

Міністерство освіти і науки України
Черкаський національний університет
імені Богдана Хмельницького
Кафедра прикладної математики та інформатики

Аналіз часових рядів

Навчальна програма

Черкаси

УДК
ББК

Аналіз часових рядів

Навчальна програма / Розробник О.А. Сердюк /

Черкаський національний університет ім. Б.Хмельницького.

Розробник:

Сердюк О.А., старший викладач кафедри прикладної математики

Рецензенти:

Головня Б.П., доктор технічних наук, професор кафедри прикладної математики

Черкаського національного університету ім. Б.Хмельницького.

ВСТУПНІ ЗАУВАЖЕННЯ

Дисципліна належить до циклу вибіркових дисциплін
Система комплексної діагностики знань і вмінь передбачає застосування модульно-рейтингової технології, проведення контрольних робіт та заліку.

1. Мета та завдання дисципліни, її місце у навчальному процесі

1.1. Мета викладання дисципліни

Метою викладання даної дисципліни є одержання знань про цифрові сигнали, дискретизацію аналогових сигналів, спектри цих сигналів, а також про цифрові системи та їх характеристики і параметри.

1.2 Основні завдання дисципліни

Після вивчення даної дисципліни

студент повинен знати:

- цифрові сигнали та їх спектри;
- методику розрахунку цифрових фільтрів;

повинен вміти:

- дискретизувати аналогові сигнали;
- виконувати інтерполяцію та децимацію цифрових сигналів;
- проектувати цифрові фільтри.

Студент повинен вміти проводити аналіз часового ряду за допомогою спектральних методів, обробляти його з використанням методів фільтрації, синтезувати часові ряди зі вказаними характеристиками.

Процес навчання складається з теоретичних, лабораторних занять та самостійного вивчення студентами деяких тем.

1.3 Міждисциплінарні зв'язки

Дисципліна вивчається після засвоєння курсів Математичний аналіз, Об'єктно-орієнтовне програмування, Математичне моделювання, Теорія програмування, Програмування і алгоритмічні мови.

1.4 Форми контролю знань і критерії оцінки

Застосовується модульно-рейтингова система контролю знань студентів, яка включає звітування за два модулі, самостійне розв'язування задач, підготовку презентації на обрану тему.

Підсумковий контроль здійснюється у формі тесту.

СТРУКТУРА ТА ЗМІСТ ДИСЦИПЛІНИ

Курс включає такі питання:

Ряди Фур'є, перетворення Фур'є, кореляційний аналіз. Спектр часового ряду, теорема Котельникова, z-перетворення, випадкові часові ряди. Суть лінійної дискретної обробки, способи опису дискретних систем, рекурсивні та не рекурсивні дискретні фільтри, форми реалізації дискретних фільтрів. Дискретне перетворення Фур'є, алгоритми дискретного перетворення Фур'є, спектр дискретного випадкового процесу, параметричні та непараметричні методи. Прямі методи синтезу рекурсивних фільтрів. Методи модуляції та демодуляції часових рядів.

1 Перелік розділів і тем та їх зміст

Тема 1

Класифікація аналогових і дискретних сигналів. Енергетичний спектр сигналів. Автокореляційна функція сигналу, зв'язок з енергетичним спектром. Взаємкореляційна функція та її властивості.

Тема 2

Неперервні, дискретні і цифрові сигнали, порівняння їх спектрів.

Тема 3

Дискретний ряд Фур'є. Швидке перетворення Фур'є. Інші види перетворень: Уолша, Адамара, косинусне тощо.

Тема 4

Інтерполяція і децимація цифрових сигналів. Використання децимації в цифрових генераторах.

Тема 5

Теорія Z-перетворення. Співвідношення між Z-перетворенням і Фур'є-перетворенням послідовності.

Тема 6

Лінійні дискретні системи, методи їх опису.

Тема 7

Нерекурсивні цифрові фільтри. Порядок розрахунку, властивості цих фільтрів. Використання функцій вікна при розрахунку нерекурсивних фільтрів. Проектування оптимальних нерекурсивних фільтрів.

Тема 8

Рекурсивні цифрові фільтри. Методи розрахунку коефіцієнтів рекурсивних цифрових фільтрів.

