

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Кафедра прикладної математики

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

В. о. декана факультету  
математики і інформатики

Сергій МЕНЯЙЛОВ



серпень 2025 р.

## РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

### Елементи інтервального аналізу і нечіткої логіки

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

галузь знань 11 - Математика та статистика  
(шифр і назва)

спеціальність 113 Прикладна математика  
(шифр і назва)

освітня програма Прикладна математика  
(шифр і назва)

спеціалізація \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)

вид дисципліни за вибором  
(обов'язкова / за вибором)

факультет математики і інформатики

2025 / 2026 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження вченою радою факультету математики і інформатики

“26” серпня 2025 року, протокол №10

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ: (вказати авторів, їхні наукові ступені, вчені звання та посади):  
*Ревіна Тетяна Володимирівна, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри прикладної математики.*

Програму схвалено на засіданні кафедри Прикладної математики

Протокол від “26 ” серпня 2025 року №13

Завідувач кафедри Прикладної математики

  
 (підпис) Валерій КОРОБОВ  
 (прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньої (професійної/наукової) програми (керівником проектної групи) Прикладна математика  
 назва освітньої програми

Гарант освітньої (професійної/наукової) програми  
 (керівник проектної групи) Прикладна математика

  
 (підпис) Сергій ПОСЛАВСЬКИЙ  
 (прізвище та ініціали)

Програму погоджено науково-методичною комісією факультету математики і інформатики Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна  
 назва факультету, для здобувачів вищої освіти якого викладається навчальна дисципліна

Протокол від “26” серпня 2025 року №1

Голова науково-методичної комісії факультету математики і інформатики

  
 (підпис) Евген МЕНЯЙЛОВ  
 (прізвище та ініціали)

## ВСТУП

Програма навчальної дисципліни « Елементи інтервального аналізу і нечіткої логіки» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки

бакалавр  
(назва рівня вищої освіти)

спеціальності 113 Прикладна математика

спеціалізації

### 1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни є надання майбутнім фахівцям знань в галузі сучасного інтервального аналізу і нечіткої логіки.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни є оволодіння майбутніми спеціалістами основними методами розв'язку задач з інтервального аналізу та нечіткої логіки та здатність застосовувати методи цих теорій до розв'язку прикладних задач.

1.3. Кількість кредитів 4

1.4. Загальна кількість годин 120

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
За вибором	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
4-й	
Семестр	
7-й	
Лекції	
32 год.	
Практичні, семінарські заняття	
32 год.	
Лабораторні заняття	
год.	
Самостійна робота	
56 год.	
у тому числі індивідуальні завдання	

1.6. Перелік компетентностей, що формує дана дисципліна

ІК01.Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми прикладної математики у професійній діяльності або у процесі навчання, що передбачає застосування

математичних теорій та методів і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

ЗК05. Здатність проведення досліджень на відповідному рівні.

ЗК06. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК07. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК10. Навички у використанні інформаційних і комунікаційних технологій.

ФК01. Здатність використовувати й адаптувати математичні теорії, методи та прийоми для доведення математичних тверджень і теорем.

ФК02. Здатність виконувати завдання, сформульовані у математичній формі.

ФК03. Здатність обирати та застосовувати математичні методи для розв'язання прикладних задач, моделювання, аналізу, проектування, керування, прогнозування, прийняття рішень.

ФК06. Здатність розв'язувати професійні задачі за допомогою комп'ютерної техніки, комп'ютерних мереж та Інтернету, в середовищі сучасних операційних систем, з використанням стандартних офісних додатків.

ФК09. Здатність до проведення математичного і комп'ютерного моделювання, аналізу та обробки даних, обчислювального експерименту, розв'язання формалізованих задач за допомогою спеціалізованих програмних засобів.

ФК12. Здатність до пошуку, систематичного вивчення та аналізу науково-технічної інформації, вітчизняного й закордонного досвіду, пов'язаного із застосуванням математичних методів для дослідження різноманітних процесів, явищ та систем.

ФК13. Здатність зрозуміти постановку завдання, сформульовану мовою певної предметної галузі, здійснювати пошук та збір необхідних вихідних даних.

