

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Львівський національний університет імені Івана Франка**  
**Механіко-математичний факультет**  
**Кафедра теорії функцій і функціонального аналізу**

**Затверджено**

На засіданні кафедри теорії функцій і  
функціонального аналізу  
механіко-математичного факультету  
Львівського національного  
університету імені Івана Франка  
(протокол №   1   від 25.08.2022 р.)



Завідувач кафедри Скасків О.Б.

**Силабус з навчальної дисципліни**  
**“ Теорія випадкових процесів та її застосування”,**  
**що викладається в межах ОПП “ Математика. Математична**  
**економіка та економетрія ”**  
**першого (бакалаврського) рівня вищої освіти для здобувачів з**  
**спеціальності 111 – математика**

**Львів 2022 р.**

<b>Назва дисципліни</b>	Теорія ймовірностей і математична статистика
<b>Адреса викладання дисципліни</b>	Головний корпус ЛНУ ім. І. Франка м. Львів, вул. Університетська 1
<b>Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна</b>	Механіко-математичний факультету Кафедра теорії функцій і функціонального аналізу
<b>Галузь знань, шифр та назва спеціальності</b>	11 – математика та статистика 112 – математика
<b>Викладачі дисципліни</b>	Скасків Олег Богданович, професор кафедри теорії функцій і функціонального аналізу
<b>Контактна інформація викладачів</b>	<a href="mailto:olskask@gmail.com">olskask@gmail.com</a> , <a href="mailto:oleh.skaskiv@lnu.edu.ua">oleh.skaskiv@lnu.edu.ua</a> Головний корпус ЛНУ ім. І. Франка, каб. 373. м. Львів, вул. Університетська, 1
<b>Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються</b>	Консультації в день проведення лекцій (за попередньою домовленістю).
<b>Сторінка курсу</b>	<a href="http://prima.lnu.edu.ua/faculty/mechmat/Departments/TFTJ/Web/Frameukr.htm">http://prima.lnu.edu.ua/faculty/mechmat/Departments/TFTJ/Web/Frameukr.htm</a>
<b>Інформація про дисципліну</b>	Теорія випадкових процесів завершує цикл ймовірнісних дисциплін - теорії ймовірностей та математичної статистики. Специфіка курсу випадкових процесів полягає в тому, що тут вивчаються випадкові явища, характеристики яких змінюються з часом. При моделюванні динамічних систем з випадковими збуреннями виникають дифузійні та марковські процеси, а в теорії сигналів – стаціонарні процеси. Дослідження цих нових об'єктів опирається на вже розроблений математичний апарат теорії ймовірностей, функціонального аналізу та теорії функцій комплексної змінної. Впродовж вивчення курсу студенти опановують методи роботи з математичними моделями випадкових явищ зі змінними ймовірнісними характеристиками; засвоюють основні математичні закони та поняття, що описують такі явища. Серед них різні варіанти ергодичної теореми, спектральний розклад стаціонарних процесів, рівняння Чепмена для перехідних ймовірностей процесу Маркова. Курс пов'язано з такими дисциплінами, як рівняння математичної фізики, загальна фізика, математична теорія кодування та іншими, де досліджуються змінні в часі математичні моделі. Теорія випадкових процесів є одним з центральних розділів теорії, яка знайшла і продовжують знаходити надзвичайно вагомий застосування як теоретичні, в різних розділах сучасної математики, так і суто практичні в моделюванні результатів дослідження різноманітних явищ, які вивчають сучасні фізика, хімія, біологія, соціологія, економічна теорія, психологія і т.п. Одним з найсучасніших застосувань теорії випадкових процесів є застосування в моделюванні інформаційних потоків в великих базах даних. Метою курсу теорії випадкових процесів є ознайомлення студента з основними відомостями з даної теорії та основними принципами її застосування в моделюванні результатів дослідження різноманітних явищ природи, в економіці і соціальних науках. Студент, який опанує цей курс, виявиться готовим до роботи із будь-якою спеціальною літературою з теорії випадкових процесів, суміжних спеціальностей і їхніх застосувань. Курс теорії випадкових

