

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра моделювання систем і технологій

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор з науково-педагогічної  
роботи



Антон ПАНТЕЛЕЙМОНОВ

“ 30 ” \_\_\_\_\_ 2021 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ  
«Комп'ютерне моделювання стохастичних процесів»

рівень вищої освіти	перший (бакалаврський)
галузь знань	12 Інформаційні технології
спеціальність	122 Комп'ютерні науки
освітня програма	Комп'ютерні науки
спеціалізація	
вид дисципліни	обов'язкова
факультет	Комп'ютерних наук

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою факультету комп'ютерних наук

«30» червня 2021 року, протокол № 15

РОЗРОБНИК ПРОГРАМИ: доктор фізико-математичних наук, професор кафедри моделювання систем і технологій **Лазурик Валентин Тимофійович**

Програму схвалено на засіданні кафедри моделювання систем і технологій

Протокол від «04» червня 2021 року № 12

Завідувач кафедри моделювання систем і технологій



Микола ТКАЧУК

Програму погоджено з гарантом освітньо-професійної програми 122 «Комп'ютерні науки»

Гарант освітньо-професійної програми 122 «Комп'ютерні науки»

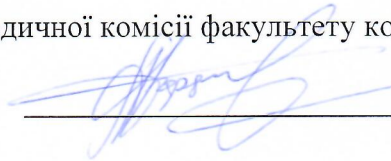


Микола СТЕРВОЄДОВ

Програму погоджено науково-методичною комісією факультету комп'ютерних наук

Протокол від «25» червня 2021 року № 9

Голова науково-методичної комісії факультету комп'ютерних наук



Анатолій БЕРДНІКОВ

## ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Комп'ютерне моделювання стохастичних процесів» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки першого (бакалаврського) рівня вищої освіти 122 Комп'ютерні науки.

Попередні умови для вивчення дисципліни: знання по математиці та програмуванню в обсязі перших чотирьох курсів університету «Дискретна математика», «Програмування та алгоритмічні мови», «Об'єктно-орієнтоване програмування», «Програмування прикладних процесів»

### 1. Опис навчальної дисципліни

#### 1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

Мета навчальної дисципліни: забезпечити відповідні сучасним вимогам знання студентів щодо самостійного вирішення теоретичних і практичних задач інформаційно-технологічних процесів.

Предметом навчальної дисципліни: упорядкована система математичних методів, засобів та алгоритмів, що дозволяють провадити комп'ютерне моделювання стохастичних процесів

#### 1.2. Основні завдання вивчення дисципліни

Основні задачі дисципліни згідно з метою задачі підготовки зводяться до формування у студентів знань та вмінь до самостійного вирішення як типових, так і не типових задач, що мають стохастичну особливість.

В ході вивчення дисципліни у студента повинні формуватися наступні компетентності.

*Загальні компетентності (ЗК):*

- здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу (ЗК1);
- здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях (ЗК2);
- здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово (ЗК4);
- здатність спілкуватися іноземною мовою (ЗК5);
- здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями (ЗК6);
- здатність генерувати нові ідеї (креативність) (ЗК8);
- здатність працювати в команді (ЗК9);
- здатність бути критичним і самокритичним (ЗК10);
- здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт (ЗК12);
- здатність діяти на основі етичних міркувань (ЗК13);
- здатність реалізувати свої права і обов'язки як члена суспільства, усвідомлювати цінності громадянського (вільного демократичного) суспільства та необхідність його сталого розвитку, верховенства права, прав і свобод людини і громадянина в Україні (ЗК14).

