



Стаціонарні випадкові процеси

Робоча програма навчальної дисципліни «Стаціонарні випадкові процеси» (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	12 Інформаційні технології
Спеціальність	124 Системний аналіз, 122 Комп'ютерні науки
Освітня програма	«Системний аналіз і управління» «Системи штучного інтелекту», «Комп'ютерні науки та інформаційні технології»
Статус дисципліни	Вибіркова (ПВ)
Форма навчання	Очна (денна)/дистанційна
Рік підготовки, семестр	4 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	120 годин (36 години – лекції, 18 годин – практичні, 66 годин – СРС)
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Диф. залік / модульна контрольна робота
Розклад занять	http://rozklad.kpi.ua/Schedules/ScheduleGroupSelection.aspx
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: канд. фіз.-мат. наук, доцент Ільєнко Андрій Борисович an.ilienko@gmail.com Практичні: канд. фіз.-мат. наук, доцент Ільєнко Андрій Борисович an.ilienko@gmail.com
Розміщення курсу	https://campus.kpi.ua

Програма навчальної дисципліни

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

Цілі дисципліни	<p>Метою навчальної дисципліни є формування у студентів здатностей:</p> <ul style="list-style-type: none"> – до виділення основних факторів, що впливають на перебіг конкретного явища або процесу (фізичного, економічного, соціального тощо); – до виокремлення з них детермінованих факторів, що мають досліджуватися методами «нестохастичної» математики (математичний аналіз, теорія диференціальних рівнянь, математична фізика тощо), статичних стохастичних факторів, які є предметом вивчення теорії ймовірностей, та динамічних стохастичних факторів, що підлягають дослідженню засобами теорії випадкових процесів; – до формалізації динамічних стохастичних факторів у вигляді випадкових процесів певних класів; – до вивчення їх властивостей на основі апарату теорії випадкових процесів.
Предмет навчальної дисципліни	<p>L_2 -аналіз випадкових процесів, стаціонарні процеси, умовні середні відносно σ-алгебр, ланцюги Маркова в неперервному часі, елементи теорії масового обслуговування.</p>
Компетентності	<p>Здатність абстрактно мислити, застосовувати методи аналізу і синтезу (ЗК3); Здатність генерувати нові ідеї (креативність) (ЗК11); Здатність формалізувати проблеми, описані природною мовою, у тому числі за допомогою математичних методів, застосовувати загальні підходи до математичного моделювання конкретних процесів (ФК2); Здатність будувати математично коректні моделі статичних та динамічних процесів і систем із зосередженими та розподіленими параметрами із врахуванням невизначеності зовнішніх та внутрішніх факторів (ФК3); Здатність визначати основні чинники, які впливають на розвиток фізичних, економічних, соціальних процесів, відокремлювати в них стохастичні та невизначені показники, формулювати їх у вигляді випадкових або нечітких величин, векторів, процесів та досліджувати залежність між ними (ФК4).</p>
Програмні результати навчання	<p>Вміти визначати ймовірнісні розподіли стохастичних показників та факторів, що впливають на характеристики досліджуваних процесів, досліджувати властивості та знаходити характеристики багатовимірних випадкових векторів та використовувати їх для розв'язання прикладних задач, формалізувати стохастичні показники та фактори у вигляді випадкових величин, векторів, процесів (РН03). Знати</p> <ul style="list-style-type: none"> – основні означення та факти, пов'язані з диференціюванням та інтегруванням випадкових процесів (середньоквадратичні неперервність, диференційовність та інтегровність випадкових процесів із скінченним другим моментом, інтеграл Вінера за процесом з ортогональними приростами);