ФК14. Здатність сформулювати математичну постановку задачі, спираючись на постановку мовою предметної галузі, та обирати метод її розв'язання, що забезпечує потрібні точність і надійність результату.

ФК17. Здатність розуміти математичні доведення, запропоновувати оригінальні доведення, встановлювати їх правильність і отримувати висновки.

ФК18. Здатність оцінити рівень математичного обґрунтування методів, які застосовуються для розв'язання конкретних прикладних задач.

### 1.7. Перелік результатів навчання, що формує дана дисципліна

РН01. Демонструвати знання й розуміння основних концепцій, принципів, теорій прикладної математики і використовувати їх на практиці.

РН03. Формалізувати задачі, сформульовані мовою певної предметної галузі; формулювати їх математичну постановку та обирати раціональний метод вирішення; розв'язувати отримані задачі аналітичними та чисельними методами, оцінювати точність та достовірність отриманих результатів.

РН06. Володіти основними методами розробки дискретних і неперервних математичних моделей об'єктів та процесів, аналітичного дослідження цих моделей на предмет існування та єдності, а також якісних властивостей їх розв'язків.

РН07. Вміти проводити практичні дослідження та знаходити розв'язок некоректних задач.

РН08. Поєднувати методи математичного та комп'ютерного моделювання з неформальними процедурами експертного аналізу для пошуку оптимальних рішень.

РН09. Будувати ефективні щодо точності обчислень, стійкості, швидкодії та витрат системних ресурсів алгоритми для чисельного дослідження математичних моделей та розв'язання практичних задач.

РН10. Володіти методиками вибору раціональних методів та алгоритмів розв'язання математичних задач оптимізації, дослідження операцій, оптимального керування і прийняття рішень, аналізу даних.

РН13. Використовувати в практичній роботі спеціалізовані програмні продукти та програмні системи комп'ютерної математики.

РН21. Демонструвати розуміння загальних принципів побудови математичних теорій,

основних понять логіки, уміти формулювати та доводити математичні твердження.

РН22. Уміти отримувати змістовні висновки, наводити та аналізувати приклади і контрприкладів, перевіряти і обґрунтовувати правильність застосованих міркувань і отриманих розв'язків.

1.8. Пререквізити: ОК8 Лінійна алгебра

## 2. Тематичний план навчальної дисципліни

### Розділ 1. Інтервальний аналіз.

#### *Тема 1. Інтервальна арифметика Каухера.*

- Арифметичні дії з інтервальними числами. Таблиця Келі для операції інтервального множення. Вклад Каухера у розвиток інтервальної арифметики.
- Арифметичні операції з інтервалами: сума, різниця, добуток, ділення.
- Метрики інтервалів – відстань між двома інтервалами, абсолютна величина інтервалу, ширина та середина інтервалу.
- Застосування методів інтервальної арифметики до розв'язку прикладних математичних, фізичних та економічних задач.

#### *Тема 2. Методи розв'язку скалярних і матричних інтервальних рівнянь.*

- Лінійне інтервальне рівняння. Застосування функції Ратшека щоб дати відповідь на питання, чи має рівняння розв'язок. Поняття розв'язку: алгебраїчний розв'язок, об'єднаний розв'язок, керований розв'язок, допустимий розв'язок. Зв'язок між розв'язками та їх властивості. Результати, отримані Rohn: властивості множини розв'язків, обчислення оболонки набору рішень є NP-складною проблемою, знаходження розширення розв'язків. The Hansen-Blik-Rohnen closure algorithm для знаходження розширення розв'язків. Порівняння методів розв'язку інтервальних рівнянь, отриманих різними авторами.
- Методи розв'язку інтервального квадратного рівняння. Приклад – знаходження траєкторії руху точки за гравітацією.
- Означення інтервальної матриці. Арифметичні операції з інтервальними матрицями: сума, різниця, добуток. Поняття ширини, середини, радіусу інтервальної матриці. Відстань між інтервальними матрицями та їх перетин. Норма інтервальної матриці. Особлива інтервальна матриця. Результати, отримані Rohn.
- Розв'язок лінійного інтервального матричного рівняння. Інтервальний алгоритм Гаусса.

