

Мелітопольський державний педагогічний університет
імені Богдана Хмельницького
Факультет інформатики, математики та економіки
Кафедра математики і фізики

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ВК-02 Теорія випадкових процесів

(повна назва навчальної дисципліни)

Ступінь вищої освіти **магістратура**

Галузь знань **01 Освіта**

(шифр і назва галузі)

Мелітополь, 2020

1. Опис навчальної дисципліни

Назва навчальної дисципліни **Теорія випадкових процесів**

Заклад вищої освіти **Мелітопольський державний педагогічний університет
імені Богдана Хмельницького**

Факультет **інформатики, математики та економіки**

Кафедра **математики і фізики**

Освітньо-професійна програма **Середня освіта. Математика. Фізика.**

За спеціальністю **014.04 Середня освіта (Математика)** (магістратура)

Кваліфікація **Вчитель математики і фізики**

Мова навчання: **українська**

Розробники: **Рубцов М.О. к.т.н., доцент кафедри математики і фізики**

Найменування показників	Ступінь вищої освіти галузь знань, спеціальність, спеціалізація	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів – 6	Ступінь вищої освіти: магістратура Галузь знань: 01 Освіта Спеціальність: 014.04 Середня освіта (Математика) Освітньо-професійна програма: Середня освіта Математика. Фізика	Нормативна	
Блоків* – 2 у тому числі: курслова робота – навчальна практика –		Рік підготовки:	
		5-й	5-й
		Семестр	
		2-й	2-й
Загальна кількість годин – 180		Лекції	
		30 год.	4 год.
Тижневих годин**: аудиторних – 2 год. л., 2 год. пр., самостійної роботи студента – 8 год. навчальна практика -		Практичні, семінарські	
		30 год.	6 год.
		Лабораторні	
		год.	год.
		Навчальна практика	
		год.	год.
	Самостійна робота		
	120 год.	170 год.	
	Вид контролю: залік		

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Місце дисципліни у освітній програмі: вибіркова.

Метою дисципліни є – ознайомлення та оволодіння основними математичними поняттями, теоретичними положеннями і методами сучасної теорії випадкових процесів, вміння будувати і досліджувати математичні моделі стохастичних за своєю природою фізичних явищ. Дисципліна «Теорія випадкових процесів» є одним з розділів теорії ймовірностей і читається як логічне продовження класичного курсу «Теорія ймовірностей і математична статистика». Засвоєння даного курсу дозволяє магістрам досліджувати закономірності зміни випадкових величин в часі.

Перелік компетентностей, які набуваються під час опанування дисципліною:

ЗК1.	Здатність до абстрактного мислення, критичного аналізу та синтезу, оцінювання сучасних наукових досягнень, генерування нових ідей при вирішенні дослідницьких і практичних завдань.
ЗК5.	Здатність до нестандартного розв'язання задач, самостійності міркувань та умовиводів, навички інтелектуального пошуку, вміння виявляти та розв'язувати проблеми.
ЗК8.	Здатність до безперервного навчання.
ФК1.	Здатність аналізувати та математично моделювати різноманітні процеси і явища, досліджувати відповідні моделі та інтерпретувати одержані результати.
ФК3.	Здатність до розв'язання прикладних задач за допомогою розділів вищої математики.
ФК11.	Здатність виражати терміни специфічної предметної області мовою математики.
ФК12.	Здатність обирати адекватні методи для ефективного вирішення конкретних науково-практичних задач у галузі математики і фізики.

3. Результати навчання

ПРН3.	Застосовувати спеціалізовані знання для розуміння наукової літератури за обраними предметними спеціальностями та готувати до опублікування статті за результатами проведених досліджень з математики, фізики або методики їх викладання.
ПРН8.	Будувати математичні моделі для розв'язання прикладних задач.
ПРН14.	Демонструвати та застосовувати знання з математики, фізики та методики їх викладання.

