

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник голови приймальної комісії

проректор з наукової роботи

Київського національного університету

імені Тараса Шевченка



Ганна ТОЛСТАНОВА

2023 р.

**ПРОГРАМА
ВСТУПНОГО ВИПРОБУВАННЯ
ДО АСПРАНТУРИ (АД'ЮНКТУРИ)
ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 113 ПРИКЛАДНА МАТЕМАТИКА
на здобуття ступеня доктора філософії
(третій (освітньо-науковий) рівень вищої освіти)**

**ГАЛУЗЬ ЗНАНЬ 11 МАТЕМАТИКА ТА СТАТИСТИКА
ОСВІТНЬО-НАУКОВА ПРОГРАМА
«ПРИКЛАДНА МАТЕМАТИКА»**

Розробники програми:

1. Іксанов Олександр Маратович, завідувач кафедри дослідження операцій (ДО), доктор фізико-математичних наук, професор;
2. Маринич Олександр Віталійович, доцент кафедри дослідження операцій (ДО); кандидат фізико-математичних наук, доцент;
3. Семенов Володимир Вікторович, професор кафедри обчислювальної математики (ОМ), доктор фізико-математичних наук, професор;
4. Івохін Євген Вікторович, професор кафедри системного аналізу та теорії прийняття рішень (САТР), доктор фізико-математичних наук, професор;
5. Пічкур Володимир Володимирович, професор кафедри моделювання складних систем (МСС), доктор фізико-математичних наук, професор.

УХВАЛЕНО

Вченою радою

факультету комп'ютерних наук та
кібернетики

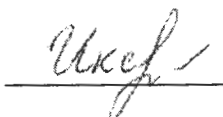
« 21 » лютого 2023 р., протокол № 8

Голова вченої ради факультету

комп'ютерних наук та кібернетики

 Анатолій АНІСІМОВ



Гарант освітньо-наукової програми  Олександр ІКСАНОВ

1. МАТЕМАТИЧНІ ОСНОВИ ПРИКЛАДНОЇ МАТЕМАТИКИ

- 1. Теорія множин.** Алгебраїчні системи. Основні операції над множинами; основні співвідношення. Прямий добуток. Потужність множин; порівняння множин; теорема Кантора-Бернштейна-Шредера. Бінарні відношення; основні класи бінарних відношень: еквівалентності, часткові та лінійні порядки, функціональні відношення. Основні операції над бінарними відношеннями: теоретико-множинні операції, добуток, інверсія, замкнення. Частково-впорядковані множини; основні класи: лінійно впорядковані, повністю впорядковані множини, повні решітки, решітки, піврешітки. Трансфінітна індукція.
- 2. Основи функціонального аналізу.** Топологічні, метричні та лінійні нормовані простори. Збіжність і повнота. Банахів простір. Гільбертів простір. Лінійні оператори та функціонали, їх властивості. Теорема Ріса про зображення лінійного неперервного функціоналу. Теорема Хана-Банаха. Теорема Банаха про обернений оператор. Нелінійні функціонали. Варіація за Лагранжем, похідна за напрямком, похідна Фреше, Гато. Необхідні умови екстремуму.
- 3. Опуклий аналіз і теорія багатозначних відображень.** Опуклі множини. Основні властивості Теорема розділення. Опуклі функції. Екстремальні властивості опуклих функцій. Опорні функції, функція Мінковського. Похідні за напрямком, субдиференціали. Метрика Хаусдорфа. Неперервні багатозначні відображення.
- 4. Оптимізація у скінченновимірних просторах.** Постановка задачі математичного програмування. Необхідні і достатні умови екстремуму. Правило множників Лагранжа. Теорема Куна-Таккера. Двоїстість в математичному програмуванні. Теорема про мінімакс.
- 5. Звичайні диференційні рівняння.** Задача Коші та крайова задача. Теорема існування та єдиності розв'язку задачі Коші. Неперервність і диференційовність розв'язків за параметрами і початковими даними. Структура загального розв'язку лінійної системи звичайних диференційних рівнянь. Фундаментальна матриця. Формула Коші. Стійкість, перший і другий методи Ляпунова, критерій Гурвіца, теореми Ляпунова та Четаєва.
- 6. Рівняння математичної фізики.** Класифікація квазілінійних диференційних рівнянь. Постановка основних крайових задач для лінійних диференційних рівнянь другого порядку. Проблема коректності.
- 7. Теорія ймовірностей та математична статистика.** Аксиоматика Колмогорова теорії ймовірностей. Основні дискретні розподіли: біноміальний, геометричний, негативний біноміальний, пуассонівський. Основні неперервні розподіли: рівномірний, нормальний, показниковий. Ланцюги Маркова з дискретним часом та класифікація його станів. Пуассонівський процес. Броунівський рух. Типи збіжностей випадкових величин та їх взаємозв'язок. Посилений закон великих чисел. Центральна гранична теорема та теорема Ліндеберга-Феллера. Вибірка та емпірична функція розподілу. Методи найбільшої вірогідності та метод моментів побудови оцінок невідомих параметрів. Властивості оцінок: незміщеність та слухність, асимптотична нормальність. Довірчі інтервали. Перевірка гіпотез.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бейко І.В., Зінько П.М., Наконечний О.Г. Задачі, методи та алгоритми оптимізації. – К.: ВПЦ "Київський університет", 2012. – 799 с.
2. Березанський Ю. М., Г.Ф. Ус Г.Ф., З.Т. Шефтель З.Т. Функціональний аналіз.-Львів: Видавець І.Е. Чижиков, 2014. – 559 с.
3. Вайсфельд Н.Д., Реут В.В. Рівняння математичної фізики: навчально-методичний посібник.- Одеса: ОНУ, 2018.-194 с.

