



# ЦИФРОВЕ ОБРОБЛЕННЯ СИГНАЛІВ

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силлабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>17 Електроніка та телекомунікації</i>
Спеціальність	<i>172 Телекомунікації та радіотехніка</i>
Освітня програма	<i>«Інженерія та програмування інфокомунікацій», «Інформаційно- комунікаційні технології», «Системи електронних комунікацій та Інтернету речей»</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>3- й курс, п'ятий семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>5 кредитів – 150 годин</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен/ Модульна контрольна робота/ Домашня контрольна робота</i>
Розклад занять	<i>4 години на тиждень (2 години лекції+2 години практичні)</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу/ викладачів	<i>Лектор: к.т.н., доцент, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, Іванов Сергій Вікторович, +380 50-812-94-98, <a href="mailto:ivanov.serqiy@iit.kpi.ua">ivanov.serqiy@iit.kpi.ua</a> Практичні (семінарські) : к.т.н., доцент, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, Іванов Сергій Вікторович, +380 50-812-94-98, <a href="mailto:ivanov.serqiy@iit.kpi.ua">ivanov.serqiy@iit.kpi.ua</a></i>
Розміщення курсу	<i><a href="https://classroom.google.com/u/0/c/MTUyMTIzMDQ2ODc1">https://classroom.google.com/u/0/c/MTUyMTIzMDQ2ODc1</a> код курсу <b>5jsp2oe</b> (за запрошенням викладача)</i>

### Програма навчальної дисципліни

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

Навчальна дисципліна «Цифрове оброблення сигналів» складена і вивчається відповідно до освітніх програм першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка», належить до циклу загальної підготовки і є обов'язковою для семестрової атестації при формуванні індивідуального навчального плану студента. Навчальна дисципліна вивчається в п'ятому семестрі відповідно до навчального плану.

Навчальна дисципліна «Цифрове оброблення сигналів» забезпечує освоєння студентами теоретичних засад методів та засобів цифрової обробки сигналів в комп'ютерних, телекомунікаційних та інших системах, а також в інформаційних технологіях.

**Метою дисципліни** є вивчення сучасних понять, методів та основних напрямків досліджень в теорії цифрової обробки інформації.

**Предметом дисципліни** є: методи обробки результатів випробувань, обробна апаратура, сигнали, отримані при випробуваннях, програми для обробки та аналізу даних та інш..

В результаті вивчення дисципліни мають продемонструвати такі **результати навчання**:

**знання:**

- основних понять, термінів, визначень цифрової обробки сигналів;
- основних методів цифрового аналізу, які застосовуються для опису процесів, що протікають в інформаційних системах, ефективні алгоритми перетворення та аналізу сигналів в лінійних/нелінійних стаціонарних/нестаціонарних системах.

**уміння:**

- застосовувати методи цифрового аналізу при проведенні експериментальних досліджень і обробці результатів експериментів;
- оцінювати похибку вимірювання при застосуванні цифрових методів;
- визначати передатні функції та частотні характеристики лінійних систем;
- виконувати класичні перетворення сигналів;
- оцінювати коректність дискретизації сигналів;
- використовувати набуті знання в спектральному і кореляційному аналізі;
- застосовувати одержані знання при розрахунках основних характеристик цифрових фільтрів;
- використовувати методи цифрової обробки для вимірювання характеристик цифрових систем.

**досвід:**

- вільно орієнтуватись в сучасних технологіях обробки сигналів;
- проводити моделювання вивчених процесів і алгоритмів обробки сигналів за допомогою сучасних пакетів інженерних та наукових обчислень;
- проводити оцінку ефективності та розробку алгоритмів обробки сигналів в телекомунікації;
- практично реалізувати власні проекти присвячені телекомунікаційним пристроям, системам та підсистемам.

**Вивчення навчальної дисципліни забезпечує:****формування у студентів таких програмних компетентностей:**

- ЗК4 Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності;
- ФК3 Здатність використовувати базові методи, способи та засоби отримання, передавання, обробки та зберігання інформації;
- ФК15 Здатність проводити розрахунки у процесі проектування споруд і засобів інформаційно-телекомунікаційних мереж, телекомунікаційних та радіотехнічних систем, відповідно до технічного завдання з використанням як стандартних, так і самостійно створених методів, прийомів і програмних засобів автоматизації проектування.

**набуття студентами наступних програмних результатів навчання:**

- ПРН2 Застосовувати результати особистого пошуку та аналізу інформації для розв'язання якісних і кількісних задач подібного характеру в інформаційно-комунікаційних мережах, телекомунікаційних і радіотехнічних системах;
- ПРН13 Застосування фундаментальних і прикладних наук для аналізу та розробки процесів, що відбуваються в телекомунікаційних та радіотехнічних системах;
- ПРН14 Застосування розуміння основних властивостей компонентної бази для забезпечення якості та надійності функціонування телекомунікаційних, радіотехнічних систем і пристроїв;
- ПРН20 Пояснювати принципи побудови й функціонування апаратно-програмних комплексів систем керування та технічного обслуговування для розробки, аналізу і експлуатації інформаційно-телекомунікаційних мереж, телекомунікаційних та радіотехнічних систем;
- ПРН25 Виконувати пошуково-дослідні роботи по вдосконаленню сучасних безпроводових технологій, проводити розрахунки необхідних параметрів проєктованих мереж; створювати та оформлювати проєктну і експлуатаційну документацію, проводити розрахунки і вимірювання частотно-територіального планування, здійснювати технічне забезпечення безпроводових мереж та систем мобільних інфокомунікацій.