4. Критерії оцінювання

Методи контролю результатів навчання	Максимальна кількість балів та вимоги до їх накопичення
Поточний контроль (відповідь на практичному занятті)	<p style="text-align: center;">5 балів</p> <p><i>5 балів</i> – Розв’язання правильне, супроводжується необхідним повним поясненням і обґрунтуванням, може бути допущена арифметична помилка, яка є наслідком неуважності, і не демонструє незнання математичних законів</p> <p><i>4 бала</i> – Розв’язання супроводжується неповним поясненням, порушено логічно правильний ланцюг міркувань, але відповідь правильна</p> <p><i>3 бала</i> – Завдання розв’язане правильно, але пояснення неповне, пропущені логічні кроки, відсутня чітка відповідь</p> <p><i>2 бала</i> – При розв’язанні зроблені помилкові теоретичні пояснення, наслідком яких є частковий розв’язок</p> <p><i>1 бал</i> – Розв’язання відсутнє, але наведено теоретичні пояснення, формули, необхідні для виконання завдання, є спроба застосування формул до розв’язання</p>
Поточний контроль (реферат, есе, презентація)	<p style="text-align: center;">В сумі 5 балів</p> <p><i>1 бал</i> – Відповідність змісту обраній темі</p> <p><i>1 бал</i> – Логічна структурованість матеріалу, ґрунтовність, повнота і критичність аналізу літератури з теми реферату</p> <p><i>1 бал</i> – Успішність виконання завдання, глибина аналізу зібраного фактичного матеріалу</p> <p><i>1 бал</i> – Літературне, технічне й естетичне оформлення роботи</p> <p><i>1 бал</i> – Публічний захист роботи</p>
Поточний контроль (самостійні контрольні роботи)	<p style="text-align: center;">5 балів</p> <p>Розподіл балів, як за відповідь на практичному занятті</p>
Поточний контроль (підсумкове тестування)	<p style="text-align: center;">5 балів</p> <p>0,5 бала за кожну правильну відповідь на кожне з 10 тестових завдань</p>
Періодичний контроль (ПКР)	<p style="text-align: center;">30 балів</p> <p>5 балів за кожне з 6 завдань (розподіл балів за кожне завдання, як за відповідь на практичному занятті)</p>
Підсумковий контроль (іспит)	<p>100 балів.</p> <p>Підсумковим контролем є залік, який виставляється за результатами суми балів поточного оцінювання та двох періодичних контрольних робіт (ПКР), коли студент набрав не менше 60 балів, за національною, 100-бальною шкалами і ECTS.</p>

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проекту (роботи), практики	для заліку
90 – 100	A	відмінно	зараховано
82-89	B	добре	
74-81	C		
64-73	D	задовільно	
60-63	E		
35-59	FX	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
0-34	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

5. Засоби оцінювання

- заліки;
- екзамени;
- комплексні іспити;
- стандартизовані тести;
- аналітичні звіти, реферати, есе;
- розрахункові та розрахунково-графічні роботи;
- презентації результатів виконаних завдань та досліджень;
- студентські презентації та виступи на наукових заходах;

6. Програма навчальної дисципліни

Блок 1. Випадкові процеси. Теорія масового обслуговування

Тема 1. Поняття випадкового процесу та класифікація випадкових процесів.

Основні поняття теорії випадкових процесів: означення випадкового процесу, реалізація випадкового процесу, сім'я реалізацій випадкового процесу. Класифікація випадкових процесів: випадковий процес з дискретним часом, випадковий процес з неперервним часом, випадковий процес з дискретними станами, випадковий процес з неперервними станами.

Тема 2. Закони розподілу та основні характеристики випадкових процесів.

Одновимірні та двовимірні функції розподілу випадкового процесу, густина розподілу. Характеристики випадкових процесів: математичне сподівання, дисперсія, середнє квадратичне відхилення, кореляційна функція, нормована кореляційна функція.