4. Гаращенко Ф.Г., Пічкур В.В. Прикладні задачі теорії стійкості. -К.: ВПЦ «Київський університет», 2014. - 142 с.
5. Гаращенко Ф.Г., Матвієнко В.Т., Пічкур В.В., Харченко І.І. «Диференціальні рівняння, варіаційне числення та їх застосування» - К., ВПЦ «Київський університет», 2015. – 271 с.
6. Зайченко Ю. П. Дослідження операцій: підручник / Ю. П. Зайченко. – 7-ме вид., переробл. та допов. – Київ : Видавничий дім «Слово», 2006. – 816 с.
7. Моклячук М.П. Негладкий аналіз та оптимізація. К.: Київ. нац. ун-т ім. Т. Шевченка, 2008. — 399 с.
8. Моклячук М.П. Варіаційне числення. Екстремальні задачі: підручник. -К.: ВПЦ «Київський університет», 2009. - 380 с.
9. Пічкур В.В., Капустян О.В., Собчук В.В. Теорія динамічних систем. – Луцьк: Вежа-Друк, 2020. – 348 с.
10. Самойленко А.М., Перестюк М.О., Парасюк І.О. Диференціальні рівняння. – К.: Либідь, 2003. – 600 с.
11. Barbu V. Differential Equations. -Springer, 2016. -224 p.
12. Durrett R. Probability theory and examples. -- Cambridge: Cambridge University Press, 4th edition, 2010.
13. Khalil H.K. Nonlinear systems. – NJ.: Prentice Hall, 2002. – 766 p.
14. Patrick L., Combettes P. Convex Analysis and Monotone Operator Theory in Hilbert Spaces. -Springer, 2011. - 468 p.

2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

1. Математична модель. Основні вимоги до математичних моделей. Принципи та етапи побудови математичних моделей.
2. Основні фундаментальні закони природи та їх місце в моделюванні фізико-технічної реальності.
3. Математичні моделі просторово розподілених динамічних процесів. Методи їх побудови та дослідження.
4. Математичне моделювання динаміки неповно спостережуваних просторово розподілених систем.
5. Математичне моделювання в задачах керування динамікою неповно спостережуваних просторово розподілених систем.
6. Ідентифікаційний підхід до побудови математичних моделей лінійних, квазілінійних та нелінійних динамічних систем.
7. Проблеми та методи оптимізації математичних моделей просторово розподілених динамічних систем.

ЛІТЕРАТУРА

1. Стоян В.А. Моделювання та ідентифікація динаміки систем з розподіленими параметрами: навч. посібник. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2008. – 201 с.
2. Стоян В.А. Математичне моделювання лінійних, квазілінійних і нелінійних динамічних систем. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2011. – 319 с.
3. Стоян В.А. Лабораторне моделювання просторово розподілених динамічних систем: навч. посібник. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2021. – 174 с.
4. Маценко В.Г. Математичне моделювання. Навч. посібник. – Чернівецький національний університет, 2014. – 519 с.
5. Хусаїнов Д.Я., Харченко І.І., Шатирко А.В. Основи моделювання динамічних систем. Навч. посібник. — К.: Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2010. — 130 с.