	процесів включає в себе відповідний практикум, що дає змогу студентам опанувати основні прийоми та методи теорії і набути необхідні навички для практичного застосування теоретичного матеріалу.
<b>Коротка анотація дисципліни</b>	Дисципліна “Теорія випадкових процесів та її застосування” є дисципліною вільного вибору студента, цикл професійної і практичної підготовки з спеціальності 111 – математика, спеціалізація математична економіка і економетрія, яка викладається в 6-му семестрі в обсязі 5-ох кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
<b>Мета та цілі дисципліни</b>	Мета вивчення дисципліни вільного вибору студента “Теорія випадкових процесів та її застосування ” – ознайомити студентів із основними поняттями і фактами з теорії випадкових процесів, що базується на основному курсі з теорії ймовірності і математичної статистики.
<b>Література для вивчення дисципліни</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pugachev V.S. Probability theory and mathematical statistics for engineers. Elsevier, 1984 <a href="https://www.sciencedirect.com/book/9780080291482/probability-theory-and-mathematical-statistics-for-engineers">https://www.sciencedirect.com/book/9780080291482/probability-theory-and-mathematical-statistics-for-engineers</a></li> <li>2. Siegrist K. Probability, Mathematical Statistics, Stochastic Processes. University of Alabama in Huntsville. LibreTexts, Statistics, 2022. <a href="https://stats.libretexts.org/Bookshelves/Probability_Theory/Probability_Mathematical_Statistics_and_Stochastic_Processes_(Siegrist)/02:_Probability_Spaces/2.10:_Stochastic_Processes">https://stats.libretexts.org/Bookshelves/Probability_Theory/Probability_Mathematical_Statistics_and_Stochastic_Processes_(Siegrist)/02:_Probability_Spaces/2.10:_Stochastic_Processes</a></li> <li>3. Ross Sheldon M. Stochastic Processes, 2nd ed. – Wiley, 1995. <a href="https://www.amazon.com/Stochastic-Processes-Sheldon-M-Ross/dp/0471120626">https://www.amazon.com/Stochastic-Processes-Sheldon-M-Ross/dp/0471120626</a></li> <li>4. Скасків О.Б. Теорія ймовірностей. Львів: Число, 2012.</li> <li>5. Бордуляк М.Т., Скасків О.Б., Сумик О.М., Чижиков І.Е. Теореми і задачі теорії ймовірностей. Львів: Число, 2013.</li> <li>6. Feller W. An introduction to probability theory and its applications, V. 1,2,3rd edición. Wiley , 2008. <a href="https://bitcoinwords.github.io/assets/papers/an-introduction-to-probability-theory-and-its-applications.pdf">https://bitcoinwords.github.io/assets/papers/an-introduction-to-probability-theory-and-its-applications.pdf</a></li> <li>7. Lucic V.M. <i>Exersises in stochastic analysis</i>. London: Macquarie, , November 16, 2020. <a href="https://www.researchgate.net/publication/318225973_Exercises_in_Stochastic_Calculus">https://www.researchgate.net/publication/318225973_Exercises_in_Stochastic_Calculus</a></li> <li>8. Скороход А.В. Лекції з теорії випадкових процесів // Навч.посібник. - К.: Либідь, 1990. - 168 с.</li> <li>9. Дороговцев А.А., Ніщенко І.І. Випадкові процеси : збірник задач до проведення практичних занять. – Київ : НТУУ «КПІ», 2012.</li> <li>10. Коломієць С.В. Теорія випадкових процесів: Практикум. - Суми : ДВНЗ “УАБС НБУ”, 2011. <a href="https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/50606/5/Kolomiets_%20Teoriia_vypadkovykh_protseiv%20.pdf">https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/50606/5/Kolomiets_%20Teoriia_vypadkovykh_protseiv%20.pdf</a></li> <li>11. Новицький І.В., Ус С.А. Випадкові процеси. — Дніпропетровськ: НГУ 2011. <a href="https://sau.nmu.org.ua/ua/osvita/metod/Random_processes(Novitskiy_Us_NM_U_SAU).pdf">https://sau.nmu.org.ua/ua/osvita/metod/Random_processes(Novitskiy_Us_NM_U_SAU).pdf</a></li> </ol>
<b>Обсяг курсу</b>	Загальний обсяг: 6-ий семестр --150 години; аудиторних занять: 48 год., з них 32 год. лекційних та 16 год. практичних занять, самостійної роботи: 102 години.
<b>Очікувані результати навчання</b>	У результаті вивчення даного курсу студент буде: <b>знати:</b> поняття випадкового процесу та його основні характеристики, основні поняття і властивості математичного аналізу диференційовності

