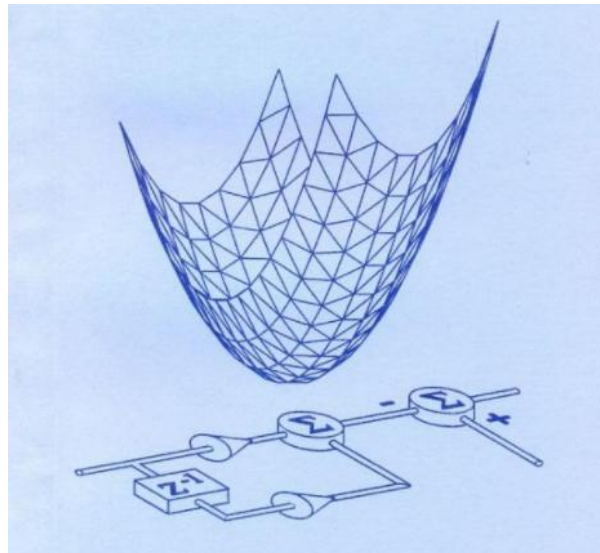




# [RE-266] МЕТОДИ АДАПТИВНОГО ОБРОБЛЕННЯ СИГНАЛІВ



## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Другий (магістерський)
Галузь знань	-
Спеціальність	-
Освітня програма	172Мн РКС - Радіотехнічні комп'ютеризовані системи (ЄДЕБО id: 49259)172Мн РЕІ - Радіоелектронна інженерія (ЄДЕБО id: 53272)172Мн РЕІ+ - Радіоелектронна інженерія (ЄДЕБО id: 57919)
Статус дисципліни	Нормативна
Форма здобуття вищої освіти	Очна
Рік підготовки, семестр	2 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	3,5 кред. (Лекц. 36 год, Практик. год, Лаб. 18 год, СРС. 51 год )
Семестровий контроль/контрольні заходи	Екзамен
Розклад занять	<a href="https://rozklad.kpi.ua">https://rozklad.kpi.ua</a>
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лекц.: <a href="#">Жук С. Я.</a> , Лаб.: <a href="#">Жук С. Я.</a> , СРС.: <a href="#">Жук С. Я.</a>
Розміщення курсу	<a href="https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=6878">https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=6878</a>

## Програма навчальної дисципліни

### 1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

**Опис навчальної дисципліни.** Дисципліна навчає статистичним методам адаптивного оброблення сигналів для використання в сучасних радіотехнічних системах. Сучасні радіотехнічні системи мають значні обчислювальні можливості і, по-суті, є комп'ютеризованими інформаційно-вимірювальними системами. Вони повинні ефективно функціонувати в складній сигнально-завадовій обстановці, що динамічно змінюється. Це можливо забезпечити, лише шляхом розробки адаптивних алгоритмів, які можуть бути реалізовані на базі сучасних спеціалізованих цифрових систем обробки сигналів.

**Мета навчальної дисципліни.** Метою дисципліни є вивчення методів адаптивного оброблення сигналів в радіотехнічних комп'ютеризованих системах, які дозволяють розробляти алгоритми, що забезпечують ефективне функціонування таких систем в умовах завад.

**Предмет вивчення:** методи адаптивного оброблення сигналів при наявності навчаючої вибірки ( з вчителем) і при її відсутності (без вчителя) в сучасних радіотехнічних комп'ютеризованих системах.

#### Компетентності.

Здатність досліджувати проблеми із використанням системного аналізу, синтезу та інших загальнонаукових методів пізнання (ЗК 12).

Здатність до системного мислення, вирішення задач розробки, оптимізації та оновлення структурних блоків телекомунікаційних, радіотехнічних та інформаційних систем (ФК 3).

Здатність використовувати інформаційні технології, методи інтелектуалізації та візуалізації, штучного інтелекту для дослідження та аналізу процесів у телекомунікаційних та радіотехнічних системах (ФК 5).