- основні означення, факти та методи теорії стаціонарних у широкому сенсі процесів (стаціонарні процеси в дискретному та неперервному часі, кореляційна функція, спектральна міра, спектральна щільність та їх властивості, теореми Герглота та Бохнера-Хінчина, теорема Крамера про зображення процесу інтегралом Вінера, закон великих чисел для стаціонарних процесів, лінійні перетворення стаціонарних процесів, задача інтерполяції);
- основні означення та факти, пов'язані з умовними середніми відносно σ -алгебр (умовне математичне сподівання відносно σ -алгебри, теорема існування та м.н.-єдиності, властивості умовного математичного сподівання, умовне математичне сподівання відносно випадкової величини/вектора, його обчислення в дискретному та абсолютно неперервному випадках, елементи теорії мартингалів, мартингальне доведення нерівності Крамера-Лундберга);
- основні означення та факти елементарної теорії ланцюгів Маркова в неперервному часі (загальний та однорідний ланцюг Маркова, матриці перехідних ймовірностей та їх напівгрупова властивість, генератор напівгрупи, ймовірнісний сенс його елементів та структура траєкторій однорідного ланцюга Маркова, ергодична теорема, пряма та зворотна системи рівнянь Колмогорова, процеси розмноження та загибелі, теорема Феллера про вибух для процесу чистого розмноження), а також елементів теорії масового обслуговування.

Вміти

- досліджувати випадкові процеси із скінченим другим моментом на середньоквадратичній неперервності, диференційовності та інтегровності, знаходити кореляційні характеристики похідних та інтегралів від таких процесів, а також кореляційні характеристики процесів, заданих інтегралами Вінера;
- досліджувати випадкові процеси в дискретному та неперервному часі на стаціонарність у вузькому та широкому сенсах, знаходити їх кореляційні функції, спектральні міри, спектральні щільності, а також відповідні характеристики їх лінійних перетворень, розв'язувати задачу інтерполяції для стаціонарних процесів з дискретним часом;
- знаходити умовні математичні сподівання відносно σ -алгебр та випадкових величин, використовувати техніку зумовлення (conditioning) для знаходження безумовних математичних сподівань, застосовувати мартингальні методи для розв'язання деяких задач теорії ймовірностей та теорії випадкових процесів;
- знаходити матриці генераторів однорідних ланцюгів Маркова з неперервним часом та скінченим фазовим простором, записувати та розв'язувати прямі та зворотні системи рівнянь Колмогорова, обчислювати ймовірнісні характеристики найпростіших систем

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

Вивчення дисципліни «Стаціонарні випадкові процеси» вимагає від студентів комплексу знань, вмінь на навичок, отриманих при вивченні дисциплін «Теорія ймовірностей» (ПО6), «Математична статистика» (ПО24), «Математичний аналіз» (ПО1), «Алгебра і геометрія» (ПО2), «Функціональний аналіз» (ПО8) «Теорія випадкових процесів», та передусє і забезпечує наступні навчальні дисципліни у програмі підготовки фахівця: «Теорія керування» (ПО15), «Основи системного аналізу» (ПО17), «Аналіз часових рядів», та інші вибіркові дисципліни.

3. Зміст навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин			
	Всього	у тому числі		
		Лекції	Практичні	СРС
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<i>Розділ 1. Неперервність, диференціювання та інтегрування випадкових процесів.</i>				
<i>Тема 1.1. Елементи L^2-аналіза (середньоквадратичні неперервність, диференціювання та інтегрування випадкових процесів із скінченним другим моментом).</i>	10	4	2	4
<i>Тема 1.2. Інтеграл за процесом з ортогональними приростами.</i>	8	2	2	4
Разом за розділом 1	18	6	4	8
<i>Розділ 2. Стаціонарні процеси в дискретному та неперервному часі.</i>				
<i>Тема 2.1. Стаціонарні процеси та їх спектральні характеристики.</i>	10	4	2	4
<i>Тема 2.2. Спектральний розклад стаціонарного процесу та його застосування.</i>	14	6	4	4
<i>Контрольна робота з розділів 1 та 2</i>	2		2	
Разом за розділом 2	26	10	8	8
<i>Розділ 3. Умовні математичні сподівання відносно σ-алгебр.</i>				
<i>Тема 3.1. Означення та властивості умовних середніх.</i>	10	4	1	5
<i>Тема 3.2. Елементи теорії мартингалів.</i>	10	4	1	5
Разом за розділом 3	20	8	2	10
<i>Розділ 4. Елементи теорії ланцюгів Маркова з неперервним часом та теорії масового обслуговування.</i>				
<i>Тема 4.1. Ланцюги Маркова з неперервним часом, їх характеристики та властивості.</i>	15	8	2	5
<i>Тема 4.2. Елементи теорії масового обслуговування.</i>	11	4	2	5
Разом за розділом 4.	26	12	4	10
<i>Диф. залік.</i>	30			30
Всього годин	120	36	18	66