Тема 9

Стійкість цифрових фільтрів. Вплив квантування коефіцієнтів і сигналів на характеристики фільтра. Реалізація цифрових фільтрів.

Тема 10

Цифрові частотні і фазові детектори.

Тема 11

Основні принципи побудови цифро-аналогових перетворювачів (ЦАП). Цифро-аналогові перетворювачі чисел із знаком. Основні принципи побудови аналого-цифрових перетворювачів (АЦП): паралельні АЦП, АЦП послідовного наближення та інтегруючі АЦП. Точність перетворення АЦП.

Тема 12

Кодування цифрових сигналів: імпульсно-кодова модуляція, диференціальна імпульсно-кодова модуляція, дельта-модуляція, коди із захистом від завад. Методи передачі цифрової інформації: амплітудна маніпуляція, частотна маніпуляція, фазова і відносна фазова маніпуляція.

2 Лекційні заняття

1. Класифікація аналогових і дискретних сигналів. Енергетичний спектр сигналів. Автокореляційна функція сигналу, зв'язок з енергетичним спектром. Взаємкореляційна функція та її властивості.

2. Неперервні, дискретні і цифрові сигнали, порівняння їх спектрів.

3. Дискретний ряд Фур'є. Швидке перетворення Фур'є. Інші види перетворень: Уолша, Адамара, косинусне тощо.

4. Інтерполяція і децимація цифрових сигналів. Використання децимації в цифрових генераторах.

5. Теорія Z-перетворення. Співвідношення між Z-перетворенням і Фур'є-перетворенням послідовності.

6. Лінійні дискретні системи, методи їх опису.

7. Нерекурсивні цифрові фільтри. Порядок розрахунку, властивості цих фільтрів. Використання функцій вікна при розрахунку нерекурсивних фільтрів. Проектування оптимальних нерекурсивних фільтрів.

8. Рекурсивні цифрові фільтри. Методи розрахунку коефіцієнтів рекурсивних цифрових фільтрів.

9. Стійкість цифрових фільтрів. Вплив квантування коефіцієнтів і сигналів на характеристики фільтра. Реалізація цифрових фільтрів.

10. Цифрові частотні і фазові детектори.

11. Основні принципи побудови цифро-аналогових перетворювачів (ЦАП). Цифро-аналогові перетворювачі чисел із знаком. Основні принципи побудови аналого-цифрових перетворювачів (АЦП): паралельні АЦП, АЦП послідовного наближення та інтегруючі АЦП. Точність перетворення АЦП.

12. Кодування цифрових сигналів: імпульсно-кодова модуляція, диференціальна імпульсно-кодова модуляція, дельта-модуляція, коди із захистом від завад. Методи передачі цифрової інформації: амплітудна маніпуляція, частотна маніпуляція, фазова і відносна фазова маніпуляція.

3 Лабораторні заняття

1. Вступне заняття.

2. Ознайомлення із системами NUMERI і ADAS. Формування заданих сигналів.

3. Інтерполяція цифрових сигналів.

4. Децимація цифрових сигналів.

5. Нерекурсивні цифрові фільтри.

6. Рекурсивні цифрові фільтри.

7. Вейвлет-перетворення.

8. Заключне заняття.

4. Завдання до самостійної роботи студентів та методичні вказівки для її виконання

4.1. Загальні положення щодо самостійної роботи студентів

Самостійна робота студентів регламентується Положенням про організацію навчального процесу в вищих навчальних закладах України, затвердженого наказом Міністерства освіти України № 161 від 2 червня 1993 року та Положенням про систему нарахування балів за кредитно-модульною системою.

Положенням про організацію навчального процесу в вищих навчальних закладах України передбачено, що навчальний час, відведений для самостійної роботи студентів визначається робочим навчальним планом і повинен становити не менше 50% загального обсягу навчального часу студента, відведеного для вивчення дисципліни.

Самостійна робота студентів ставить за мету:

- розвиток творчих здібностей та активізація розумової діяльності студентів;
- формування в студентів потреби безперервного самостійного поповнення знань;
- здобуття студентом глибокої системи знань;
- самостійна робота студентів як результат морально-вольових зусиль.