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

Вивчення навчальної дисципліни «Цифрове оброблення сигналів» базується на знаннях, отриманих студентами з курсів «Вища математика», «Інформатика», «Схемотехніка», «Алгоритми і структури даних», «Інженерні програмні засоби».

Дисципліна є базою для наступних дисциплін: «Теорія систем мобільних інфокомунікацій», «Безпроводні мережі та технології», виконання дипломного проектування.

## **3 Зміст навчальної дисципліни**

На першому занятті передбачається ознайомлення студентів із структурою дисципліни, планом та порядком проведення лекційних занять, видами проміжного контролю, системою оцінювання (зокрема рейтинговою системою оцінювання успішності студентів).

Лекційні заняття присвячені вивченню основних методів та технічної реалізації цифрової обробки інформації; особливостей аналогово-цифрового та цифро-аналогового перетворень сигналів; методів лінійної та нелінійної цифрової фільтрації сигналів. Проведення лекцій супроводжується переглядом презентаційних матеріалів. Тематичний зміст дисципліни наступний:

### **Розділ 1. Класифікація та основи цифрового представлення сигналів.**

- Тема 1.1. Вступ до цифрової обробки сигналів.
- Тема 1.2. Форми подання та класифікація сигналів.
- Тема 1.3. Узагальнені схеми цифрових систем.
- Тема 1.4. Аналого-цифрове перетворення сигналів.
- Тема 1.5. Цифро-аналогове перетворення сигналів.

### **Розділ 2. Інтегральні перетворення сигналів.**

- Тема 2.1. Підходи до спектрального аналізу сигналів методом Фур'є.
- Тема 2.2. Використання дискретного та швидкого перетворення Фур'є для спектрального аналізу сигналів.
- Тема 2.3. Застосування вейвлет-перетворень для обробки сигналів.
- Тема 2.4. Перетворення Гільберта у цифровій обробці сигналів.

### **Розділ 3. Цифрові фільтри і цифрова фільтрація сигналів.**

- Тема 3.1. Цифрові фільтри обробки одновимірних сигналів.
- Тема 3.2. Фільтри згладжування сигналів.
- Тема 3.3. Різницеві фільтри і фільтри інтегрування сигналів.
- Тема 3.4. Фільтрація випадкових сигналів.
- Тема 3.5. Вагові функції.
- Тема 3.6. Нерекурсивні частотні цифрові фільтри.
- Тема 3.7. Рекурсивні цифрові фільтри.
- Тема 3.8. Рекурсивні частотні цифрові фільтри.

### **Розділ 4. Спеціальні методи обробки сигналів.**

- Тема 4.1. Адаптивна фільтрація цифрових даних.
- Тема 4.2. Оптимальні лінійні цифрові фільтри.
- Тема 4.3. Деконволюції цифрових сигналів.
- Тема 4.4. Апроксимація сигналів і функцій. Регресія.
- Тема 4.5. Медіанна фільтрація сигналів.
- Тема 4.6. Властивості вейвлет-перетворення сигналів.
- Тема 4.7. Вейвлетний кратнo-масштабний аналіз (КМА).

### **Розділ 5. Цифрові сигнальні процесори**

- Тема 5.1. Архітектура цифрового сигнального процесора (ЦСП) сімейства ADSP.

## **4 Навчальні матеріали та ресурси**

### **4.1. Базова література**

1. І.А. Терейковський Цифрова обробка сигналів та зображень: розпізнавання фонем в голосовому сигналі за допомогою нейронних мереж: навч. посібник/ І.А. Терейковський, Л.О. Терейковська Електронне мережне навчальне видання, - К.: КПІ імені Ігоря Сікорського, 2022.—120 с.:іл.

2. М.С. Гавриляк Основи та методи цифрової обробки сигналів: від теорії до практики: навч. посібник / уклад. : Ю.О. Ушенко, М.С. Гавриляк, М.В. Талах, В.В. Дворжак. – Чернівці : Чернівецький нац. ун-т ім. Ю. Федьковича, 2021. 308 с.
3. Рибальченко М.О. Цифрова обробка сигналів: навчальний посібник / М.О. Рибальченко, О.П. Єгоров, В.Б. Зворикін. – Дніпро: НМетАУ. – 2018. – 79 с.
4. Наконечний А. Й. Обробка сигналів : навч. посіб. / А. Й. Наконечний, Р. І. Стахів, Р. А. Наконечний. Нац. ун-т «Львівська політехніка». – Львів : Растр-7. – 2017. – 217 с.
5. Перекрест А. Л. Практикум з вивчення методів цифрової обробки сигналів у прикладних програмних пакетах : навчальний посібник / А. Л. Перекрест, О. П. Чорний, Г. О. Гаврилець. – Кременчук: ПП Щербатих О. В., 2015. – 144 с.
6. Конспект лекцій з дисципліни “Обробка сигналів та зображень” (для студентів денної форми навчання напряму 6.170101 «Безпека інформаційних і комунікаційних систем») / Укладачі: к.т.н., доцент Фриз М.Є., Стадник М. А. – Тернопіль: ТНТУ, 2015 – 97 с.
7. Г. Г. Бортник Цифрова обробка сигналів в телекомунікаційних системах : підручник / Г. Г. Бортник, В. М. Кичак. – Вінниця : ВНТУ, 2014. –232 с.
8. О.В. Дробик Цифрова обробка аудіо- та відеоінформації у мультимедійних системах: Навчальний посібник / О.В. Дробик, В.В. Кідалов, В.В. Коваль, Б.Я. Костік, В.С. Лазебний, Г.М. Розорінов, Г.О. Сукач. – К.: Наукова думка, 2008. – 144 с.: іл.
9. Цифрова обробка інформації: Методичний посібник до лабораторного практикуму для студентів радіофізичного факультету /Коленов С. О. – Київ: Радіофізичний факультет Київського національного університету імені Тараса Шевченка, 2008. – 56 с.
10. Основи комп'ютерної техніки / Кравчук С.О., Шонін В.О. - К.: ІВЦ "Політехніка", "Каравела". - 2005. - 344 с.
11. Бабак Б. П. Обробка сигналів/ Б. П. Бабак, В. С. Хандецький, Е.Шрюфер – К. : Либідь, 1996. – 400 с.