Здатність обирати оптимальні методи досліджень, модифікувати та адаптувати існуючі, розробляти нові методи досліджень відповідно до існуючих технічних засобів та формувати методику обробки результатів досліджень (ФК 16).

Здатність розробляти алгоритми адаптивної обробки сигналів в сучасних радіотехнічних системах, що працюють в умовах апріорної невизначеності, та досліджувати їх ефективність шляхом статистичного моделювання на ЕОМ з використанням спеціалізованих програмних засобів (ФК 25.)

#### Програмні результати навчання

Визначати напрямки модернізації технологічних аспектів виробництва, впровадження новітніх інформаційних та комунікаційних технологій (ПРН 2).

Розробляти алгоритми адаптивної обробки сигналів в сучасних радіотехнічних системах, що працюють в умовах апріорної невизначеності, та досліджувати їх ефективність шляхом статистичного моделювання на ЕОМ з використанням спеціалізованих програмних засобів. (ПРН 17)

Вибирати оптимальні методи досліджень, модифікувати, адаптувати та розробляти нові методи та формувати методику обробки результатів (ПРН 26).

## **2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)**

Пререквізити: навчальна дисципліна «Методи адаптивного оброблення сигналів» базується на знаннях з таких дисциплін: “Математичне моделювання процесів та систем”, “ Супутникові інформаційні системи”, „Машинне навчання в радіотехнічних комп’ютеризованих системах”, „Математичні методи оптимізації”.

Постреквізити: Дисципліна є завершальною за напрямом статистичного оброблення сигналів і присвячена розгляду найбільш складних задач синтезу адаптивних радіотехнічних систем, які здатні функціонувати в умовах апріорної невизначеності щодо сигнально-завадової обстановки.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

### **Розділ 1. Математичні моделі сигналів і завад.**

**Тема 1.** Авторегресійний процес.

**Тема 2.** Лінійні параметричні моделі гаусівських випадкових послідовностей.

**Тема 3.** Марківські послідовності та ланцюги Маркова.

### **Розділ 2. Методи адаптивного оброблення сигналів при наявності навчаючої вибірки.**

**Тема 4.** Вінерівська фільтрація в часовій області.

**Тема 5.** Чисельні методи пошуку вінерівського рішення.

**Тема 6.** LMS-алгоритм і його властивості.

**Тема 7.** Адаптивна фільтрація на основі методу найменших квадратів.

**Тема 8.** RLS – алгоритм та його властивості.

**Тема 9.** Адаптивна ідентифікація параметрів невідомої лінійної системи.

**Тема 10.** Метод лінійного передбачення.

**Тема 11.** Оптимальна просторова компенсація завад лінійною цифровою антенною решіткою.

**Тема 12.** Адаптивна просторова компенсація завад лінійною цифровою антенною решіткою.

### **Розділ 3. Методи адаптивного оброблення сигналів при відсутності навчаючої вибірки.**

**Тема 13.** Оптимальна нелінійна фільтрація сигналів в дискретному часі.

**Тема 14.** Оптимальна лінійна фільтрація сигналів в дискретному часі.

**Тема 15.** Методи подолання апріорної невизначеності.

**Тема 16.** Адаптивна фільтрація сигналів на основі байєсівського підходу.

**Тема 17.** Адаптивна фільтрація сигналів на основі методу розділення..

**Тема 18.** Адаптивна фільтрація сигналів з випадковою структурою.

#### 4. Навчальні матеріали та ресурси

##### **Література базова:**

1. *Adaptive filters*: by C.F.N. Cowan and P.M. Grant. Publisher: Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1985, 308 pp.
2. S.Haykin, *Adaptive Filter Theory*, 5th Edition, Prentice Hall, 2013. -912p.
3. Братченко Г. Д., Перелигін Б. В., Банзак О. В., Казакова Н. Ф., Григор'єв Д. В. Методи та засоби обробки сигналів. Навчальний посібник. – Одеса: Типографія-видавництво «Плутон», 2014. – 452 с
4. MATLAB and Simulink for Signal Processing [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.mathworks.com/solutions/signal-processing.html>
5. Жук С.Я., Товкач І.О. Методи адаптивного оцінювання параметрів руху безпілотного літального апарату на основі вимірювань сенсорної мережі. -К.: «Політехніка», КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019, 172 с.
6. Monzingo, Robert A., Introduction to adaptive arrays / Robert A. Monzingo, Randy L. Haupt, Thomas W. Miller. –2nd ed. SciTech Publishing, Raleigh, NC. 2011. -510 p.

