



ЕВОЛЮЦІЙНІ МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>12 Інформаційні технології</i>
Спеціальність	<i>124 «Системний аналіз»</i>
Освітня програма	<i>Системний аналіз і управління</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>3 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити ЕКТС</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік</i>
Розклад занять	<i>rozklad.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: <i>д.т.н. Савченко Ілля Олександрович, savi1.ua@gmail.com</i> Практичні заняття: <i>д.т.н. Савченко Ілля Олександрович, savi1.ua@gmail.com</i>
Розміщення курсу	<i>Google classroom</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Курс «Еволюційні методи оптимізації» є важливим предметом у підготовці системних аналітиків з уміння ставити і розв'язувати складні оптимізаційні задачі, підбирати і модифікувати методи оптимізації відповідно до поставлених задач.

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів здатностей вибору між класичними та метаевристичними методами оптимізації для поставлених задач, підбору і налаштування еволюційних методів оптимізації для досягнення найкращої якості оптимізації; прищеплення навиків творчого використання сучасних еволюційних та метаевристичних методів оптимізації для складних багатопараметричних, багатоекстремальних задач.

В ході вивчення дисципліни студенти отримують знання теоретичних основ метаевристичних методів оптимізації; широкого спектру еволюційних підходів, методів, алгоритмів оптимізації для складних задач однокритеріальної оптимізації (в тому числі комбінаторних задач) і багатокритеріальної оптимізації; особливостей, сильних і слабких сторін різних еволюційних методів оптимізації; програмних засобів моделювання та ін. В результаті вивчення дисципліни формуються уміння вибрати найбільш раціональний метод оптимізації для розв'язання поставленої задачі; перевірити якість роботи методу оптимізації на спеціальних функціях; варіювати і підібрати найбільш ефективні параметри для роботи еволюційного методу оптимізації; знайти глобальне оптимальне рішення складної багатопараметричної задачі оптимізації, використовуючи різні метаевристичні підходи, методи, алгоритми оптимізації; та ін. Як наслідок проходження освітнього компоненту студенти отримують досвід розв'язання задач однокритеріальної оптимізації (в тому числі комбінаторних), багатокритеріальної оптимізації широким спектром еволюційних методів

оптимізації; дослідження якості оптимізації різними метаевристичними методами при варіюванні їх параметрів.

Студенти після засвоєння навчальної дисципліни отримують додаткові знання, уміння та навички до компетентностей, визначених освітньо-професійною програмою:

Загальні компетентності (ЗК):

1. Здатність абстрактно мислити, застосовувати методи аналізу і синтезу (ЗК 3).
2. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел (ЗК 7).
3. Здатність генерувати нові ідеї (креативність) (ЗК 11).
4. Здатність забезпечувати та оцінювати якість виконуваних робіт (ЗК 14).

Фахові компетентності спеціальності (ФК):

1. Здатність використовувати системний аналіз в якості сучасної міждисциплінарної методології, заснованої на прикладах математичних методів та сучасних інформаційних технологіях, і орієнтована на вирішення задач аналізу і синтезу технічних, економічних, соціальних, екологічних та інших складних систем (ФК 1).
2. Здатність формалізувати проблеми, описані природною мовою, у тому числі за допомогою математичних методів, застосовувати загальні підходи до математичного моделювання конкретних процесів (ФК 2).
3. Здатність формулювати задачі оптимізації при проектуванні систем управління та прийняття рішень, а саме: математичні моделі, критерії оптимальності, обмеження, цілі управління; обирати раціональні методи та алгоритми розв'язання задач оптимізації та оптимального керування (ФК 5).
4. Здатність до комп'ютерної реалізації математичних моделей реальних систем і процесів; проектувати, застосовувати і супроводжувати програмні засоби моделювання, прийняття рішень, оптимізації, обробки інформації, інтелектуального аналізу даних (ФК 6).
5. Здатність використовувати сучасні інформаційні технології для комп'ютерної реалізації математичних моделей та прогнозування поведінки конкретних систем, а саме: об'єктно-орієнтований підхід при проектуванні складних систем різної природи, прикладні математичні пакети, застосування баз даних і знань (ФК 7).
6. Здатність організовувати роботу з аналізу та проектування складних систем, створення відповідних інформаційних технологій та програмного забезпечення (ФК 8).