*Спеціальні (фахові, предметні) компетентності (ФК):*

- здатність до математичного формулювання та досліджування неперервних та дискретних математичних моделей, обґрунтування вибору методів і підходів для розв'язування теоретичних і прикладних задач у галузі комп'ютерних наук, аналізу та інтерпретування (ФК1);
- здатність до виявлення статистичних закономірностей недетермінованих явищ, застосування методів обчислювального інтелекту, зокрема статистичної, нейромережевої та нечіткої обробки даних, методів машинного навчання та генетичного програмування тощо (ФК2);

- здатність до інтелектуального аналізу даних на основі методів обчислювального інтелекту включно з великими та погано структурованими даними, їхньої оперативної обробки та візуалізації результатів аналізу в процесі розв’язування прикладних задач (ФК11);
- здатність до аналізу та функціонального моделювання бізнес-процесів, побудови та практичного застосування функціональних моделей організаційно-економічних і виробничо-технічних систем, методів оцінювання ризиків їх проектування (ФК15).

1.3. Кількість кредитів – 5

1.4. Загальна кількість годин – 150

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
<u>Обов’язкова</u> / за вибором	
Денна форма навчання	Денна форма навчання
Рік підготовки	
4-й	4-й
Семестр	
7-й	8-й
Лекції	
32 год.	год.
Практичні заняття	
год.	год.
Лабораторні заняття	
32 год.	
Самостійна робота	
46 год.	год.
у тому числі індивідуальні завдання	
40 год. науково-дослідницьке завдання (курсова робота)	

1.6. Заплановані результати навчання

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні досягти таких результатів навчання:

**знати:**

- що таке стохастичні процеси;
- що таке псевдовипадкові числа та засоби їх одержання на СОМ;
- які існують методи перевірки випадкових чисел;
- методи перетворення псевдовипадкових чисел - методи інтервалів, зворотних функцій, суперпозицій, відбору;
- що таке метод Монте-Карло, особливості алгоритмів методу, приклади використання методу Монте-Карло для рішення задач практики.

**вміти:**

- одержувати псевдовипадкові числа на СОМ;
- застосовувати алгоритми перетворень для одержання псевдовипадкових чисел з різними розподіленнями;
- розробляти різні алгоритми методу Монте-Карло для рішення задач практики;
- створювати програми для рішення задач, що використовують методи Монте-Карло;
- оцінювати доцільність вживання методів Монте-Карло щодо вирішення

- конкретної задачі;
- оцінювати похибки обчислень за вживання методів Монте-Карло.

В результаті вивчення дисципліни у студента повинні формуватися наступні програмні результати навчання (ПРН):

- використовувати знання закономірностей випадкових явищ, їх властивостей та операцій над ними, моделей випадкових процесів та сучасних програмних середовищ для розв'язування задач статистичної обробки даних і побудови прогнозних моделей (ПРН3);
- володіти мовами системного програмування та методами розробки програм, що взаємодіють з компонентами комп'ютерних систем, знати мережні технології, архітектури комп'ютерних мереж, мати практичні навички технології адміністрування комп'ютерних мереж та їх програмного забезпечення (ПРН13);
- розуміти концепцію інформаційної безпеки, принципи безпечного проектування програмного забезпечення, забезпечувати безпеку комп'ютерних мереж в умовах неповноти та невизначеності вихідних даних (ПРН 16).

## 2. Тематичний план навчальної дисципліни

### Вступ.

Зміст курсу. Визначення поняття стохастичність. Роль і місце випадкових процесів в життєдіяльності людини. Мета вивчення дисципліни і задачі курсу.

**Тема 1.** *Засоби одержання випадкових величинь на ЕОМ.* Випадкові цифри та випадкові числа. Таблиці випадкових цифр. Датчики випадкових чисел. Порівняння засобів одержання випадкових величинь.

**Тема 2.** *Псевдовипадкові числа.* Метод псевдовипадкових чисел. Стандартний датчик псевдовипадкових чисел, що реалізований на ЕОМ. Прості алгоритми. Довжина відрізка аперіодичності. Алгоритм Дж. Неймана. Алгоритм Д. Лемера.

**Тема 3.** *Статистична перевірка випадкових чисел.* Статистичні критерії згоди. Теорема К. Пірсона. Критерій згоди  $\chi^2$ . Критерій згоди  $\omega^2$ . Тести для перевірки випадкових цифр. Перевірка випадкових чисел. Особливості перевірки датчиків випадкових чисел.