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова:

1. Мішура Ю.С., Ральченко К.В., Сахно Л.М., Шевченко Г.М. Випадкові процеси: теорія, статистика, застосування. - ВПЦ "Київський університет", 2018. - 480 с.
2. Grimmett G., Stirzaker D. One thousand exercises in probability. - Oxford University Press, 2020. - 580 p.
3. Grimmett G., Stirzaker D. Probability and random processes. - Oxford University Press, 2020. - 669 p.
4. Gusak D., Kukush A., Kulik A., Mishura Yu., Pilipenko A. Theory of stochastic processes with applications to financial mathematics and risk theory. – Springer, 2010. – 374 p.
5. Shiryaev A. Probability-1. - Springer, 2016. - 486 p.

Додаткова:

6. Suhov Yu., Kelbert M. Probability and statistics by example. Markov chains: a primer in random processes and their applications. - Cambridge University Press, 2008. - 487 p.
7. Mikosch T. Non-life insurance mathematics: an introduction with the Poisson process. – Springer, 2009. – 432 p.
8. Durrett R. Essentials of stochastic processes. – Springer, 2012. – 266 p.
9. Durrett R. Probability: theory and examples. – Cambridge University Press, 2010. – 438 p.
10. Kallenberg O. Foundations of modern probability. – Springer, 2021. – 946 p.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

№	Тема лекції та перелік основних питань
1	Середньоквадратичні неперервність та диференційовність випадкових процесів. Вводяться означення середньоквадратичної неперервності та диференційовності випадкового процесу із скінченним другим моментом. Встановлюються необхідні та/або достатні умови неперервності та диференційовності, а також знаходяться числові характеристики похідної. <i>Рекомендована література: [1], §6.1, [4], розділ 4.</i>
2	Середньоквадратична інтегровність випадкових процесів. Вводиться означення середньоквадратичної інтегровності випадкового процесу із скінченним другим моментом. Встановлюються необхідні та достатні умови інтегровності, а також знаходяться числові характеристики інтегралу. <i>Рекомендована література: [4], розділ 4.</i>
3	Інтеграл за процесом з ортогональними приростами. Розглядається побудова інтегралу Вінера (інтегралу від не випадкової функції за процесом з ортогональними приростами) як ізометричного вкладення гільбертового простору $L_2(T, dF)$ квадратично інтегровних функцій у гільбертів простір $L_2(\Omega, dP)$ випадкових величин із скінченним другим моментом. Знаходяться числові характеристики такого інтегралу. <i>Рекомендована література: [1], §8.3, [3], §9.4.</i>
4	Стаціонарні процеси. Основні означення та приклади. Вводиться означення стаціонарного у вузькому та широкому сенсі випадкового процесу з дискретним та