Програмні результати навчання (ПРН):

1. Знати та вміти застосовувати основні методи постановки та вирішення задач системного аналізу в умовах невизначеності цілей, зовнішніх умов і конфліктів (ПРН 06).
2. Знати основи теорії оптимізації, оптимального керування, теорії прийняття рішень, вміти застосовувати їх на практиці для розв'язування прикладних задач управління і проектування складних систем (ПРН 07).
3. Володіти сучасними методами розробки програм і програмних комплексів та прийняття оптимальних рішень щодо складу програмного забезпечення, алгоритмів процедур і операцій (ПРН 08).
4. Застосовувати методи і засоби роботи з даними і знаннями, методи математичного, логіко-семантичного, об'єктного та імітаційного моделювання, технології системного і статичного аналізу (ПРН 12).
5. Розуміти і застосовувати на практиці методи статичного моделювання і прогнозування, оцінювати вихідні дані (ПРН 14).

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

Пререквізити: викладання навчальної дисципліни базується на знаннях і уміннях працювати з задачами оптимізації, математичними моделями, розв'язувати і досліджувати математичні рівняння і системи рівнянь; вміти створювати програмні компоненти для імплементації відповідних процедур. Ці компетентності отримуються у результаті вивчення попередніх навчальних дисциплін, зокрема: «Методи оптимізації і дослідження операцій», «Математичний

аналіз», «Дискретна математика», «Алгебра і геометрія», «Програмування та алгоритмічні мови».

Постреквізити: знання і уміння розв'язувати складні задачі оптимізації є необхідною навичкою для опанування деяких розділів дисципліни «Основи системного аналізу» та ряду вибіркових дисциплін, також можуть бути застосовані у дипломному проектуванні.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Генетичний алгоритм і його модифікації

Розділ 2. Метаевристичні методи, що базуються на популяціях розв'язків

Тема 2.1. Метод рою часток.

Тема 2.2. Імунний алгоритм.

Розділ 3. Метаевристичні методи оптимізації у комбінаторних задачах

Тема 3.1. Метод імітації відпалу.

Тема 3.2. Метод табу-пошуку.

Тема 3.3. Мурашиний алгоритм.

Розділ 4. Сучасні метаевристичні методи, основані на метафорах

Тема 4.1. Гармонійний пошук.

Тема 4.2. Метод гравітаційного пошуку.

Тема 4.3. Алгоритм змагання імперій.

Тема 4.4. Алгоритми з різними біологічними метафорами.

Тема 4.5. Алгоритм оптимізації спіральним пошуком.

Тема 4.6. Алгоритми з мікробіологічними метафорами.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література:

1. Whitley, Darrell (1994). "A genetic algorithm tutorial". *Statistics and Computing*. 4 (2): 65–85.
2. Schmitt, Lothar M. (2001). "Theory of Genetic Algorithms". *Theoretical Computer Science*. 259 (1–2): 1–61.
3. Storn, R., Price, K. *Differential Evolution – A Simple and Efficient Heuristic for global Optimization over Continuous Spaces*. *Journal of Global Optimization* 11, 341–359 (1997).
4. Srinivas, N. & Deb, Kalyanmoy. (2000). *Multiobjective Function Optimization Using Nondominated Sorting Genetic Algorithms*.
5. Bonyadi, M. R.; Michalewicz, Z. (2017). "Particle swarm optimization for single objective continuous space problems: a review". *Evolutionary Computation*. 25 (1): 1–54.
6. Köster, M., Grauel, A., Klene, G., Convey, H. (2003). *A New Paradigm of Optimisation by Using Artificial Immune Reactions*. In: Palade, V., Howlett, R.J., Jain, L. (eds) *Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems. KES 2003. Lecture Notes in Computer Science()*, vol 2773. Springer, Berlin, Heidelberg.
7. Kirkpatrick, S.; Gelatt Jr, C. D.; Vecchi, M. P. (1983). "Optimization by Simulated Annealing". *Science*. 220 (4598): 671–680.
8. Fred Glover (1989). "Tabu Search – Part 1". *ORSA Journal on Computing*. 1 (2): 190–206.