##### **Література додаткова:**

1. L. R. Rabiner and R. W. Schafer, *Introduction to Digital Speech Processing, Foundations and Trends in Signal Processing*, vol 1, no 1-2, pp 1-194, 2007
2. Андреев М.В. Комп'ютерні методи обробки сигналів. Конспект лекцій. Цифровий депозитарій ДНУ ім. О.Гончара, 2017. – Режим доступу: [http://repository.dnu.dp.ua:1100/?page=inner\\_material&id=8146](http://repository.dnu.dp.ua:1100/?page=inner_material&id=8146)
3. Прокопенко І.Г. *Методи і засоби обробки сигналів*. Оцінювання, виявлення, фільтрація. Підручник / І.Г. Прокопенко. – К.: НАУ, 2003.-200с. <https://zavantag.com/docs/1157/index-3316.html>
4. Новосядлий С. П., Мельник Л. В. Адаптивні фільтри в цифровій обробці сигналів сучасних телекомунікаційних систем / С. П. Новосядлий, Л. В. Мельник // *ВосточноЕвропейский журнал передовых технологий*. – 2013. – №2/9. – С.48–54.
5. Рибальченко М.О., Єгоров О.П., Зворикін В.Б. Цифрова обробка сигналів. Навчальний посібник. – Дніпро: НМетАУ, 2018. – 79 с

### Навчальний контент

#### 5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

##### Перелік питань винесених на лекційні заняття

№	Назва теми лекції та перелік основних питань
1	Авторегресійний процес. Математична модель авторегресійного процесу $AZ(p)$ . Рівняння Юла-Уокера. Кореляційні функції процесу $AR(2)$ . Література: [1, 2] <i>Завдання для СРС</i> . Рівняння Вінера-Хінчина для кореляційних функцій і спектральних щільностей потужності стаціонарних випадкових послідовностей.