Завданням самостійної роботи студентів є наступне:

- навчити студентів самостійно працювати над літературою;
- творчо сприймати навчальний матеріал і його осмислювати;
- набути навички щоденної самостійної роботи в одержанні та узагальненні знань, вмінь.

Зміст самостійної роботи студентів з дисципліни визначається навчальною програмою дисципліни та робочою навчальною програмою вивчення дисципліни.

На самостійну роботу можуть виноситись:

- підготовка до лекцій;
- частина теоретичного матеріалу, менш складного за змістом;
- підготовка до семінарських, практичних занять, занять з комп'ютерного практикуму;
- виконання індивідуальної роботи.

Самостійна робота над засвоєнням навчального матеріалу може виконуватись у бібліотеці, навчальних кабінетах, комп'ютерних класах (лабораторіях), а також у домашніх умовах.

Студенти можуть отримувати різні види завдань самостійної роботи:

- переробка інформації отриманої безпосередньо на обов'язкових навчальних заняттях;
- робота з відповідними підручниками та особистим конспектом лекцій;
- самостійне вивчення окремих тем або питань із розробкою конспекту;
- робота з довідковою літературою;
- написання рефератів, повідомлень;

- творчі завдання (доповіді, проекти, есе, огляди тощо);
- виконання підготовчої роботи до лабораторних та практичних занять, комп'ютерного практикуму;
- виконання індивідуальних графічних, розрахункових завдань;
- підготовка письмових відповідей на проблемні питання;
- складання картотеки літератури за змістом наступної фахової діяльності.

Успішне виконання завдання самостійної роботи можливе за умов наявності у студентів певних навичок: вміння працювати з книгою (складати план, конспект, реферат); проводити аналіз навчального матеріалу (складати різні види таблиць, проводити їх аналіз). При виконанні завдань з комп'ютерного практикуму – навичок роботи з ПЕОМ та програмним забезпеченням.

4.2. Організація контрольних заходів самостійної роботи студентів

Контрольні заходи включають поточний і підсумковий контроль знань студентів.

Поточний контроль є органічною частиною навчального процесу і проводиться під час лекцій, семінарських, практичних і лабораторних занять. Форми поточного контролю:

- усна співбесіда за матеріалами розглянутої теми на початку наступного заняття з оцінкою відповідей студентів (5-10 хв);
- письмове фронтальне опитування студентів на початку чи в кінці заняття (5-10 хв). Відповіді перевіряються і оцінюються у позааудиторний час;
- фронтальний безмашинний стандартизований контроль знань студентів за кількома темами, винесеними на самостійну роботу (5-10 хв). Проводиться на початку семінарських, практичних чи лабораторних занять;
- перевірка домашніх завдань;
- перевірка набутих вмінь (на практичних, лабораторних заняттях, комп'ютерному практикумі);
- тестова перевірка знань студентів;
- інші форми контрольних заходів.

При кредитно-модульній системі навчання результати самостійної роботи студента впливають на загальний рейтинг з дисципліни. Виконання завдань з самостійної роботи контролюється після закінчення логічно завершеної частини лекцій та інших видів занять з дисципліни і її результати враховуються при виставленні підсумкової оцінки.

Навчальний матеріал навчальної дисципліни, передбачений робочим навчальним планом для засвоєння студентами у процесі самостійної роботи, виноситься на підсумковий семестровий контроль (екзамен, диференційований залік або залік).

СИСТЕМА І КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЗНАНЬ, УМІНЬ І НАВИЧОК СТУДЕНТІВ

Критерії оцінювання знань та вмінь студента за результатами вивчення навчальної дисципліни:

- 90-100 балів – за глибокі знання навчального матеріалу, що міститься в основних і додаткових рекомендованих літературних джерелах; вміння аналізувати явища, які вивчаються, у їхньому взаємозв'язку і розвитку, чітко і лаконічно; логічно і послідовно відповідати на поставлені запитання; вміння застосовувати теоретичні положення під час розв'язання практичних задач;
- 82-89 балів – за ґрунтовні знання навчального матеріалу, включаючи розрахунки; аргументовані відповіді на поставлені запитання; вміння застосовувати теоретичні положення під час розв'язування практичних задач;
- 75-81 бал – за міцні знання навчального матеріалу, включаючи розрахунки; аргументовані відповіді на поставлені запитання, які, однак, містять певні (несуттєві) неточності; вміння застосовувати теоретичні положення під час розв'язання практичних задач;
- 60-74 бали – за посередні знання навчального матеріалу, мало аргументовані відповіді, слабе застосування теоретичних положень під час розв'язання практичних задач;
- 35-59 балів – за незнання значної частини навчального матеріалу, істотні помилки у відповідях на запитання, невміння застосовувати теоретичні положення під час розв'язання практичних задач;
- 0-34 бали – за незнання значної частини навчального матеріалу, істотні помилки у відповідях на запитання, невміння орієнтуватися під час розв'язання практичних задач, незнання основних фундаментальних положень.

Отримані студентом бали за 100-бальною шкалою оцінювання знань переводяться у державну шкалу («відмінно», «добре», «задовільно» чи «незадовільно») та в шкалу ECTS (A, B, C, D, E, FX, F) згідно з таблицею:

| За 100-бальною шкалою | За державною (національною) шкалою | За шкалою ECTS |
|-----------------------|------------------------------------|----------------|
| 90-100 | Відмінно | A |
| 82-89 | Добре | B |
| 75-81 | Добре | C |
| 67-74 | Задовільно | D |
| 60-66 | Задовільно | E |
| 35-59 | Незадовільно | FX |
| 0-34 | Незадовільно | F |

КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ (ТЕСТИ, ЗАДАЧІ) ДЛЯ ПОТОЧНОГО, МОДУЛЬНОГО ТА ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ

1. Завдання для модульної контрольної роботи та підсумкового контролю знань

Теоретичні питання

1. Неперервні, дискретні і цифрові сигнали, порівняння їх спектрів.
2. Інтерполяція і децимація цифрових сигналів.
3. Теорія Z-перетворення. Співвідношення між Z-перетворенням і Фур'є-перетворенням послідовності.
4. Лінійні дискретні системи, методи їх опису.
5. Нерекурсивні цифрові фільтри. Порядок розрахунку, властивості цих фільтрів.
6. Рекурсивні цифрові фільтри. Методи розрахунку коефіцієнтів рекурсивних цифрових фільтрів.
7. Основні принципи побудови цифро-аналогових перетворювачів (ЦАП) та аналого-цифрових перетворювачів (АЦП).

Практичні питання

1. Створити задані сигнали в системах NUMERI і ADAS.
2. Інтерполювати задані сигнали.
3. Децимувати задані сигнали.
4. Спроекувати з допомогою NUMERI нерекурсивний цифровий фільтр.
5. Спроекувати з допомогою NUMERI рекурсивний цифровий фільтр.

РЕКОМЕНДОВАНА НАВЧАЛЬНА Й НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНА ЛІТЕРАТУРА

1. Основна література

1. Фесечко В.О. Методи перетворення сигналів: Навч. посіб. – К.: ІВЦ “Видавництво “Політехніка”, 2005. – 128 с.
2. Френкс Л. Теория сигналов. – М.: Сов. радио, 1974. – 344 с.
3. Харкевич А.А. Спектры и анализ. - М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1962. - 236 с.
4. Оппенгейм А.В., Шафер Р.В. Цифровая обработка сигналов. – М.: Связь, 1979. – 416 с.
5. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. - СПб.: Питер, 2002. - 608 с.