#### **4.2. Додаткова література**

12. Ahmed, Nasir; Rao, Kamisetty Ramamohan (7 August 1975). *Orthogonal Transforms for Digital Signal Processing*. New York: Springer-Verlag. doi:10.1109/ICASSP.1976.1170121. ISBN 978-3540065562. LCCN 73018912. OCLC 438821458. OL 22806004M. S2CID 10776771.
13. Jonathan M. Blackledge, Martin Turner: *Digital Signal Processing: Mathematical and Computational Methods, Software Development and Applications*, Horwood Publishing, ISBN 1-898563-48-9
14. James D. Broesch: *Digital Signal Processing Demystified*, Newnes, ISBN 1-878707-16-7
15. Dyer, Stephen A.; Harms, Brian K. (13 August 1993). "Digital Signal Processing". In Yovits, Marshall C. (ed.). *Advances in Computers*. Vol. 37. Academic Press. pp. 59–118. doi:10.1016/S0065-2458(08)60403-9. ISBN 978-0120121373. ISSN 0065-2458. LCCN 59015761. OCLC 858439915. OL 10070096M.
16. Paul M. Embree, Damon Danieli: *C++ Algorithms for Digital Signal Processing*, Prentice Hall, ISBN 0-13-179144-3
17. Hari Krishna Garg: *Digital Signal Processing Algorithms*, CRC Press, ISBN 0-8493-7178-3
18. P. Gaydecki: *Foundations Of Digital Signal Processing: Theory, Algorithms And Hardware Design*, Institution of Electrical Engineers, ISBN 0-85296-431-5
19. Ashfaq Khan: *Digital Signal Processing Fundamentals*, Charles River Media, ISBN 1-58450-281-9
20. Sen M. Kuo, Woon-Seng Gan: *Digital Signal Processors: Architectures, Implementations, and Applications*, Prentice Hall, ISBN 0-13-035214-4
21. Paul A. Lynn, Wolfgang Fuerst: *Introductory Digital Signal Processing with Computer Applications*, John Wiley & Sons, ISBN 0-471-97984-8
22. Richard G. Lyons: *Understanding Digital Signal Processing*, Prentice Hall, ISBN 0-13-108989-7
23. Vijay Madisetti, Douglas B. Williams: *The Digital Signal Processing Handbook*, CRC Press, ISBN 0-8493-8572-5
24. James H. McClellan, Ronald W. Schafer, Mark A. Yoder: *Signal Processing First*, Prentice Hall, ISBN 0-13-090999-8
25. Bernard Mulgrew, Peter Grant, John Thompson: *Digital Signal Processing – Concepts and Applications*, Palgrave Macmillan, ISBN 0-333-96356-3
26. Boaz Porat: *A Course in Digital Signal Processing*, Wiley, ISBN 0-471-14961-6
27. John G. Proakis, Dimitris Manolakis: *Digital Signal Processing: Principles, Algorithms and Applications*, 4th ed, Pearson, April 2006, ISBN 978-0131873742

28. John G. Proakis: A Self-Study Guide for Digital Signal Processing, Prentice Hall, ISBN 0-13-143239-7
29. Charles A. Schuler: Digital Signal Processing: A Hands-On Approach, McGraw-Hill, ISBN 0-07-829744-3
30. Doug Smith: Digital Signal Processing Technology: Essentials of the Communications Revolution, American Radio Relay League, ISBN 0-87259-819-5
31. Smith, Steven W. (2002). Digital Signal Processing: A Practical Guide for Engineers and Scientists. Newnes. ISBN 0-7506-7444-X.
32. Stein, Jonathan Yaakov (2000-10-09). Digital Signal Processing, a Computer Science Perspective. Wiley. ISBN 0-471-29546-9.
33. Stergiopoulos, Stergios (2000). Advanced Signal Processing Handbook: Theory and Implementation for Radar, Sonar, and Medical Imaging Real-Time Systems. CRC Press. ISBN 0-8493-3691-0.
34. Van De Vegte, Joyce (2001). Fundamentals of Digital Signal Processing. Prentice Hall. ISBN 0-13-016077-6.
35. Oppenheim, Alan V.; Schaffer, Ronald W. (2001). Discrete-Time Signal Processing. Pearson. ISBN 1-292-02572-7.
36. Hayes, Monson H. Statistical digital signal processing and modeling. John Wiley & Sons, 2009. (with MATLAB scripts).
37. Бортник, Геннадій Григорович. Методи та засоби первинного цифрового оброблення радіосигналів : монографія / Г.Г. Бортник, М.В. Васильківський, В.М. Кичак ; Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет. - Вінниця : ВНТУ, 2016. - 167 с. : іл. [https://opac.kpi.ua/F/?func=direct&doc\\_number=000578900&local\\_base=KPI01](https://opac.kpi.ua/F/?func=direct&doc_number=000578900&local_base=KPI01)
38. Волощук Юрій Іванович. Сигнали та процеси у радіотехніці : підручник для студентів радіотехнічних спеціальностей вищих навчальних закладів : [у 4-х т.] /Ю.І. Волощук.-Харків: Компанія "СМІТ", 2003-2005. [https://opac.kpi.ua/F/?func=direct&doc\\_number=000155007&local\\_base=KPI01](https://opac.kpi.ua/F/?func=direct&doc_number=000155007&local_base=KPI01)
39. Наконечний, Адріан Йосипович. Обробка сигналів : навчальний посібник для студентів спеціальностей 122 "Комп'ютерні науки та інформаційні технології", 123 "Комп'ютерна інженерія" / А.Й. Наконечний, Р.І. Стахів, Р.А. Наконечний ; Міністерство освіти і науки України, Національний університет "Львівська політехніка". - Львів : Растр-7, 2017. - 217 с. : іл., схеми. [https://opac.kpi.ua/F/?func=direct&doc\\_number=000583581&local\\_base=KPI01](https://opac.kpi.ua/F/?func=direct&doc_number=000583581&local_base=KPI01)
40. Наконечний, Адріан Йосифович. Теорія і практика обробки сигналів у малохвильовій (wavelet) області : монографія / А.Й. Наконечний, І.І. Лагун, З.С. Верес, Р.А. Наконечний, В.І. Федак ; під редакцією А.Й. Наконечного. - Львів : Растр-7, 2020. - 468 сторінок : рисунки, таблиці. [https://opac.kpi.ua/F/?func=direct&doc\\_number=000634402&local\\_base=KPI01](https://opac.kpi.ua/F/?func=direct&doc_number=000634402&local_base=KPI01)