#### *Тема 3. Стійкість інтервальних поліномів та матриць.*

- Означення інтервального полінома. Стійкість інтервальних поліномів. Теорема Харітонова, Soh.
- Теорема про границі спектру інтервальних матриць (Теорема Гантмахера, Horn, Hollot and Bartlett, Mori and Kokame, Hertz, Rohn, Franze).
- Теорема про стійкість інтервальних матриць (Теорема Rohn, Fu, Barmish, Wang, Soh). Випадок, коли інтервальна матриця є симетричною (Теорема Hertz, Soh). Знаходження спільної квадратичної функції Ляпунова для інтервальної матриці (теорема Barmish and Demarco). Дослідження на стійкість інтервальної матриці є NP складною задачею.

- Знаходження власних чисел інтервальної матриці.

## Розділ 2. Нечітка логіка.

### Тема 4. Основи нечіткої логіки.

- Історичні відомості про нечіткі множини
- Основні поняття теорії нечітких множин
- Математичні моделі функції належності нечітких чисел
- Нечіткі множини і операції над ними: рівність, нечітке включення, об'єднання, перетин, доповнення, різниця, симетрична різниця.
- Приклади: вік людини у нечіткій логіці, задача про визначення швидкості руху автомобіля в залежності від погодних умов
  - Модуль управління пральною машиною з використанням нечіткої логіки
  - Принцип узагальнення Заде
  - Методи fuzzification та defuzzification
  - Нечіткі операції: база правил if-then
  - Основні алгоритми нечіткого виводу: підходи Mamdani, Tsukamoto, Larsen, Sugeno
    - Переваги та недоліки FuzzyLogicControl, приклади
    - Застосування нечіткої логіки у автомобільній, космічній, медичній, транспортній промисловості, економічній сфері, сфері захисту

## 3. Структура навчальної дисципліни

Назви модулів і тем	Кількість годин					
	Денна форма					
	Усього	у тому числі				
		л	п	лаб	інд	ср
1	2	3	4	5	6	7
<b>Розділ 1. Інтервальный аналіз.</b>						
Тема 1. Інтервальна арифметика Каухера.	22	6	6			10
Тема 2. Методи розв'язку скалярних і матричних інтервальних рівнянь.	34	10	8			16
Тема 3. Стійкість інтервальних поліномів та матриць.	30	6	8			16
<b>Разом за розділом 1</b>	<b>86</b>	<b>22</b>	<b>22</b>			<b>42</b>
<b>Розділ 2. Нечітка логіка.</b>						
Тема 4. Основи нечіткої логіки.	30	10	6			14
<b>Разом за розділом 2</b>	<b>30</b>	<b>10</b>	<b>6</b>			<b>14</b>
<i>Контрольна робота</i>	4		4			
<b>Разом за семестр</b>	<b>120</b>	<b>32</b>	<b>32</b>			<b>56</b>
<b>Усього годин</b>	<b>120</b>	<b>32</b>	<b>32</b>			<b>56</b>

## 4. Теми семінарських (практичних, лабораторних) занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Арифметичні операції з інтервалами: сума, різниця, добуток, ділення.	3
2	Метрики інтервалів – відстань між двома інтервалами, абсолютна величина інтервалу, ширина та середина інтервалу.	3
3	Знаходження алгебраїчного розв'язку, об'єднаного розв'язку, керованого розв'язку, допустимого розв'язку лінійного інтервального рівняння.	2
4	TheHansen-Bliek-Rohnenclosurealgorithm для знаходження розширення розв'язків.	2
5	Методи розв'язку інтервального квадратного рівняння.	2
6	Арифметичні операції з інтервальними матрицями: сума, різниця, добуток. Поняття ширини, середини, радіусу інтервальної матриці. Відстань між інтервальними матрицями та їх перетин.	2
7	Дослідження на стійкість інтервальних поліномів	3
8	Теореми про границі спектру інтервальних матриць	3
9	Дослідження на стійкість інтервальної матриці(Теореми Rohn,Fu, Barmish, Wang, Soh). Випадок, коли інтервальна матриця є симетричною (Теореми Hertz, Soh).	2
10	Математичні моделі функції належності нечітких чисел	2
11	Нечіткі множини і операції над ними: рівність, нечітке включення, об'єднання, перетин, доповнення, різниця, симетрична різниця.	2
12	Приклади: вік людини у нечіткій логіці, задача про визначення швидкості руху автомобіля в залежності від погодніх умов	2
13	<i>Написання та захист контрольної роботи</i>	4
	<b>Разом</b>	<b>32</b>

