann W.A., Kocher K., *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.*, 1997, 36, 2162.

13. Bourissou D., Guerret O., Gabbai F.P., Bertrand G., *Chem. Rev.* 2000, 100, 1, 39.

14. Nitrenes. Edited by Walter Lwowski Research Center, New Mexico State University, Las Cruces, N. M. Interscience Publishers, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1970.

15. Вацуро К.В., Мищенко Г.А. Именные реакции в органической химии. М.: Химия, 1976.

16. Ли Д.Д. Именные реакции. Механизмы органических реакций. М.: Бином, 2006.

17. Сайкс П. Механизмы реакций в органической химии. М.: Химия, 1977.

18. Общая органическая химия / под ред. Д. Бартона. М.: Химия, 1982, Т. 2,3.

19. Матье Ж., Панико Р. Курс теоретических основ органической химии. М.: Мир, 1975.

20. Терней А. Современная органическая химия (в 2-х т.), М.: Мир, 1981.

21. Кери Ф., Сандберг Р. Углубленный курс органической химии (в 2-х т.), М.: Химия, 1981.

22. March's Advanced Organic Chemistry/ M.B.Smith, J.March. Wiley-Interscience, 2001

23. Advanced Free Radical Reactions for Organic Synthesis, Hideo Togo, 2003, Elsevier

24. Free Radicals, Vols. 1 &2, Ed. Kochi, 1973, Wiley-Interscience;

25. Delaude, L. and Noels, A. F. 2005. Metathesis. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology.

26. K. S. Suslick, et al, J. Am. Chem. Soc. 1983, 105, 5781.

27. Annu. Rev. Phys. Chem. 2008. 59:659–83

28. "Sonochemistry" Science 1990, 247, 1439

29. Angew. Chem. Int. Ed. 2011, 50, 7502 – 7519

Інформаційні ресурси

1. American Chemical Society (ACS)

(<http://pubs.acs.org/action/showPublications?display=journals>)

2. Royal Society of Chemistry

(http://pubs.rsc.org/?_ga=1.193729582.2095862567.1415557036)

3. ScienceDirect (<http://www.sciencedirect.com/science/journals>)

4. SpringerLink (<http://www.springerlink.com/journals/>)

5. Wiley Online Library (<http://onlinelibrary.wiley.com/>)
6. www.organic-chemistry.org