Тема 3. Предмет теорії масового обслуговування. Випадковий процес з рахунковою безліччю станів.

Основні означення й поняття. Одно і багатоканальні системи обслуговування. Поняття пропускної спроможності. Перехід системи з одного стану в інший.

Тема 4. Потік подій. Найпростіший потік і його властивості.

Поняття потоку подій. Однорідні події. Регулярний потік подій. Властивості потоку подій: стаціонарність, відсутність без післядії, ординарність. Найпростіший потік подій і його властивості. Найпростіший потік подій підлягає закону розподілу Пуассона. Основні характеристики показникового розподілу і його властивість.

Тема 5. Нестационарний пуассонівський потік. Потік з обмеженою післядією (потік Пальма).

Густина потоку. Закон розподілу проміжку часу T між сусідніми подіями. Потік з обмеженою післядією. Приклади потоків Пальма. Теорема Пальма. Потік Ерланга. Дослідження потоку Ерланга.

Тема 6. Час обслуговування.

Фактори впливу на час обслуговування. Обґрунтування застосування показникового закону при розрахунку густини часу обслуговування.

Тема 7. Показники ефективності СМО.

Основні показники СМО. Розрахунок показників ефективності одноканальної СМО з відмовами. Розрахунок показників ефективності багатоканальної СМО з відмовами. Розрахунок показників ефективності одноканальної СМО з обмеженою чергою. Розрахунок показників ефективності одноканальної СМО з необмеженою чергою.

Тема 8. Граничні теореми теорії потоків.

Гранична теорема для сумарного потоку. Властивість стійкості до операції підсумовування. Гранична теорема для рідіючих потоків.

Блок 2. Ланцюги Маркова

Тема 9. Марковські випадкові процеси і ланцюги Маркова. Граф станів.

Основні поняття марковського процесу і ланцюга Маркова. Граф станів.

Тема 10. Ланцюги Маркова з дискретним часом та їх основні характеристики.

Поняття ланцюга Маркова. Марківська властивість. Ланцюг Маркова з множиною станів. Перехідна ймовірність. Однорідний ланцюг та однорідна матриця переходів. Стохастична матриця. Класифікація станів: поглинаючий, зворотний, періодичний, ергодичний. Класифікація ланцюгів Маркова: незвідний, ергодичний, поглинаючий. Ергодична властивість. Властивості поглинаючих ланцюгів Маркова.

Тема 11. Ланцюги Маркова з дискретними станами і неперервним часом. Рівняння Колмогорова для ймовірностей станів.

Визначення неперервного марківського процесу. Дискретна модель неперервного процесу. Поняття густини ймовірності процесу. Матричне рівняння Колмогорова.

Тема 12. Рівняння Колмогорова для ймовірностей станів.

Рівняння Колмогорова для ймовірностей станів. Граничні ймовірності станів.

Тема 13. Процес загибелі-розмноження.

Схема загибелі-розмноження. Формула Літтла.

Тема 14. Циклічні процеси.

Циклічний процес. Фінальні ймовірності.

Тема 15. Основні класи випадкових процесів.

Гауссовські випадкові процеси. Процеси з ортогональними і незалежними приращеннями. Вінерівський процес. Пуассонівський процес.

7. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин											
	денна форма						заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		л	п	лаб	інд	с.р.		л	п	лаб	інд	с.р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Блок 1. Випадкові процеси. Теорія масового обслуговування												
Тема 1. Поняття випадкового процесу та класифікація випадкових процесів	10	2	2			6	12	2				10
Тема 2. Закони розподілу та основні характеристики випадкових процесів.	10	2	2			6	12		2			10
Тема 3. Предмет теорії масового обслуговування. Випадковий процес з рахунковою безліччю станів.	12	2	2			8	14		2			12
Тема 4. Потік подій. Найпростіший потік і його властивості.	13	2	2			9	12	2				10
Тема 5. Нестационарний пуассонівський потік. Потік з обмеженою післядією (потік Пальма).	11	2	2			7	12					12
Тема 6. Час обслуговування.	12	2	2			8	12					12
Тема 7. Показники ефективності СМО.	14	2	4			8	12					12
Тема 8. Граничні теорії теорії потоків.	10	2	0			8	10					10