**Тема 4.** *Метод інтервалів.* Моделювання випадкових дискретних величинь. Оптимізація методу інтервалів. Моделювання випадкових дискретних подій.

**Тема 5.** *Метод зворотних функцій.* Моделювання випадкових дискретних величинь. Моделювання випадкових безперервних величинь. Моделювання багатомірної випадкової крапки. Узагальнення методу.

**Тема 6.** *Метод суперпозицій.* Виправлення до приблизних розподілів. Розділення області моделювання випадкової величині.

**Тема 7.** *Методи відбору.* Загальна характеристика методів. Метод Неймана. Модифікований метод Неймана. Метод Метрополіса. Моделювання усічених розподілів. Вибір рівномірно розподілених крапок у складних просторових областях.

**Тема 8.** *Метод оцінювання математичних очікувань.* Сходимість методу Монте-Карло. Похибки методу. Вірогідність помилки методу. Емпіричні оцінки дисперсії. Оцінки помилки без обчислення дисперсії.

**Тема 9.** *Використання методу Монте-Карло для обчислення інтегралів.* Простіший метод обчислень. Геометричний метод. Порівняння точності методів Монте-Карло. Порівняння працескладності різних алгоритмів Монте-Карло.

**Тема 10.** Засоби побудови гарних статистичних оцінок. Часткове аналітичне інтегрування. Виділення головних частини. Інтегрування по частці області. Інтегрування по частці змінних. Метод суттєвої вибірки. Симетризація інтегруємих функцій. Двохстадійна схема обчислення.

**Тема 11.** Інтеграл, що залежать від параметрів. Метод залежних іспитів. Похибки квадратурних формул. Оцінка похибки методу Монте-Карло згідно з критерієм згоди  $\omega^2$ . Чисельне диференціювання статистичних оцінок.

**Тема 12.** Методи Монте-Карло з підвищеною швидкістю сходження. Вибірка по групах. Оцінки з підвищеною швидкістю сходження. Порівняння методів статистичного моделювання з результатами розрахунків по квадратурних формулах.

**Тема 13.** Задачі теорії переносу частинок. Моделювання процесу переносу. Облік вильоту частинки з області методом статистичної ваги. Розщеплення траєкторій. Систематична вибірка. Суттєва вибірка. Метод подібних траєкторій. Експоненціальне перетворення.

**Тема 14.** Задачі проходження фотонів крізь шар. Метод імітації для вирішення задач щодо проходження випромінювання крізь шар. Використання не аналогових методів рішення задач щодо проходження фотонів крізь шар.

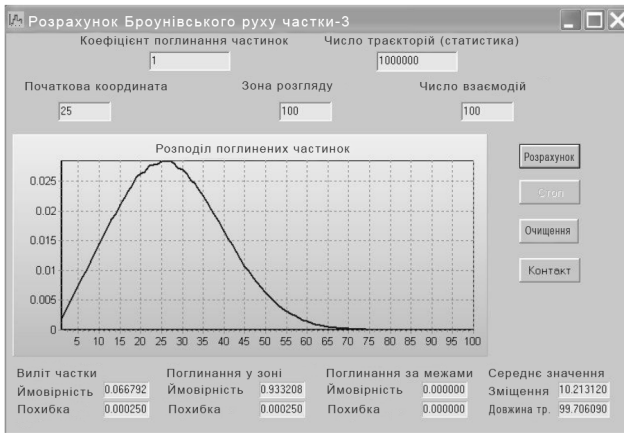
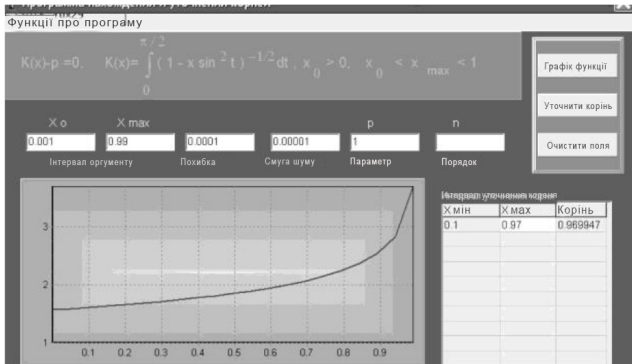
### 3. Структура навчальної дисципліни