9. Dorigo, Gambardella, M, L.M. (1997). "Learning Approach to the Traveling Salesman Problem". *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*. 1 (1): 214.

Допоміжна література:

10. Sörensen, K. (2015), *Metaheuristics—the metaphor exposed*. *Intl. Trans. in Op. Res.*, 22: 3-18.

11. Černý, V. (1985). "Thermodynamical approach to the traveling salesman problem: An efficient simulation algorithm". *Journal of Optimization Theory and Applications*. 45: 41–51.

12. Fred Glover (1990). "Tabu Search – Part 2". *ORSA Journal on Computing*. 2 (1): 4–32.

13. Zong Woo Geem; Joong Hoon Kim; Loganathan, G.V. (2016). "A New Heuristic Optimization Algorithm: Harmony Search". *Simulation*. 76 (2): 60–8.

14. X. Z. Gao, V. Govindasamy, H. Xu, X. Wang, and K. Zenger (2015). "Harmony Search Method: Theory and Applications". *Computational Intelligence and Neuroscience*. 2015, 10 p.

15. Rashedi, Esmat; Nezamabadi-Pour, Hossein; Saryazdi, Saeid (2009). "GSA: A Gravitational Search Algorithm". *Information Sciences*. 179 (13): 2232.

16. Mittal, H., Tripathi, A., Pandey, A.C. et al. (2021). "Gravitational search algorithm: a comprehensive analysis of recent variants". *Multimedia Tools and Applications*. 80: 7581–7608.

17. Atashpaz-Gargari, E.; Lucas, C (2007). "Imperialist Competitive Algorithm: An algorithm for optimization inspired by imperialistic competition". *IEEE Congress on Evolutionary Computation*. Vol. 7. pp. 4661–4666.

18. Seyedmohsen Hosseini, Abdullah Al Khaled (2014). "A survey on the Imperialist Competitive Algorithm metaheuristic: Implementation in engineering domain and directions for future research". *Applied Soft Computing*. 24: 1078–1094.

19. Yang, Xin-She. (2010). *Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms*.

20. Yang, X. S. (2010). "A New Metaheuristic Bat-Inspired Algorithm, in: *Nature Inspired Cooperative Strategies for Optimization (NISCO 2010)*". *Studies in Computational Intelligence*. 284: 65–74.

21. Parpinelli, Rafael & Lopes, Heitor. (2011). "New inspirations in swarm intelligence: A survey". *International Journal of Bio-Inspired Computation*. 3:1–16.

22. K. N. Krishnanand and D. Ghose. (2005). "Detection of multiple source locations using a glowworm metaphor with applications to collective robotics". *Proceedings 2005 IEEE Swarm Intelligence Symposium, 2005*, pp. 84-91.

23. Tamura, K.; Yasuda, K. (2011). "Spiral Dynamics Inspired Optimization". *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*. 132 (5): 1116–1121.

24. Tamura, K.; Yasuda, K. (2016). "Spiral Optimization Algorithm Using Periodic Descent Directions". *SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration*. 9 (3): 134–143.

25. Passino, Kevin. (2002). "Biomimicry of Bacterial Foraging for Distributed Optimization and Control". *IEEE Control Systems Magazine* 22(3), 52–67.

26. Shimin Li, Huiling Chen, Mingjing Wang, Ali Asghar Heidari, Seyedali Mirjalili (2020). "Slime mould algorithm: A new method for stochastic optimization". *Future Generation Computer Systems*. Volume 111: 300–323.

27. Moscato, P. (1989). "On Evolution, Search, Optimization, Genetic Algorithms and Martial Arts: Towards Memetic Algorithms". *Caltech Concurrent Computation Program (report 826)*.

