




## СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «ТЕОРІЯ АДАПТИВНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ»

	<b>Ступінь освіти</b>	магістр
	<b>Галузь знань</b>	17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
	<b>Тривалість викладання</b>	3,4 чверті
	<b>Заняття:</b>	Весняний семестр
	лекції:	2 години у 3й чверті та 1 година у 4й чверті
	практичні заняття:	1 година
	<b>Мова викладання</b>	українська

Сторінка курсу в СДО НТУ «ДП»: <https://do.nmu.org.ua/course/view.php?id=2064>

Кафедра, що викладає Фізики

### Інформація про викладача:

	<b>Горєв В'ячеслав Миколайович</b>	Доцент, к.ф.–м.н.
	<b>Персональна сторінка</b>	<a href="https://physics.nmu.org.ua/ua/personal/docents/Gorev/">https://physics.nmu.org.ua/ua/personal/docents/Gorev/</a>
	<b>Е-пошта:</b>	<a href="mailto:Gorev.V.M@nmu.one">Gorev.V.M@nmu.one</a>
	<b>Гусєв Олександр Юрійович</b>	Доцент, к.ф.–м.н.
	<b>Персональна сторінка</b>	<a href="https://bit.nmu.org.ua/ua/pro_kaf/prepods/Gusev.php">https://bit.nmu.org.ua/ua/pro_kaf/prepods/Gusev.php</a>
	<b>Е-пошта:</b>	<a href="mailto:husiev.o.yu@nmu.one">husiev.o.yu@nmu.one</a>

### 1. Анотація до курсу

Розглянуто поняття випадкового процесу кореляційної функції, а також властивості кореляційних функцій стаціонарних випадкових процесів. Розглянуто фільтри Колмогорова–Вінера, адаптивні фільтри Калмана (скалярний, векторний) та фільтр Калмана–Бьюсі, LMS і RLS алгоритми та адаптивні фільтри-апроксиматори. Розглянуто застосування градієнтних методів до задач фільтрації.

### 2. Мета та завдання курсу

**Мета дисципліни** – формування компетентностей щодо вміння теоретично описувати та застосовувати на практиці різні типи адаптивних фільтрів, зокрема фільтри Колмогорова–Вінера, Калмана, LMS і RLS алгоритми та адаптивні фільтри-апроксиматори.

### **Завдання курсу:**

- ознайомити здобувачів вищої освіти з поняттями випадкового процесу, стаціонарного випадкового процесу та властивостями кореляційних функцій;
- ознайомити здобувачів вищої освіти з лінійними стаціонарними фільтрами та детально розглянути фільтр Колмогорова–Вінера як приклад такого фільтру;
- ознайомити здобувачів вищої освіти з адаптивними фільтрами Калмана (скалярним і векторним), фільтром Калмана–Бьюсі, LMS і RLS алгоритмами;
- ознайомити здобувачів вищої освіти з застосуванням градієнтних методів до задач фільтрації;
- ознайомити здобувачів вищої освіти з адаптивними фільтрами-апроксиматорами;

### **3. Результати навчання**

Використовувати фундаментальні знання в галузі телекомунікацій та радіотехніки, володіння математичним апаратом теорії телекомунікаційних та радіотехнічних систем;

Використовувати сучасні математичні пакети для програмування адаптивних фільтрів.

### **4. Структура курсу**

#### **ЛЕКЦІЇ**

#### **1. Випадкові процеси, кореляційні функції, лінійні стаціонарні фільтри**

1.1 Поняття випадкового процесу та густин його ймовірності, визначення кореляційної функції та її властивості. Поняття стаціонарного випадкового процесу та властивості його кореляційної функції

1.2 Поняття лінійного стаціонарного фільтра та зв'язок між його вхідним і вихідним сигналом. Принцип причинності для вагової функції лінійного стаціонарного фільтра