2	<p>Ковзного середнього процес <math>CC(q)</math>. Розрахунок кореляційної функції процесу <math>CC(q)</math>. Авторегресійний ковзного середнього процес <math>ARCC(p,q)</math>. Розрахунок кореляційної функції процесу <math>ARCC(q)</math>.</p> <p>Література: [1,2]</p> <p><i>Завдання для СРС:</i> Співвідношення спектральних щільностей потужності аналогових стохастичних сигналів і випадкових послідовностей.</p>
3	<p>Класифікація марківських процесів. Загальні властивості марківських послідовностей. Марківські послідовності на основі <math>AR</math>-моделі. Векторні гаусівські марківські послідовності.</p> <p>Література: [1,2]</p> <p><i>Завдання для СРС:</i> Марківські ланцюги та їх властивості.</p>
4	<p>Вінерівська фільтрація Узагальнена структура адаптивного фільтра. Критерій мінімуму середнього квадрата похибки оцінки. Синтез фільтра Вінера в часовій області. Фільтр Вінера першого порядку. Обчислювальна складність фільтра Вінера.</p> <p>Література: [1, 2, 3]</p> <p><i>Завдання для СРС:</i> Лінійно-обмежена вінерівська фільтрація. /</p>
5	<p>Чисельна процедура розрахунку рішення рівняння Вінера - Хопфа. Градієнт функції і його властивості. Метод простого градієнту. Метод простого градієнту з постійним кроком. Блок-схема алгоритмів.</p> <p>Література: [2]</p> <p><i>Завдання для СРС:</i> Алгоритм Ньютона. Постійні часу алгоритму Ньютона.</p>
6	<p>LMS-алгоритм і його властивості. Модифікація алгоритму на основі методу найшвидшого зпуску. Перехідні процеси в LMS-алгоритмі. Якість адаптивної фільтрації сигналів за допомогою LMS-алгоритму.</p> <p>Література: [1,2,3]</p> <p><i>Завдання для СРС:</i> Лінійно обмежений LMS-алгоритм.</p>
7	<p>Постановка задачі і її рішення класичним методом найменших квадратів. Геометрична інтерпретація МНК. Лінійна регресія як імовірнісна модель. Властивості оцінок.</p> <p>Література: [1, 2]</p> <p><i>Завдання для СРС:</i> Геометрична інтерпретація методу найменших квадратів.</p>
8	<p>Рекурсивна задача найменших квадратів. Рішення рекурсивної задачі найменших квадратів. RLS - алгоритм із зважуванням. Обчислювальна складність RLS - алгоритму.</p> <p>Література: [1, 2,3]</p> <p><i>Завдання для СРС:</i> Швидкість збіжності RLS -алгоритму.</p>
9	<p>Адаптивна ідентифікація параметрів невідомої лінійної системи. Адаптивні алгоритми ідентифікації на основі лінійних параметричних моделей.</p> <p>Література: [2]</p> <p><i>Завдання для СРС:</i> Адаптивне вирівнювання характеристик каналу зв'язку..</p>
10	<p>Метод лінійного передбачення. Геометрична інтерпретація. Параметричні методи оцінки спектральної щільності потужності сигналів. Методи оцінки параметрів <math>AR</math>-моделі.</p> <p>Література: [2]</p> <p><i>Завдання для СРС:</i> Адаптивне подавлення ехо-сигналів.</p>
11	<p>Модель лінійної цифрової антенної решітки. Оптимальний алгоритм компенсації активних шумових завад лінійною ЦАР.</p> <p>Література: [5]</p> <p><i>Завдання для СРС:</i> Критерій оптимальності компенсації шумових завад.</p>
12	<p>Адаптивна компенсація перешкод в антенній решітці на основі LMS-алгоритму. Адаптивна компенсація перешкод в антенній решітці на основі RLS-алгоритму.</p> <p>Література: [5]</p> <p><i>Завдання для СРС:</i> Кореляційна функція випадкової комплексної гаусівської послідовності</p>
13	<p>Оптимальна нелінійна фільтрація сигналів в дискретному часі. Синтез квазіоптимального алгоритму нелінійної фільтрації сигналів в дискретному часі на основі методу лінеаризації.</p> <p>Література: [2]</p> <p><i>Завдання для СРС:</i> Властивості квазіоптимального фільтру.</p>

14	ОптиОптимальна лінійна фільтрація сигналів в дискретному часі. Синтез оптимального алгоритму лінійної фільтрації в дискретному часі. Багатовимірний фільтр Калмана. Література: [1, 2, 3] <i>Завдання для СРС: Властивості фільтру Калмана.</i>
15	Методи подолання параметричної апріорної невизначеності. Види апріорної невизначеності. Байєсівський підхід подолання параметричної апріорної невизначеності. Небайєсівський підхід на основі методу максимальної правдоподібності. Література: [2] <i>Завдання для СРС: Рівномірно найкращі вирішальні правила.</i>
16	Постановка задачі адаптивної фільтрації сигналів. Адаптивна фільтрація сигналів на основі байєсівського підходу. Оптимальний алгоритм на основі обчислення апостеріорної щільності імовірності. Квазіоптимальний адаптивний алгоритм на основі гаусівського наближення. Література: [2] <i>Завдання для СРС: Чутливість алгоритмів фільтрації.</i>
17	Адаптивна фільтрація сигналів на основі методу розділення. Багатоканальний оптимальний алгоритм сумісної фільтрації і розрізнення значення невідомого параметру. Адаптивна фільтрація при лінійних рівняннях повідомлення та спостереження з невідомими параметрами. Багатоканальний пристрій адаптивної фільтрації. Література: [2] <i>Завдання для СРС: Поняття про робастні методи фільтрації</i>
18	АдапАдаптивна фільтрація сигналів з випадковою структурою. Модель стохастичної послідовності з випадковою структурою. Оптимальна фільтрація сигналів в дискретному часі. Структурна схема оптимального пристрою. Синтез оптимального алгоритму лінійної фільтрації в дискретному часі. Структурна схема квазіоптимального пристрою. Література: [4] <i>Завдання для СРС: Змішані марківськи процеси.</i>