Назви розділів і тем	Кількість годин					
	денна форма					
	усього	у тому числі				
		лекц. ауд.	практ. ауд.	лаб. ауд.	інд.	с. р.
1	2	3	4	5	6	7
1. Засоби одержання випадкових величин на ЕОМ.	6	2		2		2
2. Псевдовипадкові числа.	6	2		2		2
3. Статистична перевірка випадкових чисел.	6	2		2		2
4. Метод інтервалів.	6	2		2		2
5. Метод зворотних функцій.	8	2		2		4
6. Метод суперпозицій.	7	2		2		3
7. Методи відбору.	7	2		2		3
8. Метод оцінювання математичних очікувань.	7	2		2		3
9. Використання методу Монте-Карло для обчислення інтегралів.	8	2		2		4
10. Засоби побудови гарних статистичних оцінок.	7	2		2		3
11. Інтеграл, що залежать від параметрів.	7	2		2		3
12. Методи Монте-Карло з підвищеною швидкістю сходження.	11	4		4		3
13. Задачі теорії переносу частинок.	8	2		2		4
14. Задачі проходження фотонів крізь шар.	11	4		4		3
Підготовка до контрольної роботи.	5					5
Індивідуальне науково-дослідне завдання.	40				40	
<b>Усього годин</b>	<b>150</b>	<b>32</b>		<b>32</b>	<b>40</b>	<b>46</b>

4. Теми семінарських (практичних, лабораторних) занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Засоби одержання випадкових величин на ЕОМ	2
2	Псевдовипадкові числа.	2
3	Статистична перевірка випадкових чисел	2
4	Метод інтервалів	2
5	Метод зворотних функцій	2
6	Метод суперпозицій	2
7	Методи відбору	2
8	Метод оцінювання математичних очікувань	2
9	Використання методу Монте-Карло для обчислення інтегралів	2
10	Засоби побудови гарних статистичних оцінок	2
11	Інтегралі, що залежать від параметрів	2
12	Методи Монте-Карло з підвищеною швидкістю сходження	4
13	Задачі теорії переносу частинок	2
14	Задачі проходження фотонів крізь шар	4
<b>Разом</b>		<b>32</b>

## 5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	Самостійна робота над лекційним матеріалом по темам 1-14	16
2	Розробка та підлагодження програмного продукту щодо моделювання випадкового блукання в прямокутнику 	10
3	Розробка та підлагодження програмного продукту щодо обчислення інтеграла методом Монте-Карло. 	10

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
4	<p>Розробка та підлагодження програмного продукту щодо моделювання проходження випромінювання крізь шар</p> 	10
5	Підготовка індивідуального науково-дослідного завдання.	40
	Всього	86

## 6. Індивідуальні завдання

Контрольна робота

Курсова робота

Як наукове та навчально-дослідне завдання кожен студент має виконати курсому роботу. На виконання цієї роботи відведено 40 години самостійної роботи. Кожному студенту пропонується розробити програмне забезпечення, що містить обчислення виданого вимогів розподілу методом Монте-Карло. При виконанні курсової роботи студент розробляє програмне забезпечення та програмну документацію до нього. В програмному забезпеченні, що розробляється, треба застосувати методи обчислень, що викладаються в дисципліні.