#### **2 Фільтри Колмогорова–Вінера, Калмана, Калмана-Бьюсі. Градієнтні методи в теорії фільтрації**

2.1 Фільтр Колмогорова–Вінера

2.2 Скалярний дискретний фільтр Калмана

2.3 Векторний дискретний фільтр Калмана

2.4 Скалярний фільтр Калмана–Бьюсі

2.5 Градієнтні методи

#### **3 Адаптивні LMS та RLS алгоритми**

3.1 Алгоритм LMS для вилучення корисного сигналу з його суміші з шумом

3.2 Алгоритм LMS для вилучення інтерференції

3.3 Алгоритм LMS для лінійного прогнозування часового ряду

3.4 Алгоритм RLS для вилучення корисного сигналу з його суміші з шумом

#### **4 Адаптивні фільтри-апроксиматори в задачах спостереження та ідентифікації**

4.1 Основні теоретичні ідеї опису адаптивних фільтрів-апроксиматорів

4.2 Основні прикладні застосування адаптивних фільтрів-апроксиматорів

#### **ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ**

- 1 Фільтр Колмогорова–Вінера
- 2 Скалярний дискретний фільтр Калмана
- 3 Векторний дискретний фільтр Калмана
- 4 Градієнтні методи
- 5 Алгоритм LMS для виділення корисного сигналу з його суміші з шумом
- 6 Адаптивний LMS алгоритм для лінійного короткострокового прогнозування.
- 7 Використання алгоритму LMS для вилучення інтерференції
- 8 Алгоритм RLS для виділення корисного сигналу з його суміші з шумом

### 5. Технічне обладнання та/або програмне забезпечення

Необхідний доступ до системи дистанційного навчання НТУДП. Технічне обладнання до практичних робіт:

№ роботи	Назва роботи	Інструменти, обладнання та програмне забезпечення, що застосовуються при проведенні роботи
1	Фільтр Колмогорова–Вінера	Програма Mathcad на комп'ютерах (або інший математичний пакет)
2	Скалярний дискретний фільтр Калмана	Програма Mathcad на комп'ютерах (або інший математичний пакет)
3	Векторний дискретний фільтр Калмана	Програма Mathcad на комп'ютерах (або інший математичний пакет)
4	Градієнтні методи	Програма Mathcad на комп'ютерах (або інший математичний пакет)
5	Алгоритм LMS для виділення корисного сигналу з його суміші з шумом	Програма Mathcad на комп'ютерах (або інший математичний пакет)
6	Адаптивний LMS алгоритм для лінійного короткострокового прогнозування.	Програма Mathcad на комп'ютерах (або інший математичний пакет)
7	Використання алгоритму LMS для вилучення інтерференції	Програма Mathcad на комп'ютерах (або інший математичний пакет)
8	Алгоритм RLS для виділення корисного сигналу з його суміші з шумом	Програма Mathcad на комп'ютерах (або інший математичний пакет)

### 6. Система оцінювання та вимоги

**6.1. Навчальні досягнення здобувачів вищої освіти за результатами вивчення курсу оцінюватимуться за шкалою, що наведена нижче:**

Рейтингова шкала	Інституційна шкала
90 – 100	відмінно
74-89	добре
60-73	задовільно
0-59	незадовільно

**6.2.** Оцінка виставляється на основі двох теоретичних модулів та восьми практичних робіт. Максимальний бал за кожний теоретичний модуль складає 20 балів (2 теоретичні питання по 10 балів). Кожна з практичних робіт оцінюється в 7,5 балів.

### Критерії оцінювання

Реальні результати навчання студента ідентифікуються та вимірюються відносно очікуваних під час контрольних заходів за допомогою критеріїв, що описують дії студента для демонстрації досягнення результатів навчання.

Для оцінювання виконання контрольних завдань під час поточного контролю лекційних і практичних занять в якості критерія використовується коефіцієнт засвоєння, що автоматично адаптує показник оцінки до рейтингової шкали:

$$O_i = 100 a/m,$$

де  $a$  – число правильних відповідей або виконаних суттєвих операцій відповідно до еталону рішення;  $m$  – загальна кількість запитань або суттєвих операцій еталону.