### Лабораторні заняття

№ з/п	Назва лабораторної роботи (комп'ютерного практикуму)	Кількість ауд. годин
1	Дослідження лінійних параметричних моделей гаусівських випадкових послідовностей	4
2	Дослідження алгоритму вінерівської фільтрації в часовій області	2
3	Дослідження LMS-алгоритму адаптивної фільтрації	2
4	Дослідження RLS-алгоритму адаптивної фільтрації	2
5	Дослідження оптимальної і адаптивних лінійних цифрових антенних решіток	4
6	Дослідження адаптивного алгоритму фільтрації на основі байєсівського підходу	2
7	Дослідження адаптивного алгоритму фільтрації на основі методу розділення	2

### 6. Самостійна робота студента

На самостійну роботу студентів відводиться 78 годин. Вона складається з:

- Опрацювання матеріалу лекцій та підготовки до тестів за лекційними матеріалами – 18 год.;
- підготовки до лабораторних робіт, проведення необхідних розрахунків та оформлення протоколів лабораторних робіт, підготовка до захисту лабораторних робіт – 22 год.;
- підготовка до модульної контрольної роботи – 2 год.;
- підготовка до екзамену – 9 год.;

## Політика та контроль

### 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

**Рекомендовані методи навчання:** вивчення основної та допоміжної літератури за тематикою лекцій, виконання лабораторних робіт. Студенту рекомендується вести докладний конспект лекцій. Важливим аспектом якісного засвоєння матеріалу, відпрацювання методів та алгоритмів вирішення основних завдань дисципліни є самостійна робота. Вона містить читання літератури, огляд літератури за темою, підготовку до занять, контрольних заходів та іспиту. Метою лабораторних робіт є: поглиблення і закріплення теоретичних знань, набуття навиків моделювання з використанням обчислювальної техніки, набуття навиків оцінки достовірності отриманих результатів та оформлення документів. Програмне забезпечення реалізоване в обчислювальному середовищі для наукових і інженерних розрахунків Matlab. В режимі дистанційного навчання лабораторні роботи 1-6 виконуються на домашньому персональному комп'ютері в пакеті прикладних програм MATLAB.

**Правила відвідування занять.** Всі заняття проводяться в аудиторії або в дистанційному режимі, лекції та лабораторні роботи проводяться в відповідності до розкладу наданого деканатом. Контроль здійснюється на занятті викладачем, якщо воно проводиться в аудиторії, або за результатами тестів з матеріалу лекцій та надходженню звітів про виконання лабораторних робіт, якщо воно дистанційне. Відвідування занять обов'язкове (як лекцій, так і лабораторних занять).

**Призначення заохочувальних та штрафних балів.** Заохочувальні бали виставляються за: активну участь на лекціях та лабораторних заняттях, участь у конкурсах робіт, підготовку та публікацію наукових статей і тезисів доповідей на наукових конференціях, участь в науково-дослідній роботі на тему, що відповідає темам дисципліни. Кількість заохочуваних балів не більше 10;

Штрафні бали можуть виставлятися за: невиконання або невчасне виконання завдань та звітів лабораторних робіт. Кількість штрафних балів не більше 10.

**Академічна доброчесність** Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

**Норми етичної поведінки** Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

**Навчання іноземною мовою** Навчальна дисципліна «Методи адаптивного оброблення сигналів» передбачає її вивчення на українській мові. У процесі викладання навчальної дисципліни використовуються матеріали та джерела російською та англійською мовою.