Разом за блоком 1	92	16	16			60	96	4	4			88
Блок 2. Ланцюги Маркова												
Тема 9. Марковські випадкові процеси і ланцюги Маркова. Граф станів.	12	2	2			8	12					12
Тема 10. Ланцюги Маркова з дискретним часом та їх основні характеристики.	12	2	2			8	12					12
Тема 11. Ланцюги Маркова з дискретними станами і неперервним часом. Рівняння Колмогорова для ймовірностей станів.	12	2	2			8	12					12
Тема 12. Неперервний Марківський процес. Рівняння Колмогорова для ймовірностей станів.	14	2	2			10	16		2			14
Тема 13. Процес загибелі-розмноження. Формула Літла.	12	2	2			8	10					10
Тема 14. Циклічні процеси.	16	2	4			10	12					12
Тема 15. Основні класи випадкових процесів.	10	2	0			8	10					10
Разом за блоком 2	88	14	14			60	84	0	2			82
Усього годин	180	30	30			120	180	4	6			110

8. Теми лекцій

№ з/п	Назва теми лекції та питання, що вивчаються	Кількість годин
1	Поняття випадкового процесу та класифікація випадкових процесів. Поняття випадкового процесу. Переріз випадкового процесу. Реалізація випадкового процесу. За якими показниками класифікуються випадкові процеси. Класифікація випадкових процесів.	2
2	Закони розподілу та основні характеристики випадкових процесів. Ймовірнісні властивості випадкової величини. Математичне сподіванням випадкового процесу. Дисперсія випадкового	2

	процесу. Середнє квадратичне відхилення. Кореляційна функція випадкового процесу. Нормована кореляційна функція. Основні властивості кореляційної функції.	
3	Предмет теорії масового обслуговування. Випадковий процес з рахунковою безліччю станів. Основні означення й поняття. Одно і багатоканальні системи обслуговування. Поняття пропускної спроможності. Перехід системи з одного стану в інший.	2
4	Потік подій. Найпростіший потік і його властивості. Поняття потоку подій. Однорідні події. Регулярний потік подій. Властивості потоку подій: стаціонарність, відсутність без післядії, ординарність. Найпростіший потік подій і його властивості. Найпростіший потік подій підлягає закону розподілу Пуассона. Основні характеристики показникового розподілу і його властивість.	2
5	Нестаціонарний пуассонівський потік. Густина потоку. Закон розподілу проміжку часу T між сусідніми подіями.	2
6	Потік з обмеженою післядією (потік Пальма). Потік з обмеженою післядією. Приклади потоків Пальма. Теорема Пальма. Потік Ерланга. Дослідження потоку Ерланга.	2
7	Час обслуговування. Фактори впливу на час обслуговування. Обґрунтування застосування показникового закону при розрахунку густини часу обслуговування.	2
8	Показники ефективності СМО. Основні показники СМО. Розрахунок показників ефективності одноканальної СМО з відмовами. Розрахунок показників ефективності багатоканальної СМО з відмовами. Розрахунок показників ефективності одноканальної СМО з обмеженою чергою. Розрахунок показників ефективності одноканальної СМО з необмеженою чергою.	2
9	Марковські випадкові процеси і ланцюги Маркова. Граф станів. Основні поняття марковського процесу і ланцюга Маркова. Граф станів.	2
10	Ланцюги Маркова з дискретним часом та їх основні характеристики. Поняття ланцюга Маркова. Марківська властивість. Ланцюг Маркова з множиною станів. Перехідна ймовірність. Однорідний ланцюг та однорідна матриця переходів. Стохастична матриця. Класифікація станів: поглинаючий, зворотний, періодичний, ергодичний. Класифікація ланцюгів Маркова: незвідний, ергодичний, поглинаючий. Ергодична властивість. Властивості поглинаючих ланцюгів Маркова.	2
11	Ланцюги Маркова з дискретними станами і неперервним	2