	<p>та інтегровності стохастичних процесів, поняття ортогональної стохастичної міри, поняття стохастичного інтегралу за стохастичною мірою, поняття мартингалу, поняття інтегралу Іто; як змінюються основні ймовірнісні характеристики випадкового процесу при дії на нього диференціальних та інтегральних перетворень;</p> <p><b>вміти:</b> знаходити основні ймовірнісні характеристики (скінченно-вимірні розподіли, функцію математичного сподівання, коваріаційну функцію) випадкового процесу, знаходити середньо-квадратичні похідні і стохастичні інтеграли від стохастичних процесів та перевіряти умови їхнього існування, записувати структурну функцію елементарної ортогональної стохастичної міри, спектральне зображення стаціонарного в широкому сенсі процесу та його коваріаційної функції, аналізувати властивості ланцюга Маркова з неперервним часом за його перехідними ймовірностями, знаходити стаціонарний розподіл ланцюга Маркова, записувати пряме та обернене диференціальні рівняння для дифузійних процесів</p> <p>Курс забезпечує набуття таких компетентностей та програмних результатів навчання: ЗК1-2, ЗК6-8, ЗК12-15, ФК1-4, ФК5-8, ФК8, ПРН1, ПРН4, ПРН7, ПРН10, ПРН11, ПРН13, ПРН15, ПРН17.</p>
<b>Ключові слова</b>	<p>Випадковий процес, середньо-квадратична диференційовність, середньо-квадратичний інтеграл, характеристична функція, функції математичного сподівання і дисперсії, стаціонарний процес, процес з незалежними приростами, процес Вінера, процес Пуассона, мартингал, стохастичний інтеграл, інтеграл Іто-Скоророхода</p>
<b>Формат курсу</b>	<p>Очний, дистанційний. Проведення лекцій, практичних занять і консультацій.</p>
<b>Теми</b>	<p>1. Основні поняття і факти з теорії ймовірностей: ймовірнісний простір, ймовірність як зліченно-адитивна невід’ємна міра, випадкові величини і випадкові вектори, незалежність і некорельованість випадкових величин. Функції розподілу випадкових величин і випадкових векторів, щільності розподілів, характеристичні і твірні функції. Закони великих чисел, центральна гранична теорема. Розподіли суми випадкових величин: теореми додавання, формула згортки.</p> <p>2. Умовні математичні сподівання і умовні розподіли та їхні властивості, формули для обчислення.</p> <p>3. Випадкова функція і випадковий процес. Характеристики процесів: <math>n</math>-вимірна функція розподілу, функції математичного сподівання та дисперсії, коваріаційна функція процесу (автокореляційна функція), нормована автокореляційна функція – властивості. Теореми про характеристичні властивості сім’ї <math>n</math>-вимірних функцій розподілу. Взаємна коваріаційна функція двох процесів та векторного процесу.</p> <p>4. Скінченно-вимірні щільності процесу. Стохастично еквівалентні процеси та стохастично еквівалентні процеси в широкому сенсі. Процеси зі скінченними другими моментами (гільбертові процеси). Середньо-квадратична (с.-к.) границя і с.-к. неперервність процесу: властивості. Критерій с.-к. неперервності процесу. С.-к. диференційовність: властивості. Критерій с.-к. диференційовності процесів. С.-к. інтеграл процесу: властивості, формули с.-к. інтегровності частинами та диференційовності по верхній змінній межі. Критерій с.-к. інтегровності. Застосування: диференціальні рівняння з випадковою правою частиною.</p> <p>5. Стохастичні інтеграли. Елементарні стохастична міра та ортогональна</p>