### **Електронні джерела доступні в локальній мережі КПІ**

1. Giron-Sierra, Jose Maria. Digital Signal Processing with Matlab Examples, Volume 2 [electronic resource] : Decomposition, Recovery, Data-Based Actions / by Jose Maria Giron-Sierra. // Springer eBooks - Singapore : Springer Singapore : Imprint: Springer, 2017. - XXXIX, 913 p. 659 illus., 279 illus. in color. online resource. - (Signals and Communication Technology, ;ISSN:1860-4862) [http://opac.kpi.ua/F/?func=direct&doc\\_number=000623572&local\\_base=KPI01](http://opac.kpi.ua/F/?func=direct&doc_number=000623572&local_base=KPI01)  
Доступно через SpringerLink лише в локальній мережі Бібліотеки КПІ (віддалений доступ через ЕДД)
2. Giron-Sierra, Jose Maria. Digital Signal Processing with Matlab Examples, Volume 3 [electronic resource] : Model-Based Actions and Sparse Representation / by Jose Maria Giron-Sierra. // Springer eBooks - Singapore : Springer Singapore : Imprint: Springer, 2017. - XVI, 431 p. 201 illus., 80 illus. in color. online resource. - (Signals and Communication Technology, ;ISSN:1860-4862) [https://opac.kpi.ua/F/?func=direct&doc\\_number=000623324&local\\_base=KPI01](https://opac.kpi.ua/F/?func=direct&doc_number=000623324&local_base=KPI01)  
Доступно через SpringerLink лише в локальній мережі Бібліотеки КПІ (віддалений доступ через ЕДД)
3. Giron-Sierra, Jose Maria. Digital Signal Processing with Matlab Examples, Volume 1 [electronic resource] : Signals and Data, Filtering, Non-stationary Signals, Modulation / by Jose Maria Giron-Sierra. // Springer eBooks - Singapore : Springer Singapore : Imprint: Springer, 2017. - XXXVII, 622



p. 467 illus., 186 illus. in color. online resource. - (Signals and Communication Technology, ;ISSN:1860-4862)

[https://opac.kpi.ua/F/?func=direct&doc\\_number=000623257&local\\_base=KPI01](https://opac.kpi.ua/F/?func=direct&doc_number=000623257&local_base=KPI01)

Доступно через SpringerLink лише в локальній мережі Бібліотеки КПІ (віддалений доступ через ЕДД)

4. Sozański, Krzysztof Digital Signal Processing in Power Electronics Control Circuits [electronic resource] / by Krzysztof Sozański. // Springer eBooks - London : Springer London : Imprint: Springer, 2017. - XXI, 340 p. 323 illus., 272 illus. in color. online resource. - (Power Systems, ;ISSN:1612-1287)

[https://opac.kpi.ua/F/?func=direct&doc\\_number=000619265&local\\_base=KPI01](https://opac.kpi.ua/F/?func=direct&doc_number=000619265&local_base=KPI01)

Доступно через SpringerLink лише в локальній мережі Бібліотеки КПІ (віддалений доступ через ЕДД)