### 5. Завдання для самостійної робота

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	Ознайомлення з літературою і виконання домашніх завдань на тему «Арифметичні дії з інтервальними числами. Таблиця Келі для операції інтервального множення. Комутативність напівгрупи інтервальної арифметики відносно операцій складання та множення. Вклад Каухера у розвиток інтервальної арифметики».	6
2	Застосування методів інтервальної арифметики до розв'язку прикладних математичних, фізичних та економічних задач.	4
3	Ознайомлення з результатами, отриманими Rohn: властивості множини розв'язків, обчислення оболонки набору рішень є NP-складною проблемою, знаходження розширення розв'язків. Порівняння методів розв'язку інтервальних рівнянь, отриманих різними авторами.	4
4	Ознайомлення з методами розв'язку інтервального квадратного рівняння. Приклад – знаходження траєкторії руху точки за гравітацією.	4
5	Ознайомлення з поняттям норми інтервальної матриці. Особлива інтервальна матриця. Результати, отримані Rohn.	4
6	Ознайомлення з методами розв'язку лінійного інтервального	4

	матричного рівняння. Інтервальний алгоритм Гаусса.	
7	Ознайомлення з поняттям стійкості інтервальних поліномів. Теорема Харітонова, Soh.	4
8	Ознайомлення з теоремами про границі спектру інтервальних матриць (Теорема Mori and Kokame, Hertz, Rohn, Franze).	4
9	Знаходження спільної квадратичної функції Ляпунова для інтервальної матриці (теорема Barmish and Demarco). Дослідження на стійкість інтервальної матриці є NP складною задачею.	4
10	Знаходження власних чисел інтервальної матриці.	4
11	Ознайомлення з модулем управління пральною машиною з використанням нечіткої логіки	2
12	Ознайомлення з принципом узагальнення Заде.	3
13	Ознайомлення з нечіткими операціями: база правил if-then	3
14	Ознайомлення з перевагами та недоліками FuzzyLogicControl, прикладами	3
15	Застосування нечіткої логіки у автомобільній, космічній, медичній, транспортній промисловості, економічній сфері, сфері захисту	3
	<b>Разом</b>	<b>56</b>

### 6. Індивідуальні завдання

Не передбачені робочим планом

### 7. Методи навчання

Пояснювально-ілюстративний (лекції і практичні заняття), репродуктивний (виконання домашніх завдань), дослідницький (самостійна робота) і частково-пошуковий (контрольна робота) методи.

### 8. Методи контролю

- Перевірка домашніх робіт
- Перевірка контрольної роботи
- Контроль на практичних заняттях
- Контроль на лекціях
- Проведення іспиту

### 9. Схема нарахування балів

#### Приклад для підсумкового семестрового контролю при проведенні семестрового екзамену або залікової роботи

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання				Екзамен	Сума
Розділ 1	Розділ 2	Контрольна робота, передбачена навчальним планом	Разом		
7	7	46	60	40	100

Для допуску до складання підсумкового контролю (заліку) здобувач вищої освіти повинен набрати не менше 10 балів з навчальної дисципліни під час поточного контролю, самостійної роботи.

### Критерії оцінювання навчальних досягнень

**Контрольна робота** оцінюється у 46 балів. Робота складається з 4 практичних задач. У разі правильно обґрунтованої відповіді студент отримує за завдання бали; якщо у відповіді є помилки, бал не зараховується.