2. Додаткова література

1. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. Учеб. для вузов М: Высш. шк.,1988.
2. Мочульський Ю. Аналогова і цифрова обробка сигналів: Навчально-методичний посібник.-Львів:ЛНУ імені Івана Франка,1999.
3. Злобін Г., Мочульський Ю. Цифрова обробка інформації. Електронний підручник. Файл з іменем SOI_Lab.
6. А. С. Глинченко Цифровая обработка сигналов: В 2 ч. Красноярск: Изд-во КГТУ. 2001. 383 с.
7. Шрюфер Е. Обробка сигналів: цифрова обробка дискретизованих сигналів: Підручник/ За ред. В. П. Бабака. – К.: Либідь. 1992.
8. Л.Рабинер, Б.Гоулд. Теория и применение цифровой обработки сигналов.М.:Мир, 1978.
9. Антонио А. Цифровые фильтры: Анализ и проектирование: Пер с англ. - М.: Радио и связь, 1983.
- 10.Цифровая обработка сигналов. Справочник / Л.М.Гольденберг, Б.Д.Матюшкин, М.И.Поляк.- М. Радио и связь,1985.
- 11.Робинсон Э.А. История развития теории спектрального оценивания. / ТИИЭР. – 1982. – т.70, № 9. – С. 6 – 32.
- 12.Воробьев Н.Н. Теория рядов. - М.: Наука, 1979. - 408 с.
- 13.Ильин В.А., Позняк Э.Г. Линейная алгебра - М.: Наука, 1974. - 296 с.
- 14.Батороев К. Б. Аналогии и модели в познании. – Новосибирск: Наука, 1981. – 319 с.
- 15.Анго А. Математика для электро- и радиоинженеров. – М.: Наука, 1965. – 779 с.
- 16.Оппенгейм А., Шафер Р. Цифровая обработка сигналов. – М.: Техносфера, 2006. – 856 с.
17. www.mathworks.com
- 18.Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Радио и связь, 1986. – 512 с.

19. Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов. – М.: ООО «Бином-пресс», 2006. – 656 с.
20. Марпл-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения: Пер. с англ. - М.: Мир, 1990. - 548 с.
21. Сигорский В.П., Петренко А.И. Основы теории электронных схем. – К.: Техніка, 1967. – 609 с.
22. Голд Б., Рэйдер Ч. Цифровая обработка сигналов. – М.: Сов. радио, 1973. – 367 с.
23. Антомонов М.Ю. Математическая обработка и анализ медико-биологических данных. – К.: «Фірма малого друку», 2006. – 558 с.
24. Ганеев Р.М. Математические модели в задачах обработки сигналов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. – 80 с.
25. Зюко А.Г., Коробов Ю.Ф. Теория передачи сигналов. – М.: Связь, 1972. – 282 с.
26. Криксунов В.Г. Спектральний аналіз електричних сигналів. – К.: Техніка, 1971. – 196 с.
27. Дубров А.М. и др. Многомерные статистические методы. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 352 с.
28. Малла С. Вейвлеты в обработке сигналов: Пер. с англ. – М.: Мир, 2005. – 671 с.
29. Штарк Г.-Г. Применение вейвлетов для ЦОС. – М.: Техносфера, 2007. – 192 с.
30. Чуи К. Введение в вейвлеты. – М.: Мир, 2001. – 412 с.
31. Блаттер К. Вейвлет-анализ. Основы теории. – М.: Техносфера, 2004. – 280 с.
32. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц – М.: Наука, 1966. – 576 с.
33. Ту Дж.Т., Гонсалес Р.К. Принципы распознавания образов. - М.: Мир, 1978. - 411 с.
34. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления. - М.: Мир, 1975. - 683с.
35. Мінцер О.П., Вороненко Ю.В., Власов В.В. Оброблення клінічних і експериментальних даних у медицині. - К.: Вища школа, 2003.- 350с.
36. Абакумов В.Г., Рибін О.І., Сватош Й. Біомедичні сигнали. Генезис, обробка, моніторинг. -К.: Нора-прінт, 2001.- 516 с.
37. Прокопенко Ю.В., Татарчук Д.Д., Казміренко В.А. Обчислювальна математика. – К.: Політехніка, 2003. – 119 с.
38. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы. – М.: Наука, 1987. – 598 с.
39. Тихонов В.И. Выбросы случайных процессов. – М.: Наука, 1970. – 392 с.
40. Малахов А.Н. Кумулянтный анализ случайных негауссовых процессов и их преобразований. – М.: Сов. радио, 1978. – 376 с.
41. Новиков А.К. Полиспектральный анализ. – СПб.: ЦНИИ имени акад. А.Н. Крылова, 2002. – 180 с.
42. Гольдман С. Гармонический анализ, модуляция и шумы. – М.: Издательство иностранной литературы, 1951. – 422 с.