	часом. Рівняння Колмогорова для ймовірностей станів. Визначення неперервного марківського процесу. Дискретна модель неперервного процесу. Поняття густини ймовірності процесу. Матричне рівняння Колмогорова.	
12	Рівняння Колмогорова для ймовірностей станів. Рівняння Колмогорова для ймовірностей станів. Граничні ймовірності станів.	2
13	Процес загибелі-розмноження. Схема загибелі-розмноження. Формула Літтла.	2
14	Циклічні процеси. Циклічний процес. Фінальні ймовірності.	2
15	Основні класи випадкових процесів. Гауссовські випадкові процеси. Процеси з ортогональними і незалежними прирощеннями. Вінеровський процес. Пуассонівський процес.	2
Разом		30

9. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми та питання, що вивчаються	Форми контролю	Кількість годин
1	Випадкові процеси та їх класифікація. Закони розподілу й основні характеристики. Що називається випадковим процесом? Класифікація випадкових процесів. Що називається перерізом випадкового процесу? Записати формулу для обчислення математичного сподівання випадкового процесу. Записати формулу для обчислення дисперсії випадкового процесу.	усне опитування, письмовий контроль	2
2	Випадкові процеси та їх класифікація. Закони розподілу й основні характеристики. Дати поняття кореляційної і нормованої кореляційної функції та записати їх формули.	усне опитування, письмовий контроль	2
3	Предмет теорії масового обслуговування. Випадковий процес з рахунковою безліччю станів. Основні означення й поняття. Одно і багатоканальні системи обслуговування. Поняття пропускової спроможності. Перехід системи з одного стану в інший. . Що вивчає теорія масового обслуговування? Які завдання розв'язує теорія масового обслуговування? Теорія черг. Що називається потоком подій? Дати означення інтенсивності потоку.	усне опитування, письмовий контроль	2
4	Потік подій. Найпростіший потік і його властивості. Поняття потоку подій. Однорідні події. Регу-	усне опитування, письмовий конт-	2

	лярний потік подій. Властивості потоку подій: стаціонарність, відсутність без післядії, ординарність. Найпростіший потік подій і його властивості. Найпростіший потік подій підлягає закону розподілу Пуассона. Основні характеристики показникового розподілу і його властивість.	роль	
5	Нестационарний пуассонівський потік. Потік з обмеженою післядією (потік Пальма). Густина потоку. Закон розподілу проміжку часу T між сусідніми подіями. Потік з обмеженою післядією. Приклади потоків Пальма. Теорема Пальма. Потік Ерланга. Дослідження потоку Ерланга.	усне опитування, письмовий контроль	2
6	Час обслуговування. Фактори впливу на час обслуговування. Обґрунтування застосування показникового закону при розрахунку густини часу обслуговування.	усне опитування, письмовий контроль	2
7	Показники ефективності СМО. Основні показники СМО. Розрахунок показників ефективності одноканальної СМО з відмовами. Розрахунок показників ефективності багатоканальної СМО з відмовами. Розрахунок показників ефективності одноканальної СМО з обмеженою чергою. Розрахунок показників ефективності одноканальної СМО з необмеженою чергою.	усне опитування, письмовий контроль	2
8	Блочний контроль № 1 за темою: «Випадкові процеси. Теорія масового обслуговування».	письмовий контроль та тестування	2
9	Марковські випадкові процеси і ланцюги Маркова. Граф станів. Основні поняття марковського процесу і ланцюга Маркова. Граф станів.	усне опитування, письмовий контроль	2
10	Ланцюги Маркова з дискретним часом та їх основні характеристики. Що таке ланцюг Маркова? Які ланцюга Маркова називаються однорідними? Як задаються однорідні ланцюги Маркова? Які матриці називаються стохастичними? Граф переходу ланцюга Маркова. Як знаходиться матриця переходу за n кроків? Який стан системи називається істотним? Вектор початкових ймовірностей.	усне опитування, письмовий контроль	2
11	Ланцюги Маркова з дискретними станами і неперервним часом. Рівняння Колмогорова для ймовірностей станів. Визначення неперервного марківського процесу. Дискретна модель неперервного процесу. Поняття густини ймовірності процесу. Матричне рівняння	усне опитування, письмовий контроль	2