Зміст контрольної роботи:

1. Оцінити за числом Ратшек існування розв'язку лінійного інтервального рівняння. Знайти його алгебраїчний розв'язок. Застосувати the Hansen-Blik-Rohn enclosure algorithm для знаходження розширення розв'язків.
2. Перевірити, чи є заданий інтервальный поліном стійким. Побудувати 4 полінома Харітонова і 2 полінома Соха і для них перевірити стійкість за допомогою критерія Гурвіця.
3. Перевірити, чи є задана інтервальна матриця стійкою за допомогою теорем Wang, Rohn, Fu. За допомогою теореми Rohn знайти границі спектру інтервальної матриці.
4. Для заданих двох множин А та В з трапеційними функціями належності визначити результати виконання таких операцій: доповнення, включення, рівність, об'єднання, перетин, різниця.

Критерії оцінки по першому завданню.

7-10 - розв'язок знайдено, існування досліджено, алгоритм застосовано, можливі невеликі помилки

3-6 – або існування не досліджено, або розв'язок не знайдено, the Hansen-Blik-Rohn enclosure algorithm застосований частково або не застосований взагалі

0-3 – знайдено тільки 1 пункт із питань.

Критерії оцінки по другому завданню.

9-12 – для інтервального поліному перевірено всі критерії стійкості, можливі невеликі помилки

4-8 – задача розв'язана наполовину, тобто побудовано або поліноми Харітонова і досліджено їх на стійкість, або поліноми Соха і досліджено їх на стійкість.

0-3 – розв'язано менше половини, тобто не доведено до кінця дослідження однієї з 2 задач, а 2 зовсім немає

Критерії оцінки по третьому завданню.

9-12 – для інтервальної матриці перевірено всі критерії стійкості і знайдено границі спектру, можливі невеликі помилки

4-8 – задача розв'язана наполовину, тобто інтервальну матрицю перевірено на стійкість знайдено границі спектру

0-3 – розв'язано менше половини, тобто не доведено до кінця дослідження однієї з 2 задач, а 2 зовсім немає

Критерії оцінки по четвертому завданню.

9-12 – задача розв'язана до кінця, всі операції знайдені, можливі невеликі помилки

4-8 – задача розв’язана наполовину, тобто розв’язано вірно тільки половина запропонованих операцій

0-3 – розв’язано менше половини

**Екзаменаційна робота** складається з трьох завдань і передбачає письмову відповідь на два теоретичних питання зі списку, який надається студентам заздалегідь, а також розв’язання практичної задачі.

Кожне теоретичне завдання оцінюється максимально 15 балами, задача – 10 балами.

По кожному завданню залікової роботи нараховується:

- максимальний бал у разі правильно обґрунтованої відповіді;
- за незначні помилки оцінка зменшується від 10 до 30 відсотків;
- за значні логічні помилки оцінка зменшується до 50 відсотків, якщо хід міркувань в цілому правильний;
- якщо відповідь не відповідає жодному з критеріїв – виставляється 0 балів.

### Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка
90 – 100	відмінно
70-89	добре
50-69	задовільно
1-49	незадовільно