	<p>міра. Ортогональна стохастична міра: властивості. Структурна функція елементарної ортогональної стохастичної міри.</p> <p>6. Гільбертів простір випадкових величин зі скінченним другим моментом. Стохастичний інтеграл за елементарною стохастичною ортогональною мірою: властивості.</p> <p>7. Мартингали. Потік сигма-алгебр і підпорядкованість процесу потоків. Поняття мартингала і субмартингала: властивості. Нерівність Колмогорова для субмартингалів.</p> <p>8. Моменти часу Маркова: властивості. Сигма-алгебра, породжена моментом часу Маркова. Стохастичний інтеграл Іто: властивості.</p> <p>9. Стохастичний диференціал: властивості. Формула диференціювання композиції (суперпозиції) неперервно диференційовної функції від двох змінних і процесу, що має стохастичний диференціал.</p> <p>10. Основні класи процесів: з незалежними значеннями, з незалежними приростами, стаціонарних у вузькому і широкому сенсі. Гаусові процеси. Випадкові процеси зі скінченними моментами другого порядку.</p> <p>11. Поняття процесу Вінера. Теорема про одновимірну характеристичну функцію процесу Вінера. Теореми про існування неперервної модифікації процесу Вінера та майже напевне про ніде не диференційовність його траєкторій.</p> <p>12. Процеси з незалежними приростами: Пуассонів потік подій, процес Пуассона. Теорема про твірну функцію процесу Пуассона. Процес Вінера як процес з незалежними приростами.</p> <p>13. Процеси та ланцюги Маркова з неперервним часом: властивості. Матриця інтенсивностей зміни станів, пряме і зворотне диференціальні рівняння Чепмена.</p> <p>14. Стаціонарні випадкові процеси: властивості автокореляційної та нормованої автокореляційної функцій, стаціонарно пов'язані випадкові процеси, автокореляційна функція похідної та інтегралу від стаціонарного процесу.</p> <p>15. Елементи спектральної теорії стаціонарних випадкових процесів: зображення процесу у вигляді суми гармонічних коливань з випадковими амплітудами та фазами, дискретний спектр, неперервний спектр та спектральна щільність, стаціонарний білий шум. Дифузійні процеси.</p> <p>16. Елементи теорії інформації. Ентропія та її властивості.</p>
<p><b>Підсумковий контроль, форма</b></p>	<p>6-ий семестр: Комбінований залік (100 балів) на основі розв'язування додаткових вправ (25 б.), контрольної роботи (25 б.), колоквиуму (20 б.), результатів поточного відвідування, робота в аудиторії, виконання домашніх завдань (30 б. у пропорції 10 б:10 б:10 б).</p>
<p><b>Пререквізити</b></p>	<p>Для вивчення даного курсу студентіві потрібні базові знання з курсу математичного аналізу, комбінаторики, комплексного аналізу (теорія лишків), теорії міри</p>
<p><b>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</b></p>	<p>Презентації, лекції, індивідуальні завдання.</p>
<p><b>Необхідне обладнання</b></p>	<p>Аудиторія обладнана дошкою та засобами написання для аудиторних занять. Комп'ютер / смартфон / планшет з інтернет доступом для дистанційних занять.</p>

<p><b>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</b></p>	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Залік: Бали нараховуються за наступним співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• написання 2-х контрольних: 25% семестрової оцінки кожна; максимальна сумарна кількість балів 50.</li> <li>• написання та захист колоквиуму: 20% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 20.</li> <li>• відвідування, робота в аудиторії, виконання домашніх завдань 30% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 30 (у пропорції 10:10:10). Підсумкова кількість балів: до 100.</li> </ul> <p><b>Академічна доброчесність:</b> Очікується, що роботи студентів будуть їх оригінальними дослідженнями чи міркуваннями. Відсутність посилань на використані джерела, фабрикування джерел, списування, втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій роботі студента є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману.</p> <p><b>Відвідання занять</b> є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції та практичні заняття курсу. Студенти повинні інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися термінів визначених для виконання всіх видів письмових робіт та індивідуальних завдань, передбачених курсом.</p> <p><b>Література.</b> Уся література, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надана викладачем (у тому числі в цифровому вигляді) виключно в освітніх цілях без права її передачі третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.</p> <p><b>Політика виставлення балів.</b> Враховуються бали набрані при поточному тестуванні, самостійній роботі та бали підсумкового тестування. При цьому обов'язково враховуються активність студента під час практичного заняття; недопустимість запізнень на заняття; недопустимість користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях не пов'язаних з навчанням; недопустимість списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін.</p> <p>Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.</p>
<p><b>Питання до заліку чи екзамену.</b></p>	<p>На залік виносяться усі теми курсу (див. пункт Теми).</p>
<p><b>Опитування</b></p>	<p>Протягом навчання студенти можуть висловити свої зауваження і побажання до курсу.</p>