	Колмогорова. Правило складання рівнянь Колмогорова.		
12	Рівняння Колмогорова для ймовірностей станів. Рівняння Колмогорова для ймовірностей станів. Граничні ймовірності станів.	усне опитування, письмовий контроль	2
13	Процес загибелі-розмноження. Схема загибелі-розмноження.	усне опитування, письмовий контроль	2
14	Циклічні процеси. Циклічний процес. Фінальні ймовірності.	усне опитування, письмовий контроль	2
15	Блочний контроль № 2 за темою: «Ланцюги Маркова».	письмовий контроль та тестування	2
Разом			30

10. Самостійна робота

Теми для самостійного опрацювання

№ з/п	Теми і перелік питань, що винесені на самостійне вивчення
1	Поняття випадкового процесу та класифікація випадкових процесів. За якими показниками класифікуються випадкові процеси.
2	Випадкові процеси та їх класифікація. Закони розподілу й основні характеристики. Нормована кореляційна функція.
3	Елементи теорії масового обслуговування (теорія черг). Математична модель для найпростішої системи обслуговування. Випадковий процес з рахунковою безліччю станів.
4	Потік подій. Найпростіший потік і його властивості. Нестаціонарний пуассонівський потік. Нестаціонарний пуассонівський потік.
5	Потік з обмеженою післядією (потік Пальма). Час обслуговування. Час обслуговування.
6	Потік з обмеженою післядією (потік Пальма). Поняття потоків викликів і основні способи їхнього задання. Класифікація потоків викликів відповідно до їх властивостей. Основні класи потоків. Найпростіші потоки.
7	Час обслуговування. Моделі СМО. Фактори впливу на час обслуговування. Обґрунтування застосування показникового закону при розрахунку густини часу обслуговування.
8	Показники ефективності СМО. Класифікація СМО. Основні показники СМО. Розрахунок показників ефективності одноканальної СМО з відмовами. Розрахунок показників ефективності багатоканальної СМО з відмовами.

	Розрахунок показників ефективності одноканальної СМО з обмеженою чергою. Розрахунок показників ефективності одноканальної СМО з необмеженою чергою.
9	Марковські випадкові процеси і ланцюги Маркова. Граф станів. Означення марковського процесу з дискретними станами. Граф станів. Класифікація станів. Ймовірності станів.
10	Ланцюги Маркова з дискретним часом та їх основні характеристики. Дискретні ланцюги Маркова. Ланцюги Маркова з дискретним часом та дискретною множиною станів.
11	Ланцюги Маркова з дискретними станами і неперервним часом. Рівняння Колмогорова для ймовірностей станів. Ланцюги Маркова з неперервним часом.
12	Рівняння Колмогорова для ймовірностей станів. Марковські процеси. Дифузійні процеси.
13	Процес загибелі-розмноження. Диференціальні рівняння процесів загибелі та розмноження.
14	Циклічні процеси. Розгалужені циклічні процеси.
15	Основні класи випадкових процесів. Стаціонарні випадкові процеси.

11. Методи контролю

1. Усне опитування.
2. Письмовий контроль.
3. Тестування.
4. Залік.