	<p>неперервним часом. Наводяться приклади таких процесів (білий шум, процеси ковзного середнього та авторегресії, телеграфний сигнал, процес Орнштейна-Уленбека).</p> <p><i>Рекомендована література: [1], §8.1, §8.11, [3], §9.1, §9.3.</i></p>
5	<p>Спектральні характеристики стаціонарних процесів. Вводяться поняття спектральної міри та спектральної щільності стаціонарного у широкому сенсі процесу, доводиться теорема Герглотца про існування спектральної міри процесу з дискретним часом і формулюється теорема Бохнера-Хінчіна про існування спектральної міри процесу з неперервним часом. Обговорюються методи знаходження спектральних щільностей.</p> <p><i>Рекомендована література: [1], §8.2, [3], §9.3.</i></p>
6	<p>Спектральний розклад стаціонарного процесу. Наводиться теорема Крамера про спектральне зображення стаціонарного в широкому сенсі випадкового процесу у вигляді інтегралу за процесом з ортогональними приростами (з доведенням для процесів з дискретним часом).</p> <p><i>Рекомендована література: [1], §8.5, [3], §9.4.</i></p>
7	<p>Лінійні фільтри стаціонарних процесів. Вводиться поняття лінійного фільтру, розглядаються його характеристики (імпульсна перехідна функція, частотна характеристика) та зв'язки між ними. Досліджується перетворення спектральної міри та спектральної щільності процесу під дією лінійного фільтру.</p> <p><i>Рекомендована література: [4], розділ 8.</i></p>
8	<p>Інтерполяція стаціонарних процесів. Формулюється та розв'язується задача лінійної інтерполяції пропущеного значення стаціонарного процесу з дискретним часом.</p> <p><i>Рекомендована література: [3], §9.2, [4], розділ 9.</i></p>
9	<p>Означення та властивості умовних середніх відносно σ-алгебр. Вводиться поняття умовного математичного сподівання інтегрованої випадкової величини відносно σ-алгебри. Доводиться теорема про його існування та м.н.-єдиність. Розглядаються властивості умовного математичного сподівання, зокрема його інтерпретація як ортогонального проєктора на лінійний підпростір вимірних відносно σ-алгебри випадкових величин, а також його застосування в техніці зумовлення (conditioning).</p> <p><i>Рекомендована література: [5], §2.7.</i></p>
10	<p>Умовні середні відносно випадкових величин/векторів. Вводиться означення умовного математичного сподівання відносно випадкової величини/вектору, наводиться його інтерпретація як оптимальної середньоквадратичної нелінійної оцінки та встановлюються формули для його обчислення в дискретному та абсолютно неперервному випадках.</p> <p><i>Рекомендована література: [5], §2.7.</i></p>
11	<p>Мартингали: основні означення та приклади. Вводяться означення мартингала, субмартингала та супермартингала відносно потоку σ-алгебр, наводяться властивості мартингалів та їх приклади в дискретному та неперервному часі (випадкове блукання, відношення вірогідності, вінерівський процес тощо). Вводиться поняття моменту зупинки та обговорюється його ймовірнісний сенс.</p> <p><i>Рекомендована література: [5], §1.11.</i></p>
12	<p>Теорема про вільний вибір та її застосування. Встановлюється теорема Дуба про вільний вибір та розглядаються різні формулювання достатніх умов у цій теоремі. В якості прикладу застосування наводиться мартингальне доведення нерівності Крамера-Лундберга.</p> <p><i>Рекомендована література: [5], §1.11, §7.10.</i></p>
13	<p>Ланцюги Маркова з неперервним часом та їх характеристики. Наводяться означення загального та однорідного ланцюга Маркова з неперервним часом. Вводиться сім'я матриць перехідних ймовірностей однорідного ланцюга і встановлюється їх напівгрупова властивість.</p> <p><i>Рекомендована література: [3], §6.9, [6], §2.2.</i></p>
14	<p>Генератори марківських напівгруп та їх властивості. Вводиться поняття генератора марківської напівгрупи, розглядаються його вигляд, властивості та ймовірнісний сенс його елементів. Обговорюється загальна структура траєкторій ланцюга Маркова з</p>

	неперервним часом. <i>Рекомендована література: [3], §6.10, [6], §2.1.</i>
15	Властивості перехідних ймовірностей ланцюгів Маркова з неперервним часом. Доводиться ергодична теорема в неперервному часі. Розглядаються пряма та зворотна системи рівнянь Колмогорова для перехідних ймовірностей та їх розв'язання. <i>Рекомендована література: [6], §2.8.</i>
16	Процеси розмноження та загибелі. Вводяться процеси розмноження та загибелі, доводиться теорема Феллера про вибух для процесу чистого розмноження. <i>Рекомендована література: [3], §6.11, [6], §2.5.</i>
17	Системи масового обслуговування. Дається означення системи масового обслуговування та наводиться система позначень Кендалла. Для системи $M/M/m/n$ (пуассонівський вхідний потік вимог, експоненціально розподілений час обслуговування, m серверів, n місць в системі) записуються матриця генератора та система рівнянь Колмогорова. <i>Рекомендована література: [6], §2.9.</i>
18	Характеристики систем масового обслуговування в стаціонарному режимі. Для системи $M/M/m/n$ знаходяться стаціонарний розподіл, середній час очікування та середня довжина черги в стаціонарному режимі. Огляд курсу. <i>Рекомендована література: [6], §2.9.</i>

