



ТЕОРІЯ СКЛАДНОСТІ (ПО 4)

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>11 Математика та статистика</i>
Спеціальність	<i>113 Прикладна математика</i>
Освітня програма	<i>Математичні методи криптографічного захисту інформації</i>
Статус дисципліни	<i>Обов'язкова (нормативна) (цикл професійної підготовки)</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>Загальна кількість: 4 кредити ЄКТС / 120 год., з них Лекційних занять: 36 год. Практичних занять: 18 год. Самостійна робота студентів: 66 год.</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>екзамен, МКР, РР, поточний контроль</i>
Розклад занять	<i>http://ipt.kpi.ua/navchalnij-protses</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: к.ф.-м.н., Фесенко Андрій В'ячеславович (fesenko.andrii@lll.kpi.ua) Практичні: к.ф.-м.н., Фесенко Андрій В'ячеславович (fesenko.andrii@lll.kpi.ua)</i>
Розміщення курсу	<i>Google Classroom</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Навчальна дисципліна «Теорія складності» є однією з фундаментальних дисциплін у загальнонауковій підготовці студентів за спеціальністю 113 Прикладна математика, яка відповідає за опанування таких фундаментальних понять прикладної математики як обчислюваність, складність задачі та зведення задач.

Теорія обчислень або теорія алгоритмів є розділом математики та теоретичної інформатики, що досліджує задачі, які мають алгоритмічний розв'язок за певної моделі обчислень, ефективність та точність наявного розв'язку. Дисципліна «Теорія складності» присвячена опануванню трьох розділів теорії обчислень: теорії формальних мов, теорії обчислюваності або теорії рекурсивних функцій та теорії складності обчислень, вивчення яких є теоретичним фундаментом програмування, аналізу алгоритмів і всієї прикладної математики.

Метою навчальної дисципліни «Теорія складності» є ознайомлення студентів з основними поняттями, методами та результатами теорії обчислюваності та теорії складності обчислень, побудовою формальної моделі обчислень, поняттям обчислюваності, оцінюванням необхідних ресурсів для обчислення функцій або розв'язання задач та побудовою класифікації задач за їхньої складністю; формування у студентів навичок побудови алгоритмів в межах формальної моделі обчислень, використання зведень задач та використання наявної класифікації складності задач, тобто, ефективно застосовувати теоретичний математичний апарат для розв'язання практичних задач.

Предметом навчальної дисципліни є формальні моделі обчислень, методи визначення кількості необхідних ресурсів для обчислень, побудова класифікації обчислювальних задач у відповідності

до кількості використовуваних ресурсів, створення методів класифікації задач та використання класифікації задач для аналізу методів розв'язку.

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі результати навчання:

1) Знання:

- властивостей формальних мов;
- формальних моделей обчислень та їхніх властивостей;
- методів визначення кількості необхідних ресурсів для обчислень;
- методів зведення задач;
- класифікації задач за їхньою складністю.

2) Уміння:

- визначати можливість обчислення;
- оцінювати кількість необхідних ресурсів для обчислень;
- аналізувати складність задач;
- використовувати наявні розв'язки інших задач.

3) Досвід: вільно використовувати апарат теорії алгоритмів та теорії складності для дослідження складності задач довільної предметної області.

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі програмні компетентності та результати навчання за освітньою програмою:

Загальні компетентності

- ЗК 1 – Здатність учитися і оволодівати сучасними знаннями.
- ЗК 3 – Здатність генерувати нові ідеї (креативність).
- ЗК 4 – Здатність бути критичним і самокритичним.
- ЗК 6 – Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.
- ЗК 7 – Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.
- ЗК 8 – Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

Фахові компетентності

- ФК 1 – Здатність використовувати й адаптувати математичні теорії, методи та прийоми для доведення математичних тверджень і теорем.
- ФК 2 – Здатність виконувати завдання, сформульовані у математичній формі.
- ФК 14 – Здатність сформулювати математичну постановку задачі, спираючись на постановку мовою предметної галузі, та обирати метод її розв'язання, що забезпечує потрібні точність і надійність результату.
- ФК 18 – Навички розв'язування специфічних математичних та комп'ютерних задач, які виникають при розробці, реалізації та аналізі криптографічних систем.