Розподіли, що пропонуються для реалізації в курсовій роботі:

- Дискретні одномірні:
  - Бернуллі;
  - біноміальне;
  - геометричне;
  - гіпергеометричне;
  - логарифмічне;
  - заперечне біноміальне;
  - Пуассона;
  - рівномірне;
- Багатомірні дискретні:
  - мультіноміальне;
- Одномірні абсолютно безперервні:
  - бета;
  - Вейбулла;
  - гамма;
  - Колмогорова;
  - Коши;
  - логнормальне;
  - Лоренца;



- нормальне;
  - рівномірне;
  - Паретто;
  - Стьюдента;
  - Фішера;
  - $\chi^2$ -квадрат;
  - експоненціальне<sup>4</sup>
  - Ерланга;
- Багатомірні абсолютно безперервні:  
Багатомірне нормальне.

#### Вимоги до програмного забезпечення:

1) самостійно розроблений алгоритм обчислення розподілу методом Монте-Карло має бути реалізований в вигляді функції чи процедури, що розміщена в створеній динамічній бібліотеці;

2) графік відображає кілька останніх обчислень та криву теоретичних обчислень, інтегровані результати цих розрахунків (експериментів) накопичуються в сітці;

3) користувач має змогу за використанням спливаючого меню міняти вигляд графіку 2D/3D, копіювати у буфер обміну малюнок графіку та копіювати у буфер обміну дані щодо зображених на графіку кривих;

4) в програмі треба дати користувачеві змогу задавати будь-яку велику статистику для обчислень, та змогу перервати обчислення до його закінчення, в цьому випадку значіння статистики - реальне, тобто скільки траєкторій частинок було розглянуто;

5) програма повинна мати механізм формування звіту в MS Word;

6) програма повинна мати обробку виключних ситуацій вводу-виводу;

7) окремими пунктами головного меню повинна бути допомога користувачеві, що містить теоретичні дані щодо розподілу та інструкцію по експлуатації програми, а також дані щодо розробника.

#### Вимоги до програмної документації. Структура документу.

##### **Вступ**

Розглянути мету та задачі курсової роботи

**Розподіл** (згідно вибраної теми)

##### **Визначення**

Описати визначення та область вживання даного розподілу. Дати приклади використання.

##### **Методи генерування випадкової величини:**

Описати методи та алгоритми генерування випадкової величини. Метод зворотної функції. Метод Неймана. Інші методи та алгоритми.

##### **Засіб виконання і реалізації.**

Описати методи і алгоритми генерування випадкової величини щодо виконуємої роботи. Обов'язково повинні бути структура програми та блок-схеми алгоритмів. Необхідно зазначити зв'язок формул (математичних) та блоків коду, що реалізують ці формули.

##### **Опис програми, робота з програмою.**

Необхідно описати інтерфейс користувача. Необхідно показати послідовність роботи з програмою. Описати яким чином користувач повинен інтерпретувати (розуміти) результат обчислень.

##### **Підлагодження та тестування програми.**

Необхідно описати, як провадилось підлагодження програми. Описати можливі засоби тестування програми. Дати пояснення щодо достовірності результатів обчислень.

##### **Інструкція по користуванню.**

##### **Опис одержаних результатів.**

##### **Література.**

## 7. Методи навчання

Пояснювально- ілюстративні, репродуктивні, практичні методи навчання. Як правило лекційні та лабораторні заняття проводяться аудиторне. А в умовах дії карантину заняття проводяться відповідно до Наказу ректора Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна (аудиторне або дистанційно за допомогою платформ Google Meet або Zoom).

## 8. Методи контролю

Протягом навчального семестру проводиться поточний контроль знань, який складається з виконання 14 лабораторних робіт, контрольної роботи та курсової роботи. Загальна сума балів, яку студент може набрати, складає – 60 балів.

Максимальна оцінка за лабораторну роботу – 2 бали.

Максимальна оцінка за контрольну роботу – 5 балів.

Максимальна оцінка за курсову роботу – 27 балів.

Підсумковий контроль – екзамен у письмовій формі.