Практичні заняття

№	Зміст практичного заняття
1	Дослідження випадкових процесів із скінченим другим моментом на середньоквадратичні неперервність, диференційовність та інтегровність, знаходження кореляційних характеристик похідних та інтегралів від таких процесів. <i>Завдання на СРС: [4], розділ 4.</i>
2	Знаходження кореляційних характеристик випадкових процесів, заданих інтегралами Вінера. <i>Завдання на СРС: [2], §9.4, [4], розділ 8.</i>
3	Дослідження випадкових процесів в дискретному та неперервному часі на стаціонарність у вузькому та широкому сенсах, знаходження їх кореляційних функцій, спектральних мір та спектральних щільностей. <i>Завдання на СРС: [2], §9.1, [4], розділ 8.</i>
4	Знаходження кореляційних функцій, спектральних мір та спектральних щільностей лінійних перетворень стаціонарних процесів. <i>Завдання на СРС: [2], §9.3, [4], розділ 8.</i>
5	Розв'язання задачі інтерполяції для стаціонарних процесів з дискретним часом. <i>Завдання на СРС: [2], §9.2, [4], розділ 9.</i>
6	МКР. «Диференціювання та інтегрування випадкових процесів, стаціонарні процеси».
7	Знаходження умовних математичних сподівань відносно σ -алгебр та випадкових величин, застосування техніки зумовлення (conditioning) для знаходження безумовних математичних сподівань в різних задачах теорії ймовірностей та теорії випадкових процесів. Використання мартингальних методів для розв'язання різних задач теорії ймовірностей та теорії випадкових процесів. <i>Завдання на СРС: [5], §2.7, §1.11 – задачі після параграфів.</i>
8	Знаходження матриць генераторів однорідних ланцюгів Маркова з неперервним часом та скінченим фазовим простором, складання та розв'язання прямих та зворотних систем рівнянь Колмогорова. <i>Завдання на СРС: [2], §6.9 - §6.11, [4], розділ 10.</i>
9	Обчислення ймовірнісних характеристик найпростіших систем масового обслуговування. <i>Завдання на СРС: [4], розділ 11.</i>
10	Додаткове заняття (проводиться на заліковому тижні). Диференційований залік.

6. Самостійна робота здобувача вищої освіти

Питання, що виносяться на самостійне опрацювання, визначаються кожним лектором окремо для кожного розділу і, як правило, є поглибленням основного лекційного матеріалу.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Рекомендовані методи навчання: вивчення основної та допоміжної літератури за тематикою лекцій, розв'язування задач на практичних заняттях та при виконанні домашніх робіт.

Студенту рекомендується вести докладний конспект лекцій. Важливим аспектом якісного засвоєння матеріалу, відпрацювання методів та алгоритмів вирішення основних завдань дисципліни є самостійна робота. Вона містить читання літератури, огляд літератури за темою, підготовку до занять, підготовку до МКР та іспиту.

Академічна доброчесність

Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>

Норми етичної поведінки

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше див. за посиланням <https://kpi.ua/code>

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

Розподіл навчального часу за видами занять і завдань з дисципліни згідно з робочим навчальним планом.

Семестр	Навч. час		Розподіл навчальних годин			Контрольні заходи		
	Кредити	Акад. год.	Лекції	Практичні	СРС	МКР	ДКР	Семестр. атест.
7	4	120	36	18	66	1	0	диф. залік

На першому занятті здобувачі ознайомлюються із рейтинговою системою оцінювання (PCO) дисципліни, яка побудована на основі Положення про систему оцінювання результатів навчання https://document.kpi.ua/files/2020_1-273.pdf.

Поточний контроль: фронтальний (усний, письмовий), МКР.

Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу, результати якого відображаються в системі Електронний кампус <https://campus.kpi.ua>.

Рейтинг студента з кредитного модуля розраховується виходячи із 100-бальної шкали складається з балів, які він отримує за:

- модульну контрольну роботу;
- відповіді на практичних заняттях;
- відповідь на диф. заліку.