### Схема курсу

#### А. Теоретична частина

Тижде нь, год.	Тема, план, короткі тези	Форма діяльності (заняття)* *лекція, самостійна, дискусія, групова робота)	Література (Ресурси в інтернеті)	Завдання, год.	Термін виконан ня
Перш ий,	Тема 1. Основні поняття і факти з	лекція	див. пункт Література для	(4 год.)	Один тиждень

2 год.	теорії ймовірностей: ймовірнісний простір, ймовірність як зліченно-адитивна невід'ємна міра, випадкові величини і випадкові вектори, незалежність і некорельованість випадкових величин. Функції розподілу випадкових величин і випадкових векторів, щільності розподілів, характеристичні і твірні функції. Закони великих чисел, центральна гранична теорема. Розподіли суми випадкових величин: теореми додавання, формула згортки.		вивчення дисципліни		
Другий, 2 год.	<b>Тема 2.</b> Умовні математичні сподівання і умовні розподіли та їхні властивості, формули для обчислення.	лекція		(4 год.)	Один тиждень
Третій, 2 год.	<b>Тема 3.</b> Випадкова функція і випадковий процес. Характеристики процесів: $n$ -вимірна функція розподілу, функції математичного сподівання та дисперсії, коваріаційна функція процесу (автокореляційна функція), нормована автокореляційна функція – властивості. Теореми про характеристичні властивості сім'ї $n$ -вимірних функцій розподілу. Взаємна коваріаційна функція двох процесів та векторного процесу.	лекція		(4 год.)	
Четвертий, 2 год.	<b>Тема 4.</b> Скінченно-вимірні щільності процесу. Стохастично еквівалентні процеси та стохастично еквівалентні процеси в широкому сенсі. Процеси зі скінченними другими моментами.	лекція		(4 год.)	

	Середньо-квадратична (с.-к.) границя і с.-к. неперервність процесу: властивості. Критерій с.-к. неперервності процесу. С.-к. диференційовність: властивості. Критерій с.-к. диференційовності процесів. С.-к. інтеграл процесу: властивості, формули с.-к. інтегрованості частинами та диференційовності по верхній змінній межі. Критерій с.-к. інтегрованості. Застосування: диференційні рівняння з випадковою правою частиною.				
П'ятий, 2 год.	<b>Тема 5.</b> Елементарні стохастична міра та ортогональна міра. Ортогональна стохастична міра: властивості. Структурна функція елементарної ортогональної стохастичної міри.	лекція		(2 год.)	
Шостий, 2 год.	<b>Тема 6.</b> Гільбертів простір випадкових величин зі скінченним другим моментом. Стохастичний інтеграл за елементарною стохастичною ортогональною мірою: властивості.	лекція		(2 год.)	
Сьомий, 2 год.	<b>Тема 7.</b> Потік сигма-алгебр і підпорядкованість процесу потоків. Поняття мартингала і субмартингала: властивості. Нерівність Колмогорова для субмартингалів.	лекція		(4 год.)	
Восьмий, 2 год.	<b>Тема 8.</b> Моменти часу Маркова: властивості. Сигма-алгебра, породжена моментом часу Маркова. Стохастичний інтеграл Іто: властивості.	лекція		(2 год.)	
Дев'яти	<b>Тема 9.</b> Стохастич-	лекція		(4 год.)	