28. Moscato, P., Mathieson, L. (2019). "Memetic Algorithms for Business Analytics and Data Science: A Brief Survey". In: Moscato, P., de Vries, N. (eds) *Business and Consumer Analytics: New Ideas*.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

№	Назва теми лекції та перелік основних питань
1–2	<p>Поняття про метавевристичні алгоритми оптимізації.</p> <p>Поняття метавевристичних алгоритмів оптимізації. Відмінності у підходах між еволюційними і класичними методами оптимізації. Переваги і недоліки метавевристичних методів оптимізації. Особливості задач, для яких доцільне використання метавевристичних методів. Проблема глобальної оптимізації і балансу між пошуком і уточненням.</p> <p>Рекомендована література [1, 2, 3, 10].</p> <p>Завдання на СРС: Багатоекстремальні тестові функції.</p>
3	<p>Генетичний алгоритм.</p> <p>Ідея і розвиток генетичного алгоритму оптимізації. Елементи генетичного алгоритму. Типи кодувань для неперервного простору: двійкове, природне. Приклади функцій кросоверу і мутації. Оператори відбору. Параметри алгоритму і їх вплив на ефективність оптимізації.</p> <p>Рекомендована література: [1, 2, 3].</p> <p>Завдання на СРС: Підхід генетичного програмування.</p>
4	<p>Додаткові можливості генетичного алгоритму.</p> <p>Проблема генерації початкової популяції. Генерація початкових популяцій на основі послідовності Холтона. Застосування генетичного алгоритму в комбінаторних задачах. Застосування генетичного алгоритму для багатокритеріальної оптимізації.</p> <p>Рекомендована література: [3, 4].</p> <p>Завдання на СРС: Метод диференційованої еволюції як різновид генетичного алгоритму.</p>
5–6	<p>Метод рою часток.</p> <p>Оптимізація функції методом рою часток. Адаптивні варіанти методу. Варіації методу з різними топологіями рою. Алгоритми з подібними метафорами: метод колонії бджіл, метод зграї риб.</p> <p>Рекомендована література: [5].</p> <p>Завдання на СРС: Метод множинних роїв часток.</p>
7	<p>Імунний алгоритм.</p> <p>Ідея представлення точок як клітин, і екстремумів як антигенів. Підхід до оптимізації функцій на основі імунного алгоритму. Параметри алгоритму і їх вплив на ефективність оптимізації.</p> <p>Рекомендована література: [6].</p> <p>Завдання на СРС: Приклади використання імунного алгоритму у різних задачах.</p>

8	<p>Метод імітації відпалу.</p> <p>Випадкове блукання Монте-Карло. Метод оптимізації шляхом імітації відпалу. Ідея використання стрибків точки пошуку для подолання локальних екстремумів. Вплив графіку зниження температури на ефективність алгоритму. Термодинамічна імітація відпалювання.</p> <p>Рекомендована література: [7, 11].</p> <p>Завдання на СРС: Метод квантового відпалу.</p>
9	<p>Метод табу-пошуку.</p> <p>Метод оптимізації шляхом табу-пошуку. Ідея запобігання передчасного збігу до локального екстремуму шляхом списку заборон. Варіанти формування списку заборон. Функція прагнення. Короткострокова, середньострокова і довгострокова пам'ять в задачах оптимізації.</p> <p>Рекомендована література: [8, 12].</p> <p>Завдання на СРС: Модифікації алгоритму з використанням середньострокової і довгострокової пам'яті.</p>
10	<p>Мурашиний алгоритм.</p> <p>Ідея підходу штучних феромонів в задачах оптимізації. Використання мурашиного алгоритму в комбінаторних задачах. Метод мурашиної колонії і його відмінності від базового алгоритму.</p> <p>Рекомендована література: [9].</p> <p>Завдання на СРС: Паралельний алгоритм мурашиної колонії.</p>
11	<p>Гармонійний пошук.</p> <p>Використання гармонійного пошуку в задачах оптимізації. Ідея генерації нового рішення як поєднання всіх попередніх рішень у «гармонійній пам'яті». Параметри алгоритму і їх вплив на ефективність оптимізації. Доповнення і модифікації методу.</p> <p>Рекомендована література: [13, 14].</p> <p>Завдання на СРС: Приклади використання гармонійного пошуку у різних задачах.</p>
12	<p>Метод гравітаційного пошуку.</p> <p>Метафора центрів тяжіння як напрямків пошуку екстремуму. Формулювання методу гравітаційного пошуку в задачах оптимізації. Параметри алгоритму і їх вплив на ефективність оптимізації. «Розумний» гравітаційний пошук.</p> <p>Рекомендована література: [15, 16].</p> <p>Завдання на СРС: Багатокритеріальний гравітаційний пошук.</p>
13	<p>Алгоритм змагання імперій.</p> <p>Метафора імперій, що змагаються за колонії як процесу оптимізаційного пошуку. Алгоритм змагання імперій для пошуку екстремуму функції. Еволюційні оператори асиміляції, захоплення колоній.</p> <p>Рекомендована література: [17, 18].</p> <p>Завдання на СРС: Модифікації методу.</p>