Зміст критеріїв спирається на компетентнісні характеристики, визначені НРК для магістерського рівня вищої освіти (подано нижче).

### Загальні критерії досягнення результатів навчання Для 7-го кваліфікаційного рівня за НРК

	Вимоги до знань, умінь/навичок, комунікації, відповідальності і автономії	Показники оцінки
<b>Знання</b>		
– спеціалізовані концептуальні знання, що включають сучасні наукові здобутки у сфері професійної діяльності або галузі знань і є основою для оригінального мислення та проведення досліджень, критичне осмислення проблем у галузі та на межі галузей знань	Відповідь відмінна – правильна, обґрунтована, осмислена. Характеризує наявність: <ul style="list-style-type: none"> <li>– спеціалізованих концептуальних знань на рівні новітніх досягнень;</li> <li>– критичне осмислення проблем у навчанні та/або професійній діяльності та на межі предметних галузей</li> </ul>	95-100
	Відповідь містить не грубі помилки або описки	90-94
	Відповідь правильна, але має певні неточності	85-89
	Відповідь правильна, але має певні неточності й недостатньо обґрунтована	80-84
	Відповідь правильна, але має певні неточності, недостатньо обґрунтована та осмислена	74-79
	Відповідь фрагментарна	70-73
	Відповідь демонструє нечіткі уявлення студента про об'єкт вивчення	65-69
	Рівень знань мінімально задовільний	60-64
	Рівень знань незадовільний	<60
<b>Уміння/навички</b>		
– спеціалізовані уміння/навички розв'язання	Відповідь характеризує уміння: <ul style="list-style-type: none"> <li>– виявляти проблеми;</li> <li>– формулювати гіпотези;</li> </ul>	95-100

	<b>Вимоги до знань, умінь/навичок, комунікації, відповідальності і автономії</b>	<b>Показники оцінки</b>
<p>проблем, необхідні для проведення досліджень та/або провадження інноваційної діяльності з метою розвитку нових знань та процедур;</p> <p>– здатність інтегрувати знання та розв’язувати складні задачі у широких або мультидисциплінарних контекстах;</p> <p>– здатність розв’язувати проблеми у нових або незнайомих середовищах за наявності неповної або обмеженої інформації з урахуванням аспектів соціальної та етичної відповідальності</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– розв’язувати проблеми;</li> <li>– оновлювати знання;</li> <li>– інтегрувати знання;</li> <li>– провадити інноваційну діяльність;</li> <li>– провадити наукову діяльність</li> </ul>	
	Відповідь характеризує уміння/навички застосовувати знання в практичній діяльності з не грубими помилками	90-94
	Відповідь характеризує уміння/навички застосовувати знання в практичній діяльності, але має певні неточності при реалізації однієї вимоги	85-89
	Відповідь характеризує уміння/навички застосовувати знання в практичній діяльності, але має певні неточності при реалізації двох вимог	80-84
	Відповідь характеризує уміння/навички застосовувати знання в практичній діяльності, але має певні неточності при реалізації трьох вимог	74-79
	Відповідь характеризує уміння/навички застосовувати знання в практичній діяльності, але має певні неточності при реалізації чотирьох вимог	70-73
	Відповідь характеризує уміння/навички застосовувати знання в практичній діяльності при виконанні завдань за зразком	65-69
	Відповідь характеризує уміння/навички застосовувати знання при виконанні завдань за зразком, але з неточностями	60-64
Рівень умінь/навичок незадовільний	<60	
<b>Комунікація</b>		
– зрозуміле і недвозначне донесення власних знань, висновків та аргументації до фахівців і нефахівців, зокрема до осіб, які навчаються	<p>Зрозумілість відповіді (доповіді).</p> <p><i>Мова:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– правильна;</li> <li>– чиста;</li> <li>– ясна;</li> <li>– точна;</li> <li>– логічна;</li> <li>– виразна;</li> <li>– лаконічна.</li> </ul> <p><i>Комунікаційна стратегія:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– послідовний і несуперечливий розвиток думки;</li> </ul>	95-100