й, 2 год.	ний диференціал: властивості. Формула диференціювання композиції (суперпозиції) неперервно диференційовної функції від двох змінних і процесу, що має стохастичний диференціал				
Десятий, 2 год.	<b>Тема 10.</b> Основні класи процесів: з незалежними значеннями, з незалежними приростами, стаціонарних у вузькому і широкому сенсі. Гаусові процеси. Випадкові процеси зі скінченними моментами другого порядку.	лекція		(2 год.)	
Одинадцятий, 2 год.	<b>Тема 11.</b> Поняття процесу Вінера. Теорема про одновимірну характеристичну функцію процесу Вінера. Теорема про існування неперервної модифікації процесу Вінера та майже напевне про ніде не диференційовність його траєкторій.	лекція		(2 год.)	
Дванадцятий, 2 год.	<b>Тема 12.</b> Процеси з незалежними приростами: Пуассонів потік подій, процес Пуассона. Теорема про твірну функцію процесу Пуассона. Процес Вінера як процес з незалежними приростами.	лекція		(2 год.)	
Тринадцятий, 2 год.	<b>Тема 13.</b> Процеси та ланцюги Маркова з неперервним часом: властивості. Матриця інтенсивностей зміни станів, пряме і зворотне диференціальні рівняння Чепмена.	лекція		(4 год.)	
Чотирнадцятий, 2 год.	<b>Тема 14.</b> Стаціонарні випадкові процеси: властивості автокореляційної та нормованої автокореляційної функцій, стаціонарно пов'язані випадкові процеси, автокореляційна функція похідної та інтегралу від стаціонарного процесу.	лекція		(4 год.)	
П'ятна	<b>Тема 15.</b> Елементи	лекція		(4 год.)	

дцятий, 2 год	спектральної теорії стаціонарних випадкових процесів: зображення процесу у вигляді суми гармонічних коливань з випадковими амплітудами та фазами, дискретний спектр, неперервний спектр та спектральна щільність, стаціонарний білий шум. Дифузійні процеси.				
Шістна дцятий, 2 год	<b>Тема 16.</b> Елементи теорії інформації. Ентропія та її властивості.	лекція		(4 год.)	

### *Б. Практичні заняття*

Тиждень, год.	Тема, план, короткі тези	Форма діяльності (заняття)* *лекція, самостійна, дискусія, групова робота)	Література (Ресурси в інтернеті)	Завдання, год.	Термін виконан ня
Перш ий, 2 год.	<b>Тема 1.</b> Основні поняття і факти з теорії ймовірностей. Умовні математичні сподівання і умовні розподіли та їхні властивості, формули для обчислення.	практичне	Бордуляк М.Т., Скасків О.Б., Сумик О.М., Чижиков І.Е. Теореми і задачі теорії ймовірностей. Львів: Число, 2013. Методичні вказівки до практичних занять: <a href="https://new.mmf.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/04/Metod_vkazivky_p_z_vypadk_2023.pdf">https://new.mmf.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/04/Metod_vkazivky_p_z_vypadk_2023.pdf</a> Lucic V.M. Exercises in stochastic analysis. London: Macquarie, 2020. <a href="https://www.researchgate.net/publication/318225973_Exercises_in_Stochastic_Calculus">https://www.researchgate.net/publication/318225973_Exercises_in_Stochastic_Calculus</a>	(6 год.)	Два тижні
3-ій, 2 год.	<b>Тема 2.</b> Випадкова функція і випадковий процес. Характеристики процесів. Стохастично еквівалентні процеси.	практичне		(8 год.)	Два тижні
5-ий,	<b>Тема 3.</b> С.-к. границя, с.-к. неперервність, с.-	практичне		(8 год.)	Два

2 год.	к. похідна і с.-к. інтеграл процесу: властивості.				тижні
7-ий, 2 год.	<b>Тема 4.</b> Ортогональна стохастична міра та її структурна функція: властивості.	практичне		(8 год.)	Два тижні
9-ий, 2 год.	<b>Тема 5.</b> Стохастичний інтеграл за елементарною стохастичною ортогональною мірою.	практичне		(6 год.)	Два тижні
11-ий, 2 год.	<b>Тема 6.</b> Мартингал. Інтеграл Іто. Стохастичний диференціал.	практичне		(8 год.)	Два тижні
13-ий, 2 год.	<b>Тема 7.</b> Елементи теорії стохастичних диференційних рівнянь	практичне		(8 год.)	Два тижні
15-ий, 2 год.	<b>Контрольна робота</b>				