14	<p>Алгоритми з різними біологічними метафорами. Алгоритми кажана, світлячка, рою світлячків.</p> <p>Використання алгоритму кажана для пошуку екстремуму функції. Метафора світимості як індикатора значення цільової функції. Алгоритм світлячка. Алгоритм рою світлячків.</p> <p>Рекомендована література: [19–22].</p> <p>Завдання на СРС: Приклади використання алгоритмів у різних задачах.</p>
15	<p>Алгоритм оптимізації спіральним пошуком.</p> <p>Застосування алгоритму спірального пошуку для задач оптимізації. Двовимірний і N-вимірний випадки. Модифікація спірального алгоритму з періодичними напрямками спуску. Стохастичний спіральний пошук. Адаптивний спіральний пошук.</p> <p>Рекомендована література: [23, 24].</p> <p>Завдання на СРС: Гібридизація спірального пошуку з іншими еволюційними алгоритмами.</p>
16	<p>Алгоритми з мікробіологічними метафорами.</p> <p>Алгоритм бактеріального збирання. Еволюційні оператори хемотаксису, репродукції, очищення і поширення. Модифікація алгоритму на основі міжклітинної взаємодії. Алгоритм слизової цвілі.</p> <p>Рекомендована література: [25, 26].</p> <p>Завдання на СРС: Приклади використання алгоритмів у різних задачах.</p>
17	<p>Меметичні алгоритми як розширення еволюційних методів.</p> <p>Підхід до поліпшення якості еволюційних алгоритмів і запобігання передчасному збігу за рахунок меметичних алгоритмів. Ідея навчання агентів у процесі пошуку екстремуму. Перше і друге покоління меметичних алгоритмів.</p> <p>Рекомендована література: [27, 28].</p> <p>Завдання на СРС: Використання меметичних алгоритмів у різних задачах.</p>
18	<p>Узагальнення і систематизація отриманих знань</p> <p>Теорема “No Free Lunch” і відсутність універсальних методів. Важливість балансу між диверсифікацією і інтенсифікацією на прикладі вивчених методів. Типові елементи метаевристичних алгоритмів і варіанти їх модифікації.</p>

Практичні заняття

№	Тема практичного заняття
1–2	Застосування генетичного алгоритму в задачах однокритеріальної оптимізації.
3–4	Застосування генетичного алгоритму в задачах багатокритеріальної оптимізації.
5	Застосування методів рою часток, імунного алгоритму в задачах оптимізації.
6	Застосування методів імітації відпалу, табу-пошуку, мурашиного алгоритму в комбінаторних задачах оптимізації.
7	Застосування методів гармонійного пошуку, гравітаційного пошуку в задачах оптимізації.
8	Застосування алгоритмів змагання імперій, кажана, світлячка, рою світлячків в задачах оптимізації.

9	<i>Застосування алгоритмів спірального пошуку, бактеріального збирання, слизової цвілі в задачах оптимізації.</i>
---	---

6. Самостійна робота здобувача вищої освіти

Самостійна робота студента складається з опрацювання тем, винесених на самостійне вивчення в п. 5, а також виконання індивідуального завдання – імплементації і дослідження еволюційних алгоритмів оптимізації в задачах однокритеріальної і багатокритеріальної оптимізації.

Результати побудови і аналізу моделі оформлюються у вигляді звітів, що відповідають трьом практичним роботам.