Програмні результати навчання

- РН 1 – Демонструвати знання й розуміння основних концепцій, принципів, теорій прикладної математики і використовувати їх на практиці.
- РН 3 – Формалізувати задачі, сформульовані мовою певної предметної галузі; формулювати їх математичну постановку та обирати раціональний метод вирішення; розв'язувати отримані задачі аналітичними та чисельними методами, оцінювати точність та достовірність отриманих результатів.
- РН 4 – Виконувати математичний опис, аналіз та синтез дискретних об'єктів та систем, використовуючи поняття й методи дискретної математики та теорії алгоритмів.
- РН 7 – Вміти проводити практичні дослідження та знаходити розв'язок некоректних задач.
- РН 14 – Виявляти здатність до самонавчання та продовження професійного розвитку.
- РН 15 – Уміти організувати власну діяльність та одержувати результат у рамках обмеженого часу.
- РН 19 – Збирати та інтерпретувати відповідні дані й аналізувати складності в межах своєї спеціалізації для донесення суджень, які відбивають відповідні соціальні та етичні проблеми.
- РН 21 – Вміти формулювати та розв'язувати алгебраїчні та комбінаторні задачі, будувати та реалізовувати комбінаторні алгоритми та алгоритми прикладної алгебри, аналізувати теоретичну та практичну складність таких алгоритмів.

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

Для засвоєння матеріалу курсу “Теорія складності” студент повинен успішно та вчасно опанувати курс “Математична логіка та теорія алгоритмів”.

Отримані практичні навички та засвоєні знання є необхідними для опанування таких дисциплін як “Спеціальні розділи обчислювальної математики”, “Симетрична криптографія” та “Спеціальні розділи теорії складності” (вибіркова дисципліна).

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Властивості машини Тюрінга.

Тема 1.1. Варіанти машини Тюрінга та їхні властивості.

Тема 1.2. Операції над машинами Тюрінга.

Тема 1.3. Конструктивні функції.

Розділ 2. Теорія обчислюваності.

Тема 2.1. Вирішувані та рекурсивно злічені мови.

Тема 2.2. Метод діагоналізації та теорема Райса.

Розділ 3. Теорія складності обчислень.

Тема 3.1. Зведення мов.

Тема 3.2. Класи складності за часом.

Тема 3.3. Класи складності за пам'яттю.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова рекомендована література

1. *Клакович Л.М., Левицька С.М., Костів О.В.* Теорія алгоритмів. Навчальний посібник. — Л.: Вид. центр ЛНУ ім. І. Франка, 2008. — 140 с.
2. *Кривий С.Л.* Дискретна математика: вибрані питання. — К.: Вид. дім “Києво-Могилянська академія”, 2007. — 572 с.
3. *Лісовик Л.П., Шкільняк С.С.* Теорія алгоритмів. Навчальний посібник. — К.: ВПЦ Київський університет, 2003. — 163 с.
4. *Шкільняк С.С.* Теорія алгоритмів. Приклади й задачі: Навчальний посібник. — К.: ВПЦ Київський університет, 2012. — 151 с.

Допоміжна рекомендована література

1. *S. Arora, B. Barak* Computational Complexity: A Modern Approach. [Електронний ресурс] — Cambridge University Press, 2009. — 594 pp. — ISBN13: 9780521424264. Режим доступу: <http://theory.cs.princeton.edu/complexity/>
2. *M. Sipser* Introduction to the Theory of Computation (3 ed.). — Cengage Learning, 2012. — 480 pp. — ISBN-13: 978-1-133-18779-0.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Навчання здійснюється на основі студентоцентрованого підходу та стратегії взаємодії викладача та студентів для засвоєння студентами матеріалу та опанування практичних навичок. Для лекційних занять використовуються пояснювально-ілюстративний метод та метод проблемного викладу, для проведення практичних занять — репродуктивний і частково-пошуковий метод, а також метод проблемного викладу. За джерелом передачі змісту для проведення лекційних занять застосовуються словесний метод, а для проведення практичних занять — практичний метод.

Дистанційна форма навчання: платформа дистанційного навчання «Сікорський» на основі системи Google Classroom та платформа для проведення онлайн-зустрічей Zoom, електронна пошта, канали Telegram.

Лекційні заняття

Перелік лекційних занять наводиться у послідовності їхнього викладання та опанування. Кожне заняття займає дві академічні години аудиторного часу та вимагає в середньому годину самостійної роботи.