Допуск до складання екзамену студент отримує, якщо він виконав усі лабораторні роботи, склав контрольну роботу та захистив курсову роботу з сумарною оцінкою не менше 50 балів. В іншому випадку студент не допускається до складання екзамену.

Екзамен складається з трьох питань (два теоретичних та одно практичне завдання).

Максимальна кількість балів за одне теоретичне питання – 10 балів.

Максимальна кількість балів за одне практичне питання – 20 балів.

Максимальна кількість балів за екзамен – 40 балів.

## 9. Схема нарахування балів

Поточний контроль та самостійна робота				Контрольна робота	Курсова робота	Разом	Екзамен	Разом
ЛР 1-3 (Т1-3)	ЛР 4-7 (Т4-7)	ЛР8-11 (Т8-11)	ЛР 12-14 (Т12-14)	5	27	60	40	100
6	8	8	6					

### Критерії поточної оцінки знань студентів (лабораторна робота, крок оцінювання 1 бал)

Кількість балів	Критерії оцінки
0	Студент має фрагментарні знання при незначному загальному їх обсязі (менше половини навчального матеріалу) при відсутності сформованих умінь та навичок.
1	Студент вміє застосовувати вивчений матеріал у стандартних ситуаціях; може пояснити основні процеси, що відбуваються під час роботи інформаційної системи та наводити власні приклади на підтвердження деяких тверджень; вміє виконувати навчальні завдання.
2	Студент має стійкі системні знання та продуктивно їх використовує; вміє вільно використовувати нові інформаційні технології для поповнення власних знань та розв'язування задач; має стійкі навички управління інформаційною системою у нестандартних ситуаціях.

**Критерії поточної оцінки знань студентів  
(контрольна робота, -крок оцінювання 1 бал)**

<b>Кількість балів</b>	<b>Критерії оцінки</b>
0	Робота не здана.
1	Робота виконана не в повному обсязі. Допущені грубі помилки. Робота виконаний не самостійно.
2	Робота виконана не в повному обсязі. Допущені грубі помилки.
3	Допущені більше однієї помилки або більше двох-трьох недоліків.
4	Робота виконана повністю, але обґрунтувань кроків вирішення недостатньо. допущена одна помилка або два-три недоліку.
5	Робота виконана повністю. Немає помилок в логічних міркуваннях. можливо наявність однієї неточності або описки, які не є наслідком незнання або нерозуміння навчального матеріалу. студент показав повний обсяг знань, умінь в освоєнні пройдених тем і застосування їх на практиці.

**Критерії поточної оцінки знань студентів  
(курслова робота)**

**Оцінка складається з таких параметрів та критеріїв оцінювання**

<b>Розділ</b>	<b>Критерії</b>	<b>Оцінка</b>
1. Самостійність виконання роботи	Робота написана самостійно	3
	Робота носить частково самостійний характер	2
	Робота носить не самостійний характер	1
2. Зміст роботи	Повністю відповідає обраній темі	3
	Частково відповідає обраній темі	2
	Не відповідає темі	1
3. Елементи дослідження	Побудова є логічною, взаємоузгоджені формулювання об'єкту, предмету, мети, завдань, висновків, актуальність доведена	3
	Побудова роботи в цілому є логічною, формулювання назв розділів мають несуттєві змістовні або редакційні вади;	2
	Не визначено мету і завдання дослідження, не сформульовані об'єкт і предмет дослідження, не відображено історія і теорія питання	1
4. Цитування та наявність довідкового матеріалу	Досить	3
	Частково	2
	Не використовувалися	1
5. Наявність власних висновків, рекомендацій і пропозицій, власної позиції і її аргументації	Так	2
	Ні	1
6. Оформлення роботи	Відповідає повністю вимогам	3
	Відповідає частково вимогам	2
	Не відповідає вимогам	1
7. Бібліографія по темі роботи	Актуальною є й складена відповідно до вимог	3
	Актуальною є й частково відповідає вимогам	2
	Не відповідає вимогам	1
8. Оцінка на захист	Володіє матеріалом	7
	Частково володіє матеріалом	3-6
	Не володіє матеріалом	2
<b>Всього</b>		<b>27</b>