3.СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ

1. Основні поняття системного аналізу і теорії систем. Означення системи. Цілісність систем. Принципи системного підходу. Класифікація задач і процедур системного аналізу.

2. Розкриття невизначеностей у задачах системного аналізу. Задачі та методи розкриття невизначеностей цілей. Розкриття ситуаційної невизначеності. Розкриття невизначеності в задачах взаємодії. Розкриття невизначеності у задачах конфлікту стратегій. Задачі і методи розкриття системної невизначеності.
3. Математичне формулювання задач взаємодії і протидії коаліцій. Загальна стратегія розв'язання задач системної взаємодії або системної протидії коаліції.
4. Інформаційний аналіз системних задач. Аналіз кількісних та якісних характеристик інформації. Формалізація характеристик і показників інформованості особи, що приймає рішення (ОПР).
5. Основні процедури системного аналізу. Алгоритми проведення декомпозиції системи, агрегування. Основні типи агрегаторів.
6. Системна методологія передбачення. Сценарно-прецедентний аналіз як методологічна основа передбачення.
7. Математичні основи моделей і методів аналізу ієрархій. Модифіковані методи аналізу ієрархій.
8. Моделі багаторівневих ієрархічних систем. Модель ієрархії шарів, стратифіковані та багатошарові моделі систем. Узагальнена структура дворівневих ієрархічних систем. Декомпозиція підсистем.
9. Координація в дворівневих ієрархічних системах. Постулат сумісності. Поняття принципів координації.
10. Моделі ієрархічних систем керування. Алгоритми розв'язування задач оптимального керування для дворівневих систем. Моделі розподілу ресурсів в ієрархічних системах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Наконечний О.Г., Шевчук Ю.М. Нелінійні задачі популяційної динаміки та їх застосування. – ВПЦ «Київський університет», 2020. – 188 с.
2. Наконечний О.Г., Зінко П.М. Математичні методи аналізу матричних даних в умовах невизначеності: Навч. посібник. – К.: Р.К. Майстер-принт, «Фамільна друкарня Нуус», 2022. – 208 с.
3. Наконечний О.Г., Гребеннік І.В., Романова Т.С., Тевяшев А.Д. Методи прийняття рішень: Навч. посібник. – Харків, ХНУРЕ, 2016. – 131 с.
4. Панкратова Н.Д. Системний аналіз. Теорія. Застосування, Підручник. – К.: Наукова думка, 2018. – 346с.
5. Швець С.В. Основи системного аналізу: Навч. посібник. – Суми: Сумський держ. університет, 2017. – 126 с.
6. Прокопенко Т.О. Теорія систем і системний аналіз: Навч. посібник [Електр. ресурс] . – Черкаси, ЧДТУ, 2019. – 139 с. – Назва з титульного екрана.
7. er.cdtu.edu.ua/bitstream/ChSTU/986/1/TCICA_НП_Прокопенко.pdf
8. Згуровський М.З., Панкратова Н.Д. Основи системного аналізу, Підручник. –К.: Видав. Група ВНУ, 2007. – 544с.
9. Катренко А.В. Системний аналіз, Підручник. - Львів: Новий світ-2000, 2011. – 396 с.
10. Системний аналіз сталого розвитку: Навч. посібник. – К.: «МП Леся», 2015. – 512 с.
11. Панкратова Н.Д., Недашківська Н.І. Моделі і методи аналізу ієрархій. Теорія. Застосування, Навч. посібник. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 372с.
12. Герасимов Б.М. та інші. Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень. – К.: В-во "Європ. ун-т", 2007. – 335 с.
15. Сергієнко І.В. Методи оптимізації та системного аналізу для задач транс обчислювальної складності. – К.: Академперіодика, 2010. – 318 с.

4. МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ

1. Лінійне програмування. Теорема двоїстості. Симплекс-метод.
2. Методи безумовної оптимізації і їх класифікація (методи градієнтного спуску, Ньютона, спряжених градієнтів, квазіньютонівські).