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань
Розділ 1. Властивості машини Тюрінга.	
1	<i>Варіанти машини Тюрінга та їхні властивості.</i> Асимптотична нотація. Задачі розпізнавання. Формальні мови. Схеми кодування.
2	Однострічкова детермінована машина Тюрінга як модель обчислень. Особливості багатовстрічкової детермінованої машини Тюрінга.
3	Варіанти машини Тюрінга та їхні властивості. <i>Операції над машинами Тюрінга.</i>
4	<i>Конструктивні функції.</i> Конструктивні за часом та пам'яттю функції.
5	Теорема про лінійне прискорення. Теорема Блюма про прискорення.
Розділ 2. Теорія обчислюваності.	
6	Загальна теорія алгоритмів. Нумерація Геделя. Теорема про необчислювану функцію. s_n^m теорема Клейні. Універсальна функція. Теорема про нерухому точку.
7	<i>Вирішувані та рекурсивно злічені мови.</i>
8	<i>Метод діагоналізації та теорема Райса..</i> Метод діагоналізації. Задача <i>HALT</i> . Приклади невирішуваних задач.
9	Теорема Райса та її застосування.
10	Функції Радо. Загальні властивості класів складності та операції над ними. Властивості класів складності <i>ALL</i> , <i>RE</i> , <i>R</i> та <i>NRNC</i> .
Розділ 3. Теорія складності обчислень.	
11	<i>Зведення мов.</i> Поняття зведення мов та задач та його властивості. Функціональне зведення. <i>t</i> -зведення та 1-зведення. Машина Тюрінга з оракулом та зведення мов за Тюрінгом та Куком. Табличне зведення мов.
12	<i>Класи складності за часом.</i> Детерміновані класи складності за часом. Клас складності P . Поліноміальне зведення мов та зведення за Куком. Недетермінована машина Тюрінга та її властивості. Клас складності <i>NP</i> . Порівняння класів <i>P</i> та <i>NP</i> .
13	<i>NP-повні задачі, їхні властивості та приклади зведення.</i> Теореми Кука та Ладнера. Теореми про ієрархію за часовою складністю.
14	Класи складності <i>EXP</i> , <i>NEXP</i> , <i>coNP</i> та їх взаємозв'язок з класами <i>P</i> та <i>NP</i> . Метод доповнення. Теорема Бейкера-Джіла-Соловея.
15	<i>Класи складності за пам'яттю.</i> Просторова складність обчислень. Теорема Севіча. Властивості класу <i>PSPACE</i> .
16	Властивості зведення з логарифмічно обмеженою пам'яттю. Клас складності <i>NL</i> . Сертифікати в класі <i>NL</i> та <i>NL</i> -повні задачі. Теорема Іммермана-Селепченї.
17	Альтернативна машина Тюрінга. Поліноміальна ієрархія.
18	Загальна структура класів складності та її застосування.

Практичні заняття

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань
1	Формальні мови. Асимптотична нотація. Машина Тюрінга.
2	Багатострічкова детермінованої машини Тюрінга. Варіанти машини Тюрінга та їхні властивості.
3	Конструктивні за часом та пам'яттю функції.
4	МКР частина №1. Загальна теорія алгоритмів.
5	Метод діагоналізації. Застосування теореми Райса.
6	Загальні властивості класів складності та операції над ними. Зведення мов.
7	Класи складності P та NP . Поліноміальне зведення. NP -повні мови.
8	МКР частина №2. Просторова складність обчислень та класи складності за пам'яттю.
9	Просторова складність обчислень та класи складності за пам'яттю. Теор. тест. МКР частина №3.

6. Самостійна робота студента

Студент повинен завчасно готуватись до лекцій та практичних занять. Перед лекціями необхідно повторити теоретичний матеріал, наданий у попередніх лекціях. Перед практичними заняттями необхідно повторити відповідний теоретичний матеріал.

Обов'язковим є виконання домашніх завдань, які необхідно виконувати до вказаного терміну.

Виконання та ревізія виконаних домашніх завдань також необхідні для підготовки до модульної контрольної роботи.

З метою кращого засвоєння матеріалу дисципліни, а також формування навичок самостійної роботи студентам пропонується виконати розрахункову роботу за індивідуально обраними темами, погодженими з викладачем. Для підготовки до виконання розрахункової роботи слід скористатися рекомендованою літературою та записами лекцій. Кінцевий термін виконання розрахункової роботи оголошується викладачем.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни освітнього компонента

Форми організації освітнього процесу, види навчальних занять і оцінювання результатів навчання регламентуються *Положенням про організацію освітнього процесу в Національному технічному університеті України "Київському політехнічному інституті імені Ігоря Сікорського"*.

Відвідування занять

Студентам рекомендується відвідувати усі види занять, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для виконання домашніх завдань та модульної контрольної роботи. Система оцінювання орієнтована на отримання балів за активність студента, а також виконання завдань, які здатні розвинути практичні уміння та навички.