## 10. Рекомендована література

### Основна література

1. Дивак М. П. Задачі математичного моделювання статичних систем з інтервальними даними. Тернопіль: Економічна думка ТНЕУ, 2011. 216 с.  
[https://library.wunu.edu.ua/images/stories/praci\\_vukladachiv/%d0%a4%d0%b0%d0%ba%d1%83%d0%bb%d1%8c%d1%82%d0%b5%d1%82%20%d0%9a%d0%86%d0%a2/%d0%9a%d0%9a%d0%9d/Dyvak%20M.P/book/%d0%bc%d0%be%d0%bd%d0%be%d0%b3%d1%80%d0%b0%d1%84%d1%96%d1%8f\\_24.03.pdf](https://library.wunu.edu.ua/images/stories/praci_vukladachiv/%d0%a4%d0%b0%d0%ba%d1%83%d0%bb%d1%8c%d1%82%d0%b5%d1%82%20%d0%9a%d0%86%d0%a2/%d0%9a%d0%9a%d0%9d/Dyvak%20M.P/book/%d0%bc%d0%be%d0%bd%d0%be%d0%b3%d1%80%d0%b0%d1%84%d1%96%d1%8f_24.03.pdf)
2. Дубницький В. Ю., Кобилін А. М., Кобилін О. А. Виконання на мобільних пристроях арифметичних операцій з використанням аксіом класичного та нестандартного інтервального аналізу // Сучасні інформаційні системи. 2021, 5(3), с. 128-136.  
<https://repository.kpi.kharkov.ua/items/f03a8501-3c1f-4f53-a974-f719b74971dd>
3. Жуковська О. А. Основи інтервального аналізу: навч. посіб //К.: Освіта України, 2009.–136 с. – 2009.
4. Конспект лекцій з дисципліни "Нечіткі множини" для підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня магістр за спеціальністю 122 – Комп’ютерні науки [Електронне видання] / Упоряд. К.Е. Петров. – Харків: ХНУРЕ, 2018 – 128 с.
5. Нечітка логіка: алгоритми прийняття рішень [Електронний ресурс]: комп’ютерний практикум: навч. посіб. для здобувачів ступеня магістра рівня за освіт. програмою «Інженерія програмного забезпечення інтелектуальних кібер-фізичних систем в

- енергетиці» спец. 121 «Інженерія програмного забезпечення» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: А.А.Верлань. – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 33 с..
6. Співак І. Я., Крепич С. Я. Прикладні аспекти інтервальних обчислень. – 2019. – 149 с. <https://api.dspace.wunu.edu.ua/api/core/bitstreams/abac2fdd-6c3c-413f-8a89-3286c9081d28/content>
  7. Moore R. E., Baker Kearfott R., Michael J. Cloud. Introduction to interval analysis. Society for Industrial and Applied Mathematics, 2009. 223 p.
  8. Rohn J. A handbook of results on interval linear problems. Czech Academy of Sciences, Prague, 2005, 80 p.
  9. Shalaby M. A. The interval eigenvalue problem. // European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering, Barcelona, 11-14 September 2000
  10. Zadeh Lotfi A. Fuzzy logic. Computer, 1988, 21(4), pp. 83-93.

#### Допоміжна література

1. Кондратенко Ю. П. Нечіткі множини та нечітка логіка. Методичні рекомендації та вказівки для виконання лабораторних робіт студентами спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» / Ю. П. Кондратенко, Г. В. Кондратенко, Є. В. Сіденко ; під ред. д-р техн. наук, професор Ю. П. Кондратенка. – Миколаїв : ЧНУ ім. Петра Могили, 2019. – 36 с. (Методична серія ; вип.267).
2. Міца О. В., Лавер В. О. Системний аналіз: навч.-метод. посіб. – Ужгород, 2021, 63 с.
3. Потаніна Т. В., Єфімов О. В.. "Застосування методів інтервального аналізу для визначення експлуатаційних характеристик енергоблоків АЕС." Вісник Національного технічного університету" ХПІ". Серія:" Гідравлічні машини та гідроагрегати", 2019, 2, с. 77-81.
4. Derroncourt F. Introduction to fuzzy logic. Massachusetts Institute of Technology, 2013, 21, 50 p.
5. Hansen E. ed. Topics in interval analysis. Oxford: Clarendon Press, 1969.
6. Hellmann M. Fuzzy logic introduction. Université de Rennes, 2001, 1(1).
7. Horn R. A., Johnson C. R. Matrix analysis. Cambridge university press, 2012.
8. Jaulin L., Kieffer M., Didrit O., Walter E. Applied Interval Analysis. London: Springer Verlag Limited, 2001. 379 p.
9. Kaucher E. Interval analysis in the extended interval space IR // Fundamentals of Numerical Computation (Computer-Oriented Numerical Analysis), 1980, pp. 33-49.
10. Wang K., Michel A. N., Liu D. Necessary and sufficient conditions for the Hurwitz and Schur stability of interval matrices// IEEE Transactions on Automatic Control, 1994, 39(6), pp. 1251-1255.