3. Методи умовної оптимізації (зовнішніх та внутрішніх штрафів; можливих напрямків; проекції градієнтів, умовного градієнту).
4. Методи дискретної оптимізації.
5. Методи стохастичного програмування.
6. Методи негладкої оптимізації.
7. Поняття ефективного розв'язку багатокритеріальних задач оптимізації та його узагальнення. Методи багатокритеріальної оптимізації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бейко І.В., Зінко П.М., Наконечний О.Г. Задачі, методи та алгоритми оптимізації. – К.: ВПЦ "Київський університет", 2012. – 799 с.
2. Зайченко Ю. П. Дослідження операцій: підручник / Ю. П. Зайченко. – 7-ме вид., переробл. та допов. – Київ : Видавничий дім «Слово», 2006. – 816 с.
3. Бартіш М.Я., Дудзяний І.М. Дослідження операцій. Ч. 4. Нелінійне програмування: підручник Львів: Видавництво ЛНУ імені Івана Франка, 2011. - 207 с.
4. Нефьодов Ю. М. Методи оптимізації в прикладах і задачах : навчальний посібник / Ю. М. Нефьодов, Т. Ю. Балицька. – Київ : Кондор, 2011. – 324 с.
5. Дзюбан І. Ю. Методи дослідження операцій / І. Ю. Дзюбан, О. Л. Жиров, О. Г. Охріменко. – Київ : ІВЦ «Видавництво «Політехніка », 2005. – 108 с.
6. Наконечний С. І. Математичне програмування : навч. посіб. / С. І. Наконечний, С. С. Савіна. – Київ : КНЕУ, 2003. – 452 с.
7. Дослідження операцій в економіці : підручник / за ред. І. К. Федоренко, О. І. Черняка. – Київ : Знання, 2007. – 558 с. – (Вища освіта XXI століття).
8. Hamdy A. Taha. Operations Research. An Introduction. Pearson; 10th edition, 2016. – 848 p.

5. ТЕОРІЯ ІГОР

1. Матричні ігри. Чисті та змішані стратегії.
2. Теореми про мінімакс, сідлова точка. Оптимальні стратегії, їх властивості.
3. Ігри n осіб. Парето-оптимальні розв'язки. Рівновага за Нешем.
4. Кооперативні ігри. Сильна рівновага Неша. Стабільність на основі погроз, α, β, γ - ядра кооперативної гри.
5. С-ядро кооперативної гри. Вектор Шеплі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Волошин О.Ф., Мащенко С.О. Моделі та методи прийняття рішень: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. – К. : ВПЦ "Київський університет", 2010. - 336 с.
2. Martin J. Osborne. An Introduction to Game Theory. - Oxford University Press, 2004. - 560 p.

6. ВАРІАЦІЙНЕ ЧИСЛЕННЯ, ТЕОРІЯ КЕРУВАННЯ

1. Варіація функціонала за Лагранжем. Лема Дюбуа-Раймона. Основна лема варіаційного числення.
2. Необхідні умови екстремуму: рівняння Ейлера, рівняння Ейлера-Пуассона, система рівнянь Ейлера-Лагранжа.
3. Достатні умови екстремуму в найпростішій задачі варіаційного числення: умови Якобі, Лежандра, Вейерштрасса.
4. Керованість в лінійних системах керування. Критерії керованості.
5. Розв'язування задачі термінального керування лінійною системою.
6. Спостережуваність в лінійних системах керування. Критерії спостережуваності. Задача оцінки стану лінійної системи.
7. Принцип максимуму Понтрягіна.
8. Принцип оптимальності Белмана. Функція Белмана. Алгоритм методу динамічного програмування. Диференціальне рівняння Белмана. Достатні умови оптимальності.
9. Задача оптимального керування лінійною системою з квадратичним функціоналом.
10. Задача стабілізації. Модальне керування. Теорема про структуру модального керування лінійної системи. Стабілізація на основі другого методу Ляпунова.