12. Рекомендована література

Базова

1. Бобик, О.І. Теорія ймовірностей і математична статистика: Підручник / О.І. Бобик, Г.І. Берегова, Б.І. Копитко. – К.: ВД "Професіонал", 2007. – 560 с.
2. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей [Текст] / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1964. – 576 с.
3. Рубцов М.О. Теорія ймовірностей, ймовірнісні процеси та математична статистика: навч. посіб. / М.О. Рубцов. – Мелітополь: МДПУ, 2016. – 478 с.
4. Солнышкина И.В. Теория систем массового обслуживания: учеб. пособие / И.В. Солнышкина. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КНАГТУ», 2015. – 76 с.
5. Катренко А.В. Дослідження операцій. Підручник. – Львів: "Магнолія Плюс", 2004. – 549 с.
6. Карташевский В.Г. Основы теории массового обслуживания. Учебник для вузов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2013. – 130 с.

7. Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н. Введение в теорию массового обслуживания. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1966. – 432 с.
8. Сеньо П.С. Випадкові процеси: Підручник. – Львів: Компакт-ЛВ, 2006. – 288 с.
9. Самойленко, М.І. Дослідження операцій (Математичне програмування. Теорія масового обслуговування): Навч. посібник. / М.І. Самойленко, Б.Г. Скоков – Харків: ХНАМГ, 2005. – 176 с.
10. Волков, И.К. Случайные процессы: Учеб для вузов / И.К. Волков, С.М. Зуев, Г.М. Цветкова. – М: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999.– 448 с.
11. Тихонов В.И., Миронов М.А. Марковские процессы. М.: «Сов. радио», 1977. – 488 с.
12. С. Карлин Основы теории случайных процессов. М.: Издательство «Мир», 1971. – 536 с.
13. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. – 2-е изд., стер. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 208 с.
14. Матальцкий М.А. Элементы теории случайных процессов: Учеб. пособие / М.А. Матальцкий. – Гродно: ГрГУ, 2004. – 326 с.
15. Лабскер Л.Г. Вероятностное моделирование в финансово-экономической области. – М.: Альпина Паблишер, 2002. – 224 с.
16. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. – учеб. пособие / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – 5-е изд., стер. – М.: КНОРУС 2013. – 448 с.
17. Галажинская О.Н., Моисеева С.П. Теория случайных процессов: учеб. пособие. – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2015. – Ч. 1. – 128 с.

Додаткова

1. Скороход А.В. Лекції з теорії випадкових процесів, К.1990, 168 с.
2. Кошуняева Н.В., Патронова Н.Н. Теория массового обслуживания (практикум по решению задач) / САФУ имени Ломоносова. – Архангельск; САФУ, 2013. – 107 с.
3. Вентцель, Е.С., Прикладные задачи теории вероятностей [Текст] / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Радио и связь, 1983. – 416 с.
4. Кремер, Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика: учебник для студентов вузов, обучающихся по экономическим специальностям /Н.Ш. Кремер. – 3-е изд., перераб. И доп. – М.: ЮНИТИ – ДАНА, 2010. – 551 с.
5. М.І. Несвіт, Є.В. Поклонський. Випадкові процеси: Навчально-методичний посібник. – Х.: ХНУБА, 2013. – 51 с.
6. Портенко Н.И, Скороход А.В., Шуренков В.М. Марковские процессы // Итоги науки и техн. Современ. пробл. матем. Фундам. Направления. – ВИН-

ТИ, 1989. – 248 с.

7. Булинский А.В., Ширяев А.Н. Теория случайных процессов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 408 с.

13. Інформаційні ресурси в Інтернеті

1. навчальний план і навчальна програма (на сайті ДН);
2. методичні вказівки до практичних занять і організації самостійної роботи (на сайті ДН);
3. електронні версії підручників, навчальних посібників, тексти лекцій (на сайті ДН);
4. електронні версії практикумів, збірників задач і вправ (на сайті ДН).