Модульна контрольна робота

Модульна контрольна робота проводиться з теми «Диференціювання та інтегрування випадкових процесів, стаціонарні процеси» та оцінюється в 25 балів. Контрольна робота складається з 5 задач. Ваговий бал кожної задачі – 5 балів. Роз’язок задачі оцінюється в 0-5 балів наступним чином:

- якщо задача повністю розв’язана, то студент отримує 5 балів;
- якщо відповідь правильна, але у розв’язку є неточності, то студент отримує 3 – 4 бали;
- якщо незадовільна відповідь, але наявні правильні фрагменти розв’язку, то студент отримує 1 – 2 бали.
- якщо метод розв’язування задачі неправильний, то студент отримує 0 балів.

Відповіді під час практичних занять

За умови гарної підготовки і активної роботи на практичному занятті – 3 бали. Максимальна сумарна кількість балів на всіх практичних заняттях дорівнює 25 балів.

Штрафні та заохочувальні бали за:

- невиконання домашніх робіт: – 1 бал (за кожне завдання);
- призові місця у факультетських та інститутських олімпіадах з вищої математики: + 3 бали.

Форма семестрового контролю – диф. залік

На заліку студент виконує письмову роботу. Кожний білет складається з 2 теоретичних питань та 3 практичних. Перелік теоретичних питань наведений у методичних рекомендаціях до кожного модуля, а також видається лектором на останньому занятті з дисципліни. Теоретичне питання оцінюється у 10 балів, практичне – у 10 балів.

Розрахунок шкали (R) рейтингу:

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає:

$$R_C = 25 + 25 = 50 \text{ балів.}$$

Залікова складова шкали дорівнює 50% від R, а саме

$$R_E = 50 \text{ балів.}$$

Таким чином, рейтингова шкала з дисципліни складає

$$R = R_C + R_E = 100 \text{ балів.}$$

Розмір шкали рейтингу $R=100$ балів.

Розмір стартової шкали $R_C= 50$ балів.

Розмір екзаменаційної шкали $R_E=50$ балів.

Умови позитивної проміжної атестації

На першій атестації (8 тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше 50% можливих на даний момент балів.

На другій атестації (14 тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше 50% можливих на даний момент балів.

Умови допуску до диф. заліку

Необхідною умовою допуску до диф. заліку є стартовий рейтинг студента не менше 30 балів.

На заліку студент виконує письмову роботу. Кожний білет складається з 2 теоретичних питань та 3 практичних. Перелік теоретичних питань наведений у методичних рекомендаціях до

кожного модуля, а також видається лектором на останньому занятті з дисципліни. Теоретичне питання оцінюється у 10 балів, практичне – у 10 балів.

Система оцінювання теоретичних питань:

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 9-10 балів;
- «добре», достань повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), або незначні неточності – 7-8 балів;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) та деякі помилки – 5-6 балів;
- «незадовільно», незадовільна відповідь – 0-4 бали.

Система оцінювання практичних питань:

- «відмінно», повне безпомилкове розв'язування задачі – 10 балів;
- «добре», повне розв'язування задачі з несуттєвими неточностями – 8-9 балів;
- «задовільно», завдання виконане з певними недоліками – 5-7 балів;
- «незадовільно», незадовільна відповідь, неправильний метод розв'язування – 0-4 бали.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Рейтинг	Оцінка ECTS	Традиційна оцінка
95 - 100	A — відмінно	Відмінно
85 - 94	B — дуже добре	Добре
75 - 84	C — добре	
65 - 74	D — задовільно	Задовільно
60 - 64	E — достатньо	
менше 60 балів	FX — незадовільно	Незадовільно
менше 30 балів	F — не допущено	Не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

У випадку дистанційної форми навчання організація освітнього процесу здійснюється з застосуванням електронної пошти, Telegram, відео-конференцій в Zoom та освітньої платформи Moodle.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус)

склав: к.ф.-м.н., доцент кафедри МАтаТІЙ, Ільєнко Андрій Борисович

Ухвалено кафедрою ММСА (протокол № 13 від 05.06.2024)

Погоджено Методичною комісією НН ІПСА (протокол № 10 від 24.06.2024)