## Ресурси Е-архіву КПІ

1. Avdeyenko G. L. Efficiency of spatial signal processing in wireless communications / Gleb L. Avdeyenko, Maxim A. Kolomytsev, Yevgeniy A. Yakornov // Telecommunication Sciences : international research journal. – 2012. – Vol. 3, N. 2(5). – P. 5–13. – Bibliogr.: 8 ref. [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/7000/1/01\\_%d0%b0vdeyenko\\_gl\\_efficiency\\_of\\_spatial.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/7000/1/01_%d0%b0vdeyenko_gl_efficiency_of_spatial.pdf)
2. Ivanko, K. Advances in Digital Processing of Low-Amplitude Components of Electrocardiosignals [Electronic resource] : teaching book / K. Ivanko, N. Ivanushkina ; Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute. – Electronic text data (1 file: 6,98 Mb). – Kyiv, 2017. – 198 p. [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/20768/2/Ivanko\\_Ivanushkina.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/20768/2/Ivanko_Ivanushkina.pdf)
3. Автоматизація оброблення технічної інформації [Електронний ресурс] : конспект лекцій для студентів радіотехнічного факультету спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. В. О. Адаменко. – Електронні текстові дані (1 файл: 1.26 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 44 с. – Назва з екрана. [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/21485/1/AOTI\\_lecture\\_2017.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/21485/1/AOTI_lecture_2017.pdf)
4. Калюжний, О. Я. Математичні алгоритми приймання та оброблення сигналів. Частина I. Сигнали та системи [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ., що навчаються за спеціальністю «Телекомунікація та радіотехніка» / О. Я. Калюжний ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,35 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 193 с. – [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/48358/1/Kalyuzhnyi\\_Posibnik\\_2017.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/48358/1/Kalyuzhnyi_Posibnik_2017.pdf)
5. Конспект лекцій до кредитного модулю «Спеціальні розділи оброблення сигналів 2» для магістрів радіотехнічного факультету, спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка», спеціалізації «Радіозв'язок та оброблення сигналів» [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. І. О. Сушко, Н. О. Лашевська, А. В. Мовчанюк, Р. В. Антипенко. – Електронні текстові дані (1 файл: 4,69 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 173 с. – Назва з екрана. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/21573>
6. Основи цифрової обробки сигналів на базі процесора TMS320C6713 [Електронний ресурс] : методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Цифрова обробка сигналів» / НТУУ «КПІ» ; уклад. Ю. М. Самарцев, Д. С. Шантир, С. А. Шурпач, А. В. Порхун. – Електронні текстові дані (1 файл: 893 Кбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2014. – 151 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/10417>
7. Пархомей, І. Основи теорії інформаційних процесів. Частина 2. Системи обробки сигналів [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології», спеціалізації «Інформаційне забезпечення робототехнічних систем» / Ігор Пархомей, Наталія Цьопа ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 5,57 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 169 с. – Назва з екрана. [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/39133/1/Osnovy-teorii-informatsiinykh-protsesiv\\_Systemy-obrobky.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/39133/1/Osnovy-teorii-informatsiinykh-protsesiv_Systemy-obrobky.pdf)

8. Реутська, Ю. Ю. Моделювання радіолокаційного сигналу на основі аналізу роботи імпульсно-доплерівського радару для реалізації цифрової обробки сигналів в середовищі Matlab / Ю. Ю. Реутська // Вісник НТУУ «КПІ». Радіотехніка, радіоапаратобудування : збірник наукових праць. – 2015. – Вип. 60. – С. 81–90. – Бібліогр.: 5 назв.  
<https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/14225/1/8.pdf>
9. Реутська, Ю. Ю. Підвищення ефективності цифрової обробки сигналів в радіотехнічних системах / Реутська Ю. Ю. // Міжнародна науково-технічна конференція «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи» : матеріали конференції 14–20 березня 2016 р., м. Київ, Україна / КПІ ім. Ігоря Сікорського, РТФ. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016. – С. 41–43. – Бібліогр.: 3 назви.  
[https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/38683/1/RTPSAS\\_2016\\_s1\\_t10.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/38683/1/RTPSAS_2016_s1_t10.pdf)
10. Спецрозділи цифрового оброблення сигналів лабораторні роботи [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня магістра з телекомунікацій та радіотехніки за освітніми програмами «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки», «Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія», «Радіотехнічні комп'ютеризовані системи» / І. О. Сушко, Н. О. Лашевська, Р. В. Антипенко, А. В. Мовчанюк ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – (1 файл 1,37 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 50 с. – Назва з екрана.  
[https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/48121/1/Obrob\\_syhnaliv.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/48121/1/Obrob_syhnaliv.pdf)
11. Теорія сигналів. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Електронні мікро- і наносистеми та технології» спеціальності 153 Мікро- та наносистемна техніка / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Попов А. О., Іванько К. О., Порєва Г. С. – Електронні текстові дані (1 файл: 7,39 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 121 с.  
<https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/48137/1/Teoriia.pdf>

## 5 Методика опанування навчальної дисципліни(освітнього компонента)

Навчальні заняття передбачені у формі лекцій, практичних занять та самостійної роботи студентів. Застосовується стратегія активного і колективного навчання, яка визначається інформаційно-комунікаційною технологією, що забезпечує проблемно-дослідницький характер процесу навчання та активізацію самостійної роботи студентів (електронні презентації для лекційних занять, використання аудіо- та відеопідтримки навчальних занять тощо).

### Лекційні заняття

#### Лекція 1. Вступ до цифрової обробки сигналів.

Вступна частина. Поняття сигналу. Поняття цифрової обробки сигналу. Типові задачі цифрової обробки сигналів.

#### Лекція 2. Форми подання та класифікація сигналів. Математичне представлення сигналів.

Випадкові та детерміновані сигнали. Аналогові та цифрові сигнали. Квантування та дискретизація аналогового сигналу. Одновимірні та багатовимірні сигнали. Загальна класифікація сигналів. Функція Хевісайда та її застосування при обробці сигналів. Функція Дірака та її властивості.

#### Лекція 3. Узагальнені схеми цифрових систем. Аналого-цифрове перетворення сигналів.

Структурні схеми типових модулів аналогово-цифрового та цифро-аналогового перетворювачів, їх основні компоненти та принцип роботи. Основа принципу часової дискретизації сигналу. Критерії якості наближення сигналу. Види часової дискретизації сигналу. Вибір кроку рівномірної часової дискретизації. Теорема Котельникова. Основні характеристики аналогово-цифрових перетворювачів.