43. Переберин А.В. О систематизации вейвлет-преобразований // Вычислительная математика и программирование. – 2001. – т.2 – С. 15 – 40.
44. Daubechies I. The wavelet transform, time-frequency localization and signal analysis // IEEE Transactions on information theory. – 1990. – Vol. 36, № 5. – P. 961 – 1005.
45. Теорія вейвлетів з елементами фрактального аналізу / Геранін В.О., Писаренко Л.Д., Рущицький Я.Я. : Науково-методичне видання. – Київ: ВПФ УкрІНТЕІ, 2002. – 364 с.
46. Duda R.O., Hart P.E., Stork D.G. Pattern classification. John Wiley & Sons, 2000, 654 p.
47. Горелик А.Л., Скрипкин В.А. Методы распознавания. – М.: Высшая школа, 1977. – 222 с.
48. Fukunaga K. Introduction to statistical pattern recognition. Academic Press Inc., 1990, 591 p.
49. Левин Б.Р. Теория случайных процессов и ее применение в радиотехнике. – М.: Сов. радио, 1957. – 495 с.
50. Айфичер Э.С., Джервис Б.У. Цифровая обработка сигналов: практический подход. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 992 с.
51. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций. – М.: Наука, 1968. – 463 с.
52. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
53. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. – М.: Техносфера, 2006. – 616 с.
54. Ахмет Н., Рао К.Р. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов: Пер. с англ./ Под ред. И.Б. Фоменко. – М.: Радио и связь, 1980. – 248 с.
55. Mallat S.G., Zhang Zh. Matching pursuits with time-frequency dictionaries. // IEEE Transactions on signal processing. – 1993. – vol. 41, № 12. – P. 3397 – 3415.
56. Chara J.O., Rao R.M. Algorithms for designing wavelets to match a specified signal // IEEE Transactions on signal processing. – 2000. – Vol. 48, №12. – P. 3395–3406.
57. Chen S.S., Donoho D.L., Saunders M.A. Atomic decomposition by basis pursuit // SIAM Review. – 2001. – Vol. 43, №129. – P. 1–29.
58. Bronzino J. D. The biomedical engineering handbook. Boca Raton: CRC Press LLC, 2000.
59. Даджион Д., Мерсеро Р. Цифровая обработка многомерных сигналов: Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 488 с.
60. Цветков Э.И. Нестационарные случайные процессы и их анализ. – М.: Энергия, 1973. – 128 с.
61. Алгоритмы и техника цифровых измерений: Учеб. пособие / Е.Ф.Клещевников – К.: УМК ВО, 1988. – 108 с.
62. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: Учебник для вузов. 2-е изд. - СПб.: Питер, 2007. - 751 с.

63. Бахтиаров Г.Д., Малинин В.В., Школин В.П. Аналого-цифровые преобразователи. – М.: Советское радио, 1980. – 280 с.
64. Фрейзер М. Введение в вейвлеты в свете линейной алгебры. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 487 с.
65. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов. - М.: Мир, 1976. - 755 с.
66. Пугачев, В. С. Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления / В. С. Пугачев. М. : Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1957. - 659 с.
67. Оппенгейм, А. Применение цифровой обработки сигналов / А. Оппенгейм. - М. : Мир, 1980. - 552 с.
68. Свешников, А. А. Прикладные методы теории случайных функций / А. А. Свешников. - М. : Наука, 1968. - 463 с.
69. Ярославский Л.П. Введение в цифровую обработку изображений. - М.: Сов. радио, 1979. - 312 с.
70. Отнес, Р. Прикладной анализ временных рядов / Р. Отнес, Л. Эноксон. - М. : Мир, 1982. - 428 с.
71. Вайнштейн, Л. А. Выделение сигналов на фоне случайных помех / Л. А. Вайнштейн, В. Д. Зубаков. - М. : Советское радио, 1960. - 446 с.
72. Богнер, Р. Введение в цифровую фильтрацию / Р. Богнер, А. Константи́нидис. - М. : Мир, 1976. - 216 с.