Матеріал занять, які були з тих чи інших причин пропущені, необхідно опанувати самостійно.

Оголошення результатів контрольних заходів

Результати виконання домашніх завдань оголошуються кожному студенту окремо у присутності або у дистанційній формі та супроводжуються коментарями, в яких студенти можуть побачити свою оцінку за певними критеріями, а також виокремлення основних помилок та зауваження.

Результати модульної контрольної роботи вказуються на бланках для модульної контрольної роботи (завдання, які виконували студенти) з позначенням усіх помилок, коректної або некоректної відповіді, а також з коментарями, зауваженнями тощо.

Результати теоретичного тесту вказуються на бланках для теоретичних тестів (завдання, які виконували студенти) з позначенням усіх помилок, коректної або некоректної відповіді, а також з коментарями, зауваженнями тощо.

Результат розрахункової роботи вказується на бланках для розрахункової роботи (завдання, які виконували студенти) з позначенням усіх помилок, коректної або некоректної відповіді, а також з коментарями, зауваженнями тощо.

Результати письмової частини екзамену вказуються на бланках для письмової екзаменаційної роботи (завдання, які виконували студенти) з позначенням усіх помилок, коректної або некоректної відповіді, а також з коментарями, зауваженнями тощо. Результати усної частини екзамену оголошуються наприкінці її проходження.

Політика академічної поведінки та доброчесності

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>.

Конфліктні ситуації мають відкрито обговорюватись в академічних групах з викладачем, необхідно бути взаємно толерантним, поважати думку іншого. Плагіат та інші форми нечесної роботи є неприпустимими.

Всі індивідуальні завдання студент має виконати самостійно із використанням рекомендованої літератури й отриманих знань та навичок. Цитування в письмових роботах допускається тільки із відповідним посиланням на авторський текст. Недопустимими є підказки і списування у ході теоретичних опитувань, на контрольних роботах і тестах, та на екзамені.

У разі порушення принципів академічної доброчесності студентом він може бути не допущеним до основного складання екзамену. Бали семестрового рейтингу, набрані з порушенням принципів академічної доброчесності, будуть анульовані.

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: <https://kpi.ua/code>.

Зокрема, необхідно дотримуватись моральних норм, правил етичної поведінки, принципів та правил академічної доброчесності. Повага один до одного дає можливість ефективніше досягати поставлених командних результатів. Тому необхідно дотримуватись таких норм академічної етики як дисциплінованість, дотримання субординації, чесність, відповідальність, робота в аудиторії з вимкненими мобільними телефонами. При використанні свого ноутбука або телефону (чи інших пристроїв) для аудіо- чи відеозапису під час лекційних або практичних занять, необхідно заздалегідь отримати дозвіл викладача.

Процедура оскарження результатів контрольних заходів

Студенти мають можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури проведення та/або оцінювання контрольних заходів, та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед визначеними процедурами.

Студенти мають право оскаржити результати контрольних заходів, але обов'язково аргументовано, пояснивши, з яким критерієм не погоджуються відповідно до наведених зауважень.

Правила призначення заохочувальних балів

Передбачено заохочувальні бали за

- вчасне розв'язання додаткових задач домашніх робіт (до 5 заохочувальних балів);
- активність на практичних заняттях та інших видах спілкування при вивченні курсу (до 5 заохочувальних балів).

Загальна кількість зароблених заохочувальних балів для одного студента за семестр не може перевищувати 6 балів. Заохочувальні бали виставляються виключно наприкінці курсу і не впливають на проміжні атестації.

Політика виконання домашніх завдань

Виконані завдання домашніх робіт надсилаються студентами через сервіс Google Classroom (відповідне посилання надається викладачем на першому занятті) у форматі Portable Document Format (.pdf) у вигляді одного файлу, але дозволяється завантажувати додаткові розв'язки у форматі Portable Document Format (.pdf). Інші формати необхідно завчасно узгодити з викладачем. Орієнтація всіх сторінок має бути такою, що дозволяє читати текст без додаткових поворотів. Заборонено надсилати домашні роботи у вигляді архівів та посилань на зовнішні ресурси.

При порушеннях оформлення виконана домашня робота може бути повернена на доопрацювання без збереження дати початкового надсилання.

Виконана домашня робота вважається зарахованою, якщо:

- правильно виконано більше 30% обов'язкових задач;

- не виявлено плагіату у роботі;
- отримано відповідне підтвердження у вигляді оцінки від викладача через сервіс Google Classroom.