#### Лекція 4. Цифро-аналогове перетворення сигналів.

Відновлення неперервних сигналів. Екстраполяція даних. Поняття та види екстраполяторів. Імпульсна характеристика і передавальна функція екстраполятора. Аналогова модель екстраполятора. Похибки відновлення аналогової форми сигналу.

#### Лекція 5. Підходи до спектрального аналізу сигналів методом Фур'є. Використання дискретного та швидкого перетворення Фур'є для спектрального аналізу сигналів.

Розклад функції в ряд Фур'є. Поняття та визначення дійсних коефіцієнтів Фур'є. Теорема Найквіста. Особливості розкладу функції в комплексний ряд Фур'є. Поняття та визначення комплексних коефіцієнтів

Фур'є. Визначення спектру амплітуд, спектру фаз та спектру потужності сигналу. Теорема Парсеваля. Основні властивості розкладання сигналу в ряд Фур'є. Технологія застосування методу Фур'є для аналізу цифрових сигналів. Поняття про дискретне перетворення Фур'є. Основні властивості дискретного перетворення Фур'є. Періодичність та симетричність спектру. Необхідність застосування та суть алгоритму швидкого перетворення Фур'є. Фільтрація сигналів за допомогою дискретного перетворення Фур'є.

#### **Лекція 6. Застосування вейвлет-перетворень для обробки сигналів.**

Недоліки спектрального аналізу цифрових сигналів методом Фур'є. Поняття прямого та оберненого вейвлет-перетворення. Основні ознаки вейвлету. Приклади материнських вейвлетів. Неперервне вейвлет-перетворення. Властивості вейвлет-аналізу.

#### **Лекція 7. Перетворення Гільберта у цифровій обробці сигналів.**

Математичний опис та властивості дискретного перетворення Гільберта. Приклади використання. Швидкі алгоритми обчислення. Перетворювач Гільберта для формування комплексного аналітичного сигналу. Смугова дискретизація сигналів.

#### **Лекція 8. Цифрові фільтри обробки одновимірних сигналів.**

Нерекурсивні і рекурсивні цифрові фільтри. Імпульсна реакція фільтрів. Передавальні функції фільтрів. Z-перетворення. Стійкість фільтрів. Частотні характеристики фільтрів. Фазова і групова затримка сигналів. Структурні схеми цифрових фільтрів.

#### **Лекція 9. Фільтри згладжування сигналів. Різницеві фільтри і фільтри інтегрування сигналів.**

Метод найменших квадратів. Фільтри МНК 1-го, 2-го і 4-го порядку. Розрахунок коефіцієнтів фільтрів. Імпульсні реакції і частотні характеристики фільтрів. Модифікації фільтрів. Оптимізація згладжування. Розрахунок простого цифрового фільтра по частотній характеристиці. Різницеві оператори. Виділення в сигналах шумів. Відновлення втрачених даних. Апроксимація похідних. Інтегрування даних. Алгоритми інтегрування.

#### **Лекція 10. Фільтрація випадкових сигналів. Вагові функції.**

Збереження природи сигналу. Математичне очікування. Кореляційні співвідношення. Спектри потужності сигналів. Дисперсія вихідного сигналу. Посилення шумів. Функція когерентності.

Явище Гіббса. Параметри ефекту. Наслідки для практики. Нейтралізація явища Гіббса. Основні вагові функції.

#### **Лекція 11. Нерекурсивні частотні цифрові фільтри.**

Типи фільтрів. Методика розрахунків. Ідеальні частотні фільтри. Кінцеві наближення ідеальних фільтрів. Застосування вагових функцій. Гладкі частотні фільтри. Диференціюючі цифрові фільтри. Принцип синтезу фільтрів.

#### **Лекція 12. Рекурсивні цифрові фільтри. Рекурсивні частотні цифрові фільтри.**

Конструкція рекурсивних цифрових фільтрів. Каскадна і паралельна форма. Режекторні і електронні фільтри. Білінійне z-перетворення при синтезі рекурсивних цифрових фільтрів. Деформація частотної шкали. Апроксимаційна завдання синтезу фільтрів. Передавальна функція фільтрів. Види рекурсивних фільтрів. Низькочастотний цифровий фільтр Баттерворта. Передавальна функція фільтра. Перетворення Лапласа. Білінійної перетворення. Високочастотний цифровий фільтр Баттерворта. Синтез цифрових фільтрів методом частотного перетворення. Смуговий цифровий фільтр Баттерворта. Цифрові фільтри Чебишева.

#### **Лекція 13. Адаптивна фільтрація цифрових даних.**

Основні області застосування. Адаптивний шумопонижувач. Адаптивний фільтр Вінера. Адаптивний алгоритм найменших квадратів Уїдроу-Хопфа. Рекурсивні схеми найменших квадратів.

Основи статистичної угруповання інформації. Використання апріорних даних. Ефективність методу. Статистична регуляризація даних з очищенням від шумів. Статистична угруповання корисної інформації.

#### **Лекція 14. Оптимальні лінійні цифрові фільтри.**

Критерії побудови. Фільтр Колмогорова-Вінера. Система лінійних рівнянь фільтра. Частотна характеристика. Ефективність оптимального фільтра. Фільтри прогнозування і запізнювання. Оптимальні цифрові фільтри стиснення сигналів. Оптимальний фільтр виявлення сигналів. Погоджений фільтр. Зворотний фільтр. Оптимальний енергетичний цифровий фільтр сигналів.