11. Методи адаптивного керування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Башняков О.М., Пічкур В.В. Задача синтезу в теорії керування: навчальний посібник. - К.: Сталь, 2012. - 116 с.
2. Гаращенко Ф.Г., Пічкур В.В. Прикладні задачі теорії стійкості. -К.: ВПЦ «Київський університет», 2014. - 142 с.
3. Моклячук М.П. Варіаційне числення. Екстремальні задачі: підручник. -К.: ВПЦ «Київський університет», 2009. - 380 с.
4. Dacorogna V. Introduction to the Calculus of Variations.- World Scientific, 2014, 324 p.
5. Burns J. Introduction to the Calculus of Variations and Control with Modern Applications. - New York: Taylor & Francis, 2013. - 562 p.
6. Гаращенко Ф.Г., Матвієнко В.Т., Пічкур В.В., Харченко І.І. Диференціальні рівняння, варіаційне числення та їх застосування. - К., ВПЦ «Київський університет», 2015. – 271 с.
7. Капустян О.А., Капустян О.В., Наконечний О.Г. Оптимальне керування та гарантоване оцінювання у розподілених системах з малим параметром. - К.: ВПЦ «Київський університет», 2021. – 247 с.
8. Bertsekas D. Dynamic programming and optimal control. - Athena Scientific, Belmont, Massachusetts, 2005. -281 p.

7. ЧИСЕЛЬНІ МЕТОДИ

1. Методи інтерполяції: Сплайни.
2. Методи чисельного інтегрування.
3. Методи розв'язування систем лінійних алгебраїчних рівнянь. Метод Гауса. Метод квадратних коренів. Метод ортогоналізації. Однокрокові ітераційні процеси (простої ітерації, Гауса-Зейделя, верхньої релаксації).
4. Алгебраїчна проблема власних значень і методи її розв'язання.
5. Задача наближення функцій в лінійних нормованих та гільбертових просторах.
6. Ітераційні методи розв'язування нелінійних рівнянь і систем нелінійних рівнянь.
7. Однокрокові методи чисельного інтегрування задачі Коші. Явний і неявний методи Ейлера, Рунге - Кутта. Методи Ейлера — Коші.
8. Багатокрокові методи Методи інтерполяції. Сплайни.
9. чисельного інтегрування задачі Коші. Збіжність і стійкість багатокрокових методів.
10. Числові методи розв'язування звичайних диференціальних рівнянь та диференціальних рівнянь в частинних похідних. Проекційно-варіаційні методи. Сіткові методи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Андруник В.А., Висоцька В.А., Пасічник В.В., Чирун Л.Б., Чирун Л.В. Чисельні методи в комп'ютерних науках, т.1. Львів.: «Новий світ 2000», 2018. – 470 с.
2. Андруник В.А., Висоцька В.А., Пасічник В.В., Чирун Л.Б., Чирун Л.В. Чисельні методи в комп'ютерних науках, т.2. Львів.: «Новий світ 2000», 2017. – 536 с.
3. Гаврилюк І.П., Макаров В.Л. Методи обчислень. Частина 1. - К.: Вища шк., 1995. - 367 с.
4. Гаврилюк І.П., Макаров В.Л. Методи обчислень. Частина 2. - К.: Вища шк., 1995. - 431 с.
5. Голубєва К.М., Денисов С. В., Кашпур О.Ф., Ключин Д.А., Риженко А. І. Чисельні методи інтегрування. Київ.: 2019 - 55 с.
6. Голубєва К.М., Кашпур О.Ф., Ключин Д.А. Чисельні методи. Київ.: 2022 - 145 с.
7. Москальков М. М., Риженко А. І., Войцеховський С. О., Кузьмін А. В., Кашпур О. Ф., Лужних В. М., Вергунова І. М. Практикум з методів обчислень. Київ .: МАУП 2006. – 80 с.
8. Москальков М. М., Риженко А. І., Войцеховський С. О., Кузьмін А. В., Кашпур О. Ф., Хлобистов В. В. Методичні вказівки та учбові завдання до практичних та лабораторних робіт з наближення функцій. Київ .: МАУП 2008. – 86 с.

9. Савула Я.Г. Числовий аналіз задач математичної фізики варіаційними методами. - Львів: видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2004. - 228 с.
10. Фельдман Л.П., Петренко А.І., Дмитриєва О.А. Чисельні методи в інформатиці. Київ.: ВНУ, 2006. - 480 с.
11. Burden R.L., Faires. J.D. Numerical Analysis. - Brooks/Cole, 2011. - 876 p.