**Критерії підсумкової оцінки знань студентів  
(одне теоретичне питання екзаменаційного білету,  
крок оцінювання 2 бали)**

<b>Кількість балів</b>	<b>Критерії оцінки</b>
2	Студент розпізнає окремі об'єкти, явища і факти предметної галузі; знає і виконує базові технологічні застосування.
4	Студент має фрагментарні знання при незначному загальному їх обсязі (менше половини навчального матеріалу) за відсутності сформованих умінь та навичок.
6	Студент має рівень знань вищий, ніж початковий; може з допомогою викладача відтворити значну частину навчального матеріалу з елементами логічних зв'язків; має стійкі навички виконання елементарних технологічних застосувань та їх опрацювання.
8	Студент вільно володіє навчальним матеріалом, застосовує знання на практиці; вміє узагальнювати і систематизувати навчальну інформацію; самостійно виконує передбачені програмою навчальні завдання; самостійно знаходить і виправляє допущені помилки; може аргументовано обрати раціональний спосіб виконання навчального завдання.
10	Студент має стійкі системні знання та продуктивно їх використовує, стійкі навички керування інформаційною системою в нестандартних ситуаціях; уміє вільно використовувати нові інформаційні технології для поповнення власних знань та розв'язування задач.

**Критерії підсумкової оцінки знань студентів  
(одне практичне питання екзаменаційного білету,  
крок оцінювання 10 балів)**

<b>Кількість балів</b>	<b>Критерії оцінки</b>
10	Робота виконана не в повному обсязі. Допущені грубі помилки. Робота виконаний не самостійно.
20	Допущені більше однієї помилки або більше двох-трьох недоліків
30	Робота виконана повністю, але обґрунтувань кроків вирішення недостатньо. допущена одна помилка або два-три недоліку.
40	Робота виконана повністю. Немає помилок в логічних міркуваннях. можливо наявність однієї неточності або описки, які не є наслідком незнання або нерозуміння навчального матеріалу. студент показав повний обсяг знань, умінь в освоєнні пройдених тем і застосування їх на практиці

**Шкала оцінювання**

<b>Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру</b>	<b>Оцінка для чотирирівневої шкали оцінювання</b>
90-100	відмінно
70-89	добре
50-69	задовільно
1-49	незадовільно

## 10. Рекомендована література

### Основна література

1. Карташов М. В. Імовірність, процеси, статистика. — Київ : ВПЦ Київський університет, 2007. — 504 с.
2. Турчин В.М. Теорія ймовірностей, Основні поняття, приклади, задачі – Київ, А.С.К., 2004.
3. Жерновий Ю. В. Імітаційне моделювання систем масового обслуговування: практикум / Ю. В. Жерновий. — Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007.
4. Kallenberg O. Foundation of Modern Probability – Springer-Verlag, 1997.
5. W. M. C. Foulkes, L. Mitas, R. J. Needs and G. Rajagopal, Quantum Monte Carlo simulations of solids, reviews of Modern Physics 73 (2001) 33.

### Допоміжна література

1. Shneiderman B. Designing the User Interface, 3-rd edn. – Reading, MA: Addison-Wesley, 1998.
2. N. Metropolis, S. Ulam, The Monte Carlo Method, J. Amer. statistical assoc. 1949 44 № 247 335—341.

## 11. Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення

1. Теорія ймовірностей. — Вікіпедія (wikipedia.org)
2. Випадкова величина. — Вікіпедія (wikipedia.org).
3. Центральна гранична теорема. — Вікіпедія (wikipedia.org).
4. Стохастичний експеримент. — Вікіпедія (wikipedia.org)
5. Метод Монте-Карло. — Вікіпедія (wikipedia.org)
6. Квантовий метод Монте-Карло. — Вікіпедія (wikipedia.org)