### 8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

#### Види контролю

**Поточний контроль:** здійснюється шляхом опитування на лабораторних заняттях та при виконанні МКР.

**Календарний контроль:** провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

**Семестровий контроль:** екзамен.

## **Рейтингова система оцінювання результатів навчання.**

1. Рейтинг студента з кредитного модуля розраховується виходячи із 100-бальної шкали, з них 60 балів складає стартова шкала. Стартовий рейтинг (протягом семестру) складається з балів, що студент отримує за:

- виконання і захист лабораторних робіт;
- виконання модульної контрольної роботи (МКР);

2. Критерії нарахування балів.

- 2.1. Лабораторні роботи.

За кожну лабораторну роботу нараховуються бали

- оформлення звіту відповідно до вимог та своєчасна здача (протягом тижня після виконання роботи) – 5 балів; оформлення звіту відповідно до вимог та здача з запізненням (більше ніж через тиждень після виконання роботи) – 2 бал;
- захист лабораторної роботи:
- повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 5 балів;
- «добре» – достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації) або повна відповідь з незначними неточностями – 4 балів;
- «задовільно» – неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 3 бали;
- «незадовільно» – відповідь не відповідає вимогам до «задовільно» – 0 балів.

Максимальна сума балів за ЛР – 40 балів.

2.2. Модульна контрольна робота має 2 питання. За кожне питання нараховуються бали:

- повна відповідь - 10 бали;
- достатньо повна відповідь (має неістотні неточності) - 8 бали;
- відповідь не повністю розкриває питання, є деякі помилки – 4 бал;
- немає відповіді, неправильна відповідь - 0 балів.

Максимальна сума балів за МКР – 20 балів.

3. Календарна проміжна атестація студентів проводиться за значенням поточного рейтингу студента на час атестації. Якщо значення цього рейтингу не менше 50 % від максимально можливого на час атестації, студент вважається атестованим. Умовою позитивної першої атестації є отримання не менше 8 балів. Умовою позитивної другої атестації – отримання не менше 22 балів.

4. Умовою допуску до екзамену є стартовий рейтинг не менше 30 балів.

5. На екзамені студенти відповідають на питання білету. Кожен білет запитання (завдання). Кожне запитання (завдання) оцінюється у 20 балів за такими критеріями:

- «відмінно», повна відповідь, не менше 90% потрібної інформації (повне, безпомилкове розв'язування завдання) – 18-20 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь, не менше 75% потрібної інформації, є незначні неточності (повне розв'язування завдання з незначними неточностями) – 14-17 балів;
- «задовільно», неповна відповідь, не менше 60% потрібної інформації, деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками) – 10-13 балів;
- «незадовільно», відповідь не відповідає умовам до «задовільно» – 0 балів.

6. Сума стартових балів та балів за екзаменаційну контрольну роботу переводиться до екзаменаційної оцінки згідно з таблицею:



**Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою**

<b>Кількість балів</b>	<b>Оцінка</b>
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

**9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)**

- положення про рейтингову систему оцінки успішності доводиться на першому занятті з дисципліни;
- попередня рейтингова оцінка  $R$  з кредитного модуля (дисципліни) доводиться до студентів на останньому занятті;
- календарна атестація студентів з дисципліни проводиться викладачами за значенням поточного рейтингу студента на час атестації  $t$ . Якщо значення цього рейтингу не менше 50% від максимально можливого ( $R_t$ ) на час атестації  $RD_t \geq 0,5R$ , студент вважається задовільно атестованим. В іншому випадку - в атестаційній відомості виставляється «не зараховано».

**Опис матеріально-технічного та інформаційного забезпечення дисципліни**

Комп'ютерний клас кафедри РТС

---

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

**Складено** [Жук С. Я.](#);

**Ухвалено** кафедрою РТС (протокол № 11/21 від 14.06. 2021 р. )

**Погоджено** методичною комісією факультету/ІНІ (протокол № від )