#### **Лекція 15. Деконволюції цифрових сигналів. Апроксимація сигналів і функцій. Регресія.**

Поняття деконволюції сигналів. Особливості деконволюції. Стійкість фільтрів деконволюції. Інверсія імпульсного відгуку фільтра. Оптимальні фільтри деконволюції. Рекурсивна деконволюція



сигналів. Фільтри стиснення сигналів. Апроксимація сигналів і функцій рядами Тейлора. Поліноміальна апроксимація. Сплайнова апроксимація. Спектральний метод. Методика апроксимації емпіричних даних. Лінійна регресія. Поліноміальна регресія. Одновимірна регресія. Зональна регресія. Нелінійна регресія. Регресія загального типу. Згладжування даних. Передбачення залежностей.

#### **Лекція 16. Медіанна фільтрація сигналів. Основи вейвлетного перетворення сигналів.**

Принцип фільтрації. Одномірні медіанний фільтри. Двовимірні фільтри. Переваги та недоліки медіанний фільтрів. Медіанна фільтрація комбінованих перешкод. Очищення сигналів від квазідетермінованого шуму. Перетворення статистики шумів.

Витоки вейвлет-перетворення. Принцип перетворення. Вейвлетного спектр. Безперервне вейвлет-перетворення. Дискретне вейвлет-перетворення. Частотно-часова локалізація вейвлет-аналізу. Практичне використання.

#### **Лекція 17. Властивості вейвлет-перетворення сигналів. Вейвлетний кратномасштабний аналіз (КМА).**

Базисні функції вейвлет-перетворення. Властивості вейвлета. Відображення перетворення. Вейвлетні функції. Властивості вейвлет-перетворення. Вейвлет-перетворення простих сигналів. Принцип кратко-масштабного аналізу. Математичні основи КМА. Масштабуюча функція. Базисний вейвлет. Розкладання функцій на вейвлетні ряди. Швидке вейвлет-перетворення. Реконструкція сигналів. Пакетні вейвлети. Фільтри дуальної декомпозиції і реконструкції сигналів. Ортогональні і біортогональні вейвлети. Вейвлет Добеши. Двовимірні вейвлети.

#### **Лекція 18. Архітектура цифрового сигнального процесора (ЦСП) сімейства ADSP.**

Типова блок-схема ЦСП фірми Analog Devices. Обчислювальні блоки, пам'ять програм і даних, блоки керування програмою і пересилання даних. Номенклатура ЦСП. ЦСП з фіксованою і плаваючою крапкою.

### **5.2. Практичні заняття**

Метою практичних занять дисципліни є знайомство з алгоритмами цифрової обробки сигналів, процесами їх функціонування та принципами реалізації. Приблизна тематика практичних занять:

Тема 2.1. Підходи до спектрального аналізу сигналів методом Фур'є.

Тема 2.2. Використання дискретного та швидкого перетворення Фур'є для спектрального аналізу сигналів.

Тема 2.3. Застосування вейвлет-перетворень для обробки сигналів.

Тема 2.4. Перетворення Гільберта у цифровій обробці сигналів.

Тема 3.1. Цифрові фільтри обробки одновимірних сигналів.

Тема 3.2. Фільтри згладжування сигналів.

Тема 3.3. Різницеві фільтри і фільтри інтегрування сигналів.

Тема 3.4. Фільтрація випадкових сигналів.

Тема 3.5. Вагові функції.

Тема 3.6. Нерекурсивні частотні цифрові фільтри.

Тема 3.7. Рекурсивні цифрові фільтри.

Тема 3.8. Рекурсивні частотні цифрові фільтри.

Тема 4.1. Адаптивна фільтрація цифрових даних.

Тема 4.2. Оптимальні лінійні цифрові фільтри.

Тема 4.3. Деконволюції цифрових сигналів.

Тема 4.4. Апроксимація сигналів і функцій. Регресія.

Тема 4.5. Медіанна фільтрація сигналів.

## **6 Самостійна робота студента/аспіранта**

В під час годин самостійної роботи студентів (СРС) виконується індивідуальне семестрове завдання (ІСЗ) у вигляді ДКР з дисципліни.

ДКР виконується з метою закріплення, поглиблення і узагальнення знань, одержаних студентами за час навчання, та їх застосування до комплексного вирішення конкретного фахового завдання. Тема ДКР «Розрахунок та дослідження цифрових фільтрів».

Терміни видачі, виконання ДКР визначаються графіком, що розробляється на семестр. ДКР виконується студентами самостійно із забезпеченням необхідних консультацій з окремих питань з боку викладача.

## Політика та контроль

### 7 Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Студенти повинні обов'язково відвідувати лекційні та практичні заняття, пропуск занять без поважних причин не допускається. У випадку пропуску практичного заняття з поважних причин студент може відпрацювати це заняття у визначений викладачем час, або самостійно за згодою з викладачем.

Після вивчення навчального матеріалу проводиться модульні (тематичні) контрольні роботи (МКР) тривалістю 1 академічна година. До складу завдання модульної контрольної роботи входить:

- одне теоретичне питання з навчального матеріалу, який внесений до самостійного вивчення студентами під час годин самостійних роботи студентів;
- одне практичне завдання зі всього навчального матеріалу.

Модульні контрольні роботи студенти здають у письмовому вигляді. У випадку несвоєчасної здачі ДКР, студенту нараховуються 5 штрафних балів.

У випадку виявлення несамотійного виконання ДКР, така робота не зараховується, студенту нараховуються штрафні бали (5 балів)) та видається нове завдання на ДКР.

Контроль якості опанування студентами дисципліни здійснюється шляхом написання модульних контрольних робіт, опитування перед проведенням практичних занять та при здачі ДКР. Оцінка успішності студентів по дисципліні здійснюється згідно рейтингової системи оцінювання результатів навчання.