	<b>Вимоги до знань, умінь/навичок, комунікації, відповідальності і автономії</b>	<b>Показники оцінки</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>– наявність логічних власних суджень;</li> <li>– доречна аргументація та її відповідність відстоюваним положенням;</li> <li>– правильна структура відповіді (доповіді);</li> <li>– правильність відповідей на запитання;</li> <li>– доречна техніка відповідей на запитання;</li> <li>– здатність робити висновки та формулювати пропозиції;</li> <li>– використання іноземних мов у професійній діяльності</li> </ul>	
	Достатня зрозумілість відповіді (доповіді) та доречна комунікаційна стратегія з незначними хибами	90-94
	Добра зрозумілість відповіді (доповіді) та доречна комунікаційна стратегія (сумарно не реалізовано три вимоги)	85-89
	Добра зрозумілість відповіді (доповіді) та доречна комунікаційна стратегія (сумарно не реалізовано чотири вимоги)	80-84
	Добра зрозумілість відповіді (доповіді) та доречна комунікаційна стратегія (сумарно не реалізовано п'ять вимог)	74-79
	Задовільна зрозумілість відповіді (доповіді) та доречна комунікаційна стратегія (сумарно не реалізовано сім вимог)	70-73
	Задовільна зрозумілість відповіді (доповіді) та комунікаційна стратегія з хибами (сумарно не реалізовано дев'ять вимог)	65-69
	Задовільна зрозумілість відповіді (доповіді) та комунікаційна стратегія з хибами (сумарно не реалізовано 10 вимог)	60-64
	Рівень комунікації незадовільний	<60
<b><i>Відповідальність і автономія</i></b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>– управління робочими або навчальними процесами, які є складними, непередбачуваними та потребують нових стратегічних підходів;</li> <li>– відповідальність за внесок до</li> </ul>	<p>Відмінне володіння компетенціями:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– використання принципів та методів організації діяльності команди;</li> <li>– ефективний розподіл повноважень в структурі команди;</li> <li>– підтримка врівноважених стосунків з членами команди (відповідальність за взаємовідносини);</li> <li>– стресовитривалість;</li> <li>– саморегуляція;</li> <li>– трудова активність в екстремальних ситуаціях;</li> </ul>	95-100

	<b>Вимоги до знань, умінь/навичок, комунікації, відповідальності і автономії</b>	<b>Показники оцінки</b>
професійних знань і практики та/або оцінювання результатів діяльності команд та колективів; – здатність продовжувати навчання з високим ступенем автономії	– високий рівень особистого ставлення до справи; – володіння всіма видами навчальної діяльності; – належний рівень фундаментальних знань; – належний рівень сформованості загальнонавчальних умінь і навичок	
	Упевнене володіння компетенціями відповідальності і автономії з незначними хибами	90-94
	Добре володіння компетенціями відповідальності і автономії (не реалізовано дві вимоги)	85-89
	Добре володіння компетенціями відповідальності і автономії (не реалізовано три вимоги)	80-84
	Добре володіння компетенціями відповідальності і автономії (не реалізовано чотири вимоги)	74-79
	Задовільне володіння компетенціями відповідальності і автономії (не реалізовано п'ять вимог)	70-73
	Задовільне володіння компетенціями відповідальності і автономії (не реалізовано шість вимог)	65-69
	Задовільне володіння компетенціями відповідальності і автономії (рівень фрагментарний)	60-64
Рівень відповідальності і автономії незадовільний	<60	