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

№ з/п	Контрольний захід	Макс. бал	Ваговий бал	Кіл-ть	Усього
1.	Модульна контрольна робота	31	1	1	31
2.	Виконання домашніх завдань	1	1	9	9
3.	Теоретичний тест	10	1	1	10
4.	Розрахункова робота	10	1	1	10
5.	Екзамен	40	1	1	40
	Усього				100

Поточний контроль

Поточний контроль здійснюється шляхом перевірки домашніх робіт. За активну роботу на практичних заняттях передбачені заохочувальні бали.

Календарний контроль

Проміжна атестація студентів (далі — атестація) є календарним рубіжним контролем поточного стану виконання вимог силабусу та проводиться двічі за семестр, на 8-му та 14-му навчальному тижнях кожного семестру. Для одержання першої атестації (на 8-му навчальному тижні) та другої атестації (на 14-му навчальному тижні) поточний рейтинг студента повинен бути щонайменше 60% від максимуму балів, які студент може отримати за всі контрольні заходи, що відбулися на час атестації.

Зауважимо, що оцінювання виконання домашніх завдань та розрахункової роботи відбувається наприкінці семестру, як і виставлення загальної кількості заохочувальних балів, а, отже, на проміжну атестацію студентів впливають виключно результати всіх частин модульної контрольної роботи, оцінених до моменту виставлення проміжної атестації.

Таким чином на результат першої атестації впливають тільки оцінки за першу частину модульної контрольної роботи (максимальна кількість балів за яку дорівнює 12). На результат другої атестації впливають додатково оцінки за другу частину модульної контрольної роботи (максимальна кількість балів за яку дорівнює 12).

Таблиця необхідної кількості балів для отримання проміжних атестацій

<i>Проміжна атестація</i>	<i>Максимально можлива кількість балів</i>	<i>Необхідна кількість балів</i>
перша атестація	12	7
друга атестація	24	14

Семестровий контроль

Оцінка результатів роботи студента в семестрі є сумою всіх балів, які він отримує:

- за виконання модульної контрольної роботи;
- за виконання домашніх робіт;
- за написання теоретичного тесту;
- за розрахункову роботу;
- як заохочувальні бали.

Семестрова атестація (екзамен) проводиться зі студентами, які були допущені за результатами роботи протягом семестру. Необхідними умовами допуску до складання екзамену на основній сесії є:

- семестровий рейтинг є не меншим ніж 25 балів;
- зараховані всі домашні роботи.

Рейтингова оцінка складається з результатів роботи в семестрі та результатів екзамену. Іспит включає в себе практичну частину (3 задачі, 24 бали) та теоретичну частину (2 питання з різних змістовних частин дисципліни, 16 балів). Під час екзамену забороняється використання будь-яких додаткових довідкових матеріалів.

Рейтингова оцінка з урахуванням заохочувальних балів не може перевищувати 100 балів.

Студенти, які не одержали позитивної оцінки за результатами екзамену на основній сесії, йдуть на складання екзамену на додатковій сесії.

Студенти, які протягом семестру отримали від 10 до 24 балів включно, не допускаються до складання екзамену на основній сесії. Замість екзамену такі студенти виконують додаткову письмову роботу (5 задач, 20 балів), результати якої додають до семестрового рейтингу; якщо після виконання додаткової роботи семестровий рейтинг стає більшим за 25 балів, студент допускається до семестрової атестації на перескладанні; в іншому випадку результати додаткової роботи анулюються, а на перескладанні студент повторно виконує додаткову письмову роботу.

Необхідні умови допуску до складання екзамену на додатковій сесії є такими ж як і на основній сесії. Робота при складанні екзамену на додатковій сесії має той самий вигляд, як і на основній сесії. На перескладанні результати основного екзамену анулюються, а рейтингова оцінка складатиметься із семестрового рейтингу та результатів складання екзамену на додатковій сесії.

Студенти, які після складання екзамену на додатковій сесії не одержали позитивної оцінки, йдуть на повторне перескладання дисципліни спеціалізований атестаційній комісії. Формат повторного перескладання визначається комісією.

Студенти, які протягом семестру одержали менше 10 балів, не допускаються до складання семестрової атестації та рекомендуються кафедрі на відрахування або повторне проходження дисципліни.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Склав: ст. викладач кафедри ММЗІ, к.ф.-м.н. Фесенко Андрій В'ячеславович.

Ухвалено кафедрою математичних методів захисту інформації (протокол №6 від 19.06.2024).

Погоджено Методичною комісією НН ФТІ (протокол №6 від 27.06.2024).