8. МАТЕМАТИЧНА ЛОГІКА ТА ТЕОРІЯ АЛГОРИТМІВ

1. Алгебра логіки: булеві функції та їхня реалізація формулами; нормальні форми; теорема Поста про повноту системи булевих функцій.
2. Пропозиційна логіка (логіка висловлень): мова, поняття тавтології; пропозиційне числення (числення висловлень), його коректність та повнота.
3. Логіки першого порядку, їх мови та інтерпретації; істинність, виконуваність формул; відношення логічного наслідку й логічної еквівалентності.
4. Аксиоматичні системи логік першого порядку (теорії першого порядку), приклади; поняття несуперечливості, повноти; теорема дедукції; теорема Геделя про повноту. Формальна арифметика; теореми Геделя про неповноту.
5. Алгоритми, їх характерні властивості. Формальні уточнення понять алгоритму та обчислюваної функції: машини Тьюрінга, нормальні алгоритми Маркова; функції, обчислювані на машинах з необмеженими регістрами).
6. Примітивно рекурсивні, частково рекурсивні, рекурсивні функції, їх властивості.
7. Рекурсивні та рекурсивно перелічні множини, їх властивості; рекурсивні та частково рекурсивні предикати, їх властивості.
8. Алгоритмічні проблеми: розв'язні, частково розв'язні, нерозв'язні; нерозв'язність проблем зупинки і самозастосовності. Теореми Райса, Райса-Шапіро.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кривий С.Л. Дискретна математика. – Чернівці-Київ: Букрек. 2018. – 567 с.
2. Кривий С.Л., Провотар О.І. Вступ до неklasичної логіки. Київ. – ВПЦ КНУ. – 2010. – 212 с.
3. Нікітченко М.С., Шкільняк С.С. Математична логіка та теорія алгоритмів. – К., 2008.
4. Нікітченко М.С., Шкільняк С.С. Прикладна логіка: навчальний посібник. К.: ВПЦ Київський університет, 2013. – 278 с.
5. Нікітченко М.С., Шкільняк С.С. Прикладна логіка: навчальний посібник. К.: ВПЦ Київський університет, 2013. – 278 с.
6. Провотар О.І. Конкретна алгоритміка. – К. Наукова думка, 2017. – 162 с.
7. Kryvyj S., Sczygiol N. Wybrane zagadnienia informatyki teoretycznej. – Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, 2010. – 408 s.
8. Mendelson E. Introduction to Mathematical Logic. – Chapman and Hall/CRC; 5th edition. – 2009. – 494 p.

9. МЕТОДИ ПРОГРАМУВАННЯ

1. Операційні системи.
2. Засоби програмування (процедурно та об'єктно-орієнтовані).
3. Інформаційні системи. Пакети програм і системи підтримки прийняття рішень.
4. Основи машинної графіки. Комп'ютерний зір.
5. Бази даних і системи керування базами даних.
6. Інтелектуальні, експертні системи.
7. Технологія обчислювального експерименту в науковому дослідженні. Планування експериментів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Анісімов А.В., Дорошенко А.Ю., Погорілий С.Д., Дорогий Я.Ю. Програмування числових методів мовою Python. К.: ВПЦ «Київський університет», 2014. – 640 с.
2. Формальні методи специфікації програм: навч. посіб. / А. Ю. Дорошенко, К. А. Жереб, Є. В. Іванов та ін. – К. : ВПЦ "Київський університет", 2020. – 560 с.
3. Кривий С.Л. Вступ до методів створення програмних продуктів. Київ: Національний університет «Києво-Могилянська Академія». – 2018. – 449 с.

4. Лавріщева К.М., Нікітченко М.С., Омельчук Л.Л.. Технологія програмування інформаційних систем. Підручник (гриф МОН України). – Київ: ВПЦ "Київський університет", 2015. – 367 с.
5. Сергієнко І.В., Кривий С.Л., Провотар О.І. Алгебраїчні аспекти інформаційних технологій. К.: Інтерсервіс. – 2018. – 410 с.
6. Clarс E., Hanzinger T.A. and others. Handbook on Model Checking.-Springer Verlag. – 2018. – 1210 p.
7. Sandip Ray Scalable Techniques for formal Verification. – Springer.– 2010. – 236 p.

10. ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ ВІДНОВЛЕННЯ

1. Елементарна теорема відновлення. Стаціонарний процес відновлення.
2. Центральна гранична теорема та посилений закон великих чисел для процесу відновлення.
3. Тотожність Вальда.
4. Теорема Блекуелла.
5. Ключова теорема відновлення.
6. Узагальнені процеси відновлення. Рівняння відновлення.
7. Регенеративні процеси.
8. Випадкові блукання з бар'єром.
9. Збурені випадкові блукання.
10. Гратка Бернуллі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Іксанов О.М. Елементи теорії відновлення. Електронний навчальний посібник. – КНУ ім. Т.Шевченка, 2012-2023. Доступний за адресою:
https://do.csc.knu.ua/wp-content/uploads/2023/01/LN_renewal.pdf
2. Durrett, R. Probability theory and examples. -- Cambridge: Cambridge University Press, 4th edition, 2010.
3. Mitov K.V., Omeу E. Renewal processes.-Springer, 2014.
4. Resnick, S.I. Adventures in stochastic processes.-Boston: Birkhauser, 4rd printing, 2005.

11. ТЕОРІЯ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

1. Основні типи систем масового обслуговування (СМО). Класифікація Кендалла і її модифікації.
2. Вхідні потоки СМО. Поняття стаціонарності і ергодичності. Найпростіший вхідний потік.
3. Формула Літтла. Властивість PASTA.
4. Аналіз системи М/М/1 у перехідному режимі.
5. Характеристики системи М/М/ у стаціонарному режимі.
6. Процеси народження та загибелі (ПНЗ). Використання ПНЗ при вивченні СМО.
7. Система М/D/1.
8. Система М/G/1. Віртуальний час перебування у черзі. Розподіл кількості вимог у системі і у черзі. Розподіл довжини періоду зайнятості.
9. Система G/M/1.
10. Система G/G/1/
11. Пріоритетні системи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Литвинов А. Л. Теорія систем масового обслуговування: навч. посібник / Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 141 с.
2. Томашевський В.М. Моделювання систем: підручник. - К.: Видавнича група BHV, 2005. - 352 с.
3. Adan I. and Resing J.. Queueing Theory. - Eindhoven University of Technology, 2001. – 180 p.
3. Bose S. An introduction to queueing systems. - Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 2002. – 287 p.

4. Gross, D., Shortle, J., Thompson, J., and Harris, C. Fundamentals of queueing theory, 4th edition. -Wiley, New York, 2008. – 528 p.
5. Lefebvre, M. Basic probability theory with applications. -Springer, 2009. – 340 p.
6. Haviv M. Queues. A Course in Queueing Theory.- Springer, 2013. – 221 p.
7. Glaropoulos I. Queueing Theory 2014 – Exercises. - KTH Royal Institute of Technology, 2014. Доступний за адресою https://www.kth.se/social/upload/52fcf25ff276543c8cd8a070/queueing_theory.pdf
8. Zukerman M. Introduction to Queueing Theory and Stochastic Teletraffic Models. Електронний навчальний посібник. City university of Hong Kong, 2000-2023. Доступний за адресою <https://www.ee.cityu.edu.hk/~zukerman/classnotes.pdf>

12. ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ НАДІЙНОСТІ

1. Ймовірнісні методи в теорії надійності. Основні характеристики надійності.
2. Основні розподіли теорії надійності: Вейбулла-Гнеденка, Ерланга, гамма розподіл, нормальний, логарифмічно нормальний, суміш розподілів, ЗФІ-та СФІ- розподіли.
3. Асимптотичний розподіл та моменти залишкового часу життя.
4. Статистичні оцінки характеристик надійності. Метод найбільшої вірогідності для.
5. Послідовне та паралельне з'єднання елементів. цензурованих випробувань. Методи квантилів та моментів
6. Метод статистичного моделювання Монте-Карло. Приклади застосування.
7. Теорема Хінчина та Грігеліоніса та їх застосування.
8. Марковські моделі в аналізі надійності систем.
9. Моделювання випадкових векторів та процесів.
10. Моделювання процесу загибелі та розмноження.
11. Напівмарковські процеси. Приклади застосування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Gnedenko B.V.,Ushakov I.A. Probabilistic Methods in Reliability.- Wiley, New York, 1995.
2. Gertsbakh I.B. Reliability Theory with Applications to Preventive Maintenance,- Ben-Gurion University of the Negev, 2000.
3. Bazovsky I. Reliability Theory and Practice. – Dover Publications, 2004.
4. Rigdon S.E., Basu A.P. Statistical Methods for the Reliability of Repairable systems.- Wiley, 2000.
5. Томашевський В.М. Моделювання систем.- Київ, 2005.
6. Law A.M., Kelton W.D. Simulation modeling and analysis.- McGraw Hill Higher Education, 3rd Revised edition, 2000.