## 7. Політика курсу

### 7.1. Політика щодо академічної доброчесності

Академічна доброчесність здобувачів вищої освіти є важливою умовою для опанування результатами навчання за дисципліною і отримання задовільної оцінки з поточного та підсумкового контролів. Академічна доброчесність базується на засудженні практик списування (виконання письмових робіт із залученням зовнішніх джерел інформації, крім дозволених для використання), плагіату (відтворення опублікованих текстів інших авторів без зазначення авторства), фабрикації (вигадування даних чи фактів, що використовуються в освітньому процесі). Політика щодо академічної доброчесності регламентується положенням "Положення про систему запобігання та виявлення плагіату у Національному технічному університеті "Дніпровська політехніка". [http://www.nmu.org.ua/ua/content/activity/us\\_documents/System\\_of\\_prevention\\_and\\_detection\\_of\\_plagiarism.pdf](http://www.nmu.org.ua/ua/content/activity/us_documents/System_of_prevention_and_detection_of_plagiarism.pdf).

У разі порушення здобувачем вищої освіти академічної доброчесності (списування, плагіат, фабрикація), робота оцінюється незадовільно та має бути виконана повторно. При цьому викладач залишає за собою право змінити тему завдання.

## **7.2. Комунікаційна політика**

Здобувачі вищої освіти повинні мати активовану університетську пошту.

Усі письмові запитання до викладачів стосовно курсу мають надсилатися на університетську електронну пошту.

## **7.3. Політика щодо перескладання**

Роботи, які здаються із порушенням термінів без поважних причин оцінюються на нижчу оцінку. Перескладання відбувається із дозволу деканату за наявності поважних причин (наприклад, лікарняний).

## **7.4 Політика щодо оскарження оцінювання**

Якщо здобувач вищої освіти не згоден з оцінюванням його знань він може опротестувати виставлену викладачем оцінку у встановленому порядку.

## **7.5. Відвідування занять**

Для здобувачів вищої освіти денної форми відвідування занять є обов'язковим. Поважними причинами для неявки на заняття є хвороба, участь в університетських заходах, академічна мобільність, які необхідно підтверджувати документами. Про відсутність на занятті та причини відсутності здобувач вищої освіти має повідомити викладача або особисто, або через старосту.

За об'єктивних причин (наприклад, міжнародна мобільність) навчання може відбуватись в он-лайн формі за погодженням з керівником курсу.

## **7.6. Бонуси**

За активність та правильні відповіді на лекційних та практичних заняттях студент може отримати до +2 балів до семестрової оцінки на кожному занятті.

# **8 Рекомендовані джерела інформації**

## **Базові**

1. O. Yu. Gusev, V. M. Gorev, V. I. Korniienko, "Theory of Adaptive Fitratio", Dnipro, NTU "DP", 2019, 156 p.

<https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/155010>

2. Теорія адаптивної фільтрації. Методичні рекомендації до практичних занять дисципліни для здобувачів-магістрів спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка. Ч. 1-ша / В.М. Горев; Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Д. : НТУ «ДП», 2022. – 29 с.

<https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/162356>

3. Теорія адаптивної фільтрації. Методичні рекомендації до практичних занять з дисципліни для здобувачів-магістрів спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка. Ч 2-га / В.М. Горев; Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Д. : НТУ «ДП», 2022. – 29 с. <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/162358>

4. S. Miller and D. Childers, "Probability and Random Processes With Applications to Signal Processing and Communications. Second edition", Amsterdam: Elseiver/Academic Press, 2012, – 598 p.

5. І. В. Новицький, С. А. Ус, «Випадкові процеси. Навчальний посібник», Дніпро, Національний гірничий університет, 2011. – 125 с.

6. P. S. R. Diniz, "Adaptive Filtering. Algorithms and Practical Implementation", Springer Nature Switzerland AG, 2020, 495 p.



### **Додаткові**

1. S. O. Haykin, Adaptive Filter Theory (5th Edition). Pearson, 2013, 912 p.
2. B. Farhang-Boroujeny. Adaptive Filters: Theory and Applications, 2nd Edition. Wiley, 2013, 800 p.