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

Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, які він отримує:

- 1) за опрацювання завдань на лекційних заняттях (18 занять);
- 2) за вирішені завдання на практичних заняттях (18 занять);
- 3) за вирішені завдання на модульній контрольній роботі;
- 4) за виконання домашньої контрольної роботи;
- 5) за відповідь на екзамені.

#### *Система рейтингових (вагових) балів та критерії оцінювання*

##### **Лекційні заняття**

– повна наявність матеріалу базового конспекту за тематикою лекції чи пройдений поточний письмовий експрес-контроль –0.5 бал;

– відсутність повного матеріалу основного конспекту за тематикою лекції чи пройденого поточного письмового експрес-контролю – 0 балів;

Поточний письмовий експрес-контроль вважається пройденим, якщо на ньому студентом правильно з повним обґрунтуванням дано відповідь на більше ніж 60% завдань.

Максимальна кількість балів:  $18 * 0.5 = 9$

##### **Практичні заняття**

Ваговий бал – 1:

– розв'язання повного пакету завдань за тематикою заняття –1бали;

– часткове розв'язання пакету завдань за тематикою заняття – 0.5 бал;

– відсутність активності на занятті (відсутність в робочій аудиторії чи частково розв'язаного пакету завдань) – 0 балів.

Максимальна кількість балів:  $18 * 1 = 18$

##### **Модульна контрольна робота (дві поточні контрольні роботи)**

Ваговий бал – 8. МКР складається з двох поточних контрольних робіт, які проводяться протягом семестру.

Максимальна кількість балів за контрольні роботи:  $2 * 4 = 8$ .

Усього завдань у кожному варіанті контрольної роботи – 1.

*Критерії оцінювання:*

- повністю вирішене завдання, з ґрунтовним поясненням – 4 бали;
- повністю вирішене завдання, без пояснення – 2 бали;
- відсутність повністю вирішеного завдання – 0 балів.

### **ДКР**

Ваговий бал – 15.

Максимальна кількість балів за ДКР:  $1 \cdot 15 = 15$ .

*Критерії оцінювання:*

- повне виконання завдання з детальним обґрунтуванням – 15 балів;
- повне виконання завдання без обґрунтування – 10 балів;
- неповністю виконане завдання – 0 балів.

### **Штрафні та заохочувальні бали:**

– за кожен тиждень запізнення здачі ДКР після визначеного терміну стягується 2 бали, але не більше 5 балів.

– за використання набутих навиків по вдосконаленню дидактичних матеріалів по дисципліні надається до 5 заохочувальних балів.

*Розрахунок шкали рейтингу:*

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає:

$$R_c = 0.5b \times 18 + 1b \times 18 + 4b \times 2 + 15b \times 1 = 50 \text{ балів.}$$

Екзаменаційна складова шкали дорівнює 50% від R, а саме:

$$R_e = R_c \cdot 0,5 / 0,5 = 50 \text{ балів.}$$

Таким чином, рейтингова шкала з дисципліни складає:

$$R = R_c + R_e = 100 \text{ бал.}$$

Необхідною умовою допуску до екзамену є зарахування ДКР, а також стартовий рейтинг не менше 50% від  $R_c$ , тобто 25 балів.

На екзамені студенти виконують письмову контрольну роботу. Кожне завдання містить два теоретичних запитання і одне практичне. Теоретичні запитання оцінюються із 15 балів, а практичне із 20 балів.

Виходячи з розміру шкали  $R_e = 50$  балів, складається критерії екзаменаційного оцінювання з визначенням 4-5 рівнів.

Система оцінювання теоретичних запитань:

- “**відмінно**”, повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 15-13 балів;
- “**добре**”, достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації, або незначні неточності) – 12-9 балів;
- “**задовільно**”, неповна відповідь (не менше 65% потрібної інформації та деякі помилки) – 8-7 балів;
- “**достатньо**”, неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 6-5 балів;
- “**незадовільно**”, незадовільна відповідь – 0 балів.

Система оцінювання практичного запитання:

- «**відмінно**», повне, безпомилкове розв’язування завдання – 20-18 балів;
- «**добре**», повне розв’язування завдання із несуттєвими неточностями – 17-15 балів;
- «**задовільно**», завдання виконане з певними недоліками – 14-12 балів;
- «**достатньо**», завдання виконане з недоліками – 11-9 балів;
- «**незадовільно**», завдання не виконано.

<b>RD= RC+RE</b>	<b>Традиційна оцінка</b>
<b>95...100</b>	відмінно
<b>85...94</b>	дуже добре
<b>75...84</b>	добре
<b>65...74</b>	задовільно
<b>60...64</b>	достатньо
<b>25...59</b>	незадовільно

<b>RD<math>\leq</math>24</b> або не зараховано ДКР	недопущено
---	------------

Для отримання «зараховано» з першої проміжної атестації студент матиме не менше ніж 15 балів. Для отримання «зараховано» з другої проміжної атестації студент матиме не менше ніж 25 балів.

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

Положення про рейтингову систему оцінки успішності доводиться на першому занятті з дисципліни; попередня рейтингова оцінка з дисципліни доводиться до студентів на останньому занятті. Календарна атестація студентів з дисципліни проводиться викладачем за значенням поточного рейтингу студента на час атестації.

### **Робочу програму навчальної дисципліни (силлабус):**

**Складено : доцент Іванов Сергій Вікторович**

**Ухвалено** кафедрою телекомунікацій (протокол № 11 від 25.05.2023 р.)

**Погоджено** Методичною комісією НН ІТС (протокол № 4 від 08.06.2023 р.)