№	Назва комп'ютерного практикуму
1	<i>Дослідження генетичного алгоритму в задачах однокритеріальної оптимізації.</i>
2	<i>Дослідження генетичного алгоритму в задачах багатокритеріальної оптимізації.</i>
3	<i>Дослідження еволюційних методів в задачах однокритеріальної оптимізації.</i>

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які ставляться перед студентом:

- при написанні екзамену забороняється використання засобів зв'язку для пошуку інформації в Інтернеті;*
- на заняттях бажано відключати телефони;*
- роботи мають бути виконані з дотриманням академічної доброчесності.*

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

Поточний контроль: виконання комп'ютерних практикумів (3 роботи), модульної контрольної роботи.

Критерії нарахування балів за комп'ютерні практикуми (КП):

– за умови правильно оформленого звіту з бездоганним виконанням завдання КП – 30 балів (КП1), 25 балів (КП2, КП3);

– за наявності зауважень в процедурі виконання КП – 24–29 балів (КП1), 20–24 бали (КП2, КП3);

– за наявності серйозних зауважень в процедурі виконання КП, неповного або неточного виконання КП – 18–23 бали (КП1), 15–19 балів (КП2, КП3).

*Максимальна кількість балів за всі КП кредитного модулю дорівнює: $30 + 25 * 2 = 80$ балів.*

Модульна контрольна робота (МКР) проводиться у тестовій формі і складається з набору тестових питань практичного характеру.

Максимальна кількість балів за МКР дорівнює 20 балів.

Календарний контроль: Умовою успішного проходження першого календарного контролю є виконання комп'ютерного практикуму №1. Умовою успішного проходження другого календарного контролю є виконання комп'ютерних практикумів №1 і №2.

Семестровий контроль: залік

Умови допуску до семестрового контролю: Умовою допуску до заліку є зарахування всіх комп'ютерних практикумів та стартовий рейтинг не менше 50 балів.

Сума рейтингових балів, отриманих студентом протягом семестру, переводиться до підсумкової оцінки згідно з таблицею. Якщо сума балів менш ніж 60, то студент виконує залікову контрольну роботу. Студент не допущений до заліку, якщо не виконані умови допуску: комп'ютерні практикуми не зараховано, або рейтинг менший 50 балів. Залікова контрольна робота оцінюється у 100 балів, при цьому бали, набрані за семестр, ігноруються.

Студент, який у семестрі отримав не менш ніж 60 балів, може взяти участь у заліковій контрольній роботі. У цьому разі, бали отримані ним на заліковій контрольній роботі є остаточними.

Залікова контрольна робота складається з трьох питань, що відповідають кожному з виконаних комп'ютерних практикумів, і за потреби додаткових теоретичних питань. Оцінювання відповіді:

- студент бездоганно орієнтується в матеріалі комп'ютерних практикумів, правильно відповідає на додаткові питання: 95–100 балів;
- студент добре орієнтується в матеріалі комп'ютерних практикумів, правильно відповідає на додаткові питання з несуттєвими неточностями: 85–94 бали;
- студент добре орієнтується в матеріалі комп'ютерних практикумів, частково правильно відповідає на додаткові питання, або не може відповісти на окремі додаткові питання: 75–84 бали;
- студент в цілому орієнтується в матеріалі комп'ютерних практикумів, але з певними неточностями або помилками, частково правильно відповідає на додаткові питання, або не може відповісти на окремі додаткові питання: 65–74 бали;
- студент в цілому орієнтується в матеріалі комп'ютерних практикумів, але з суттєвими неточностями або помилками, не відповідає на більшість додаткових питань, але може відповісти на прості додаткові питання: 60–64 бали;
- студент не орієнтується в матеріалі комп'ютерних практикумів (менше 60% потрібної інформації), не може відповісти на додаткові питання: 0–59 балів;

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
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):

Складено доцент ММСА, д.т.н. Савченко Ілля Олександрович

Ухвалено кафедрою ММСА (протокол № 3 від 08.10.2025)

Погоджено Методичною комісією НН ІПСА (протокол № 2 від 09.10.2025)