Національний технічний університет України
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Емблема кафедри(за наявності)

Кафедра фізичного матеріалознавства та термічної обробки

# КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТРУКТУРИ МАТЕРІАЛІВ

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

| Реквізити навчальної дисципліни | |
|---|---|
| **Рівень вищої освіти** | *Другий (магістерський)* |
| **Галузь знань** | *13 Механічна інженерія* |
| **Спеціальність** | *132 Матеріалознавство* |
| **Освітня програма** | *Матеріалознавство* |
| **Статус дисципліни** | *Вибіркова* |
| **Форма навчання** | *очна(денна)/змішана* |
| **Рік підготовки, семестр** | *1 курс, весняний семестр* |
| **Обсяг дисципліни** | *4 кредити (120 годин)* |
| **Семестровий контроль/ контрольні заходи** | *Залік, модульна контрольна.* |
| **Розклад занять** | *1 семестр – 2 год. лекції, 2 год. лаб.робіт на тиждень.* |
| **Мова викладання** | *Українська* |
| **Інформація про керівника курсу / викладачів** | Лектор: *д.т.н, професор, Доній Олександр Миколайович, donii_oleksandr@ukr.net* Практичні / Семінарські: немає *Компм'ютерні практикуми: д.т.н, професор, Доній Олександр Миколайович, donii_oleksandr@ukr.ne* |
| **Розміщення курсу** | Кампус |

### Програма навчальної дисципліни

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

Значення цього курсу обумовлене необхідністю використання спеціалістами матеріалознавцями основних положень курсу при створенні нових матеріалів або розробці/модернізації технологічних процесів.

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів компетентностей.

КЗ.01 Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

КЗ.02 Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

СК.01 Здатність виявляти та ставити проблеми в сфері матеріалознавства, приймати ефективні рішення для їх вирішення.

СК.04 Здатність оцінювати та забезпечувати якість робіт, що виконуються.

СК.06 Здатність розуміти та використовувати математичні та числові методи моделювання властивостей, явищ та процесів.

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі результати навчання:

РН 1 Розуміти та застосовувати принципи системного аналізу, причинно-наслідкових зв’язків між значущими факторами та науковими і технічними рішеннями в контексті існуючих теорій.

РН 2 Виявляти, формулювати і вирішувати матеріалознавчі проблеми і задачі.

РН 21 Застосовувати сучасні математичні методи, цифрові технології та спеціалізоване програмне забезпечення для розв'язання складних задач і проблем матеріалознавства.

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

Вивченню цієї дисципліни повинно передувати глибоке засвоєння матеріалу по будові металів і сплавів, діаграм стану, фізики, хімії, математики з курсів "Металознавство", "Термічна обробка", "Механічні властивості і конструкційна міцність матеріалів". "Фізика", "Хімія", "Вища математика".

Основні положення математичного моделювання та оптимізації технологічних процесів і матеріалів закладають базу для вивчення таких профілюючих курсів, як "Наукова робота за темою магістерської дисертації", "Основи наукових досліджень" тощо.

## 3. Зміст навчальної дисципліни

На вивчення навчальної дисципліни відводиться 165 годин/5,5 кредити ECTS.

**Вступ. Сучасні методи модельних досліджень**

**Розділ 1. Загальні відомості про комп'ютерне моделювання**

Тема 1.1. Проблемні ситуації і системний підхід при їх розв’язанні.

Тема 1.2. Типи моделей та їх адекватність.

**Розділ 2. Побудова рівнянь для прогнозу структури і властивостей металевих матеріалів**

Тема 2.1. Загальна постановка задачі планування експерименту.

Тема 2.2. Активний багатофакторний експеримент.

Тема 2.3. Дробовий факторний експеримент.

Тема 2.4. Плани високих порядків.

Тема 2.5. Експерименти типу "склад - властивості"

Тема 2.6. Кореляційний аналіз.

Тема 2.7. Покроковий регресійний аналіз.

Тема 2.8. Комп'ютерна система прогнозування властивостей ливарних сплавів

**Розділ 3. Імітаційне (комп'ютерне) моделювання**

Тема 3.1. Особливості моделювання складних систем

Тема 3.2. Кліткові автомати.

Тема 3.3. Основні чинники імітаційної моделі кристалізації металів і сплавів

Тема 3.4. Загальний алгоритм імітаційної моделі кристалізації металів і сплавів

Розділ 4. Комп'ютерний експеримент

Тема 4.1. Особливості комп'ютерного експерименту з імітаційними моделями

Тема 4.2. Комп'ютерний експеримент з чистим металом.

Тема 4.3. Комп'ютерний експеримент із бінарним сплавом.

**Розділ 5. Фрактали**

Тема 5.1. Побудова фрактальних множин.

Тема 5.2. Застосування фракталів при описі природних явищ.

Тема 5.3. Способи зображення геометричних фракталів

## 4. Навчальні матеріали та ресурси

Навчальні матеріали, які використовуються при вивченні дисципліни базуються як на сучасних підручниках та методичних посібниках, так і на спеціальній літературі та матеріалах, які опубліковані в монографіях, оглядах оригінальних статтях вітчизняних та закордонних вчених. В зв’язку з цим зміст лекцій і тематика комп'ютерних практикумів можуть змінюватись відповідно з розвитком цієї галузі науки та техніки. При викладанні лекцій передбачається використання дидактичних матеріалів у вигляді презентацій.

Навчальні матеріали, зазначені нижче, доступні у бібліотеці університету та у бібліотеці кафедри фізичного матеріалознавства та термічної обробки. Обов’язковою до вивчення є базова література, інші матеріали – факультативні. Розділи та теми, з якими студент має ознайомитись самостійно, викладач зазначає на лекційних заняттях та комп'ютерних практикумах..

## 5. Рекомендована література

Базова

1. Александров С. Е. и др. Математическое моделирование металургических процессов. – Ленинград: Ленинградский политехнический институт. – 1988. - 86 с.

2. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. – М.: Наука. – 1977. – 735 с.

3. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул. – М.: Высшая школа. – 1988. – 239 с.

4. Дьчко А.Г. Математическое и имитационное моделирование. - М.: МИСИС. - 2007. - 588 с.

5. Доний А.Н. и др. Применение ЭВМ в литейном производстве. – К.: Знание УССР. – 1990. -. 16 с.

6. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука. – 1976. – 279 с.

7. Винарский М.С., Лурье М.В. Планирование эксперимента в технологических исследованиях. – Киев: Техніка. – 1975. – 168 с.

8. Мандельброт Б. Фрактальна геометрія природи. – К.: Інститут комп'ютерних досліджень, 2002. – 656 с.

## Навчальний контент

## 6. Методика опанування навчальної дисципліни(освітнього компонента)

Освоєнню дисципліни «Комп'ютерне моделювання структури металевих матеріалів» сприяє виконання 1 модульної контрольної роботи. При виконанні МКР студенти мають можливість обґрунтовано по експериментальним даним побудувати регресійне рівняння.

Застосовуються стратегії активного і колективного навчання, які визначаються наступними методами і технологіями:

1) методи проблемного навчання (проблемний виклад, частково-пошуковий (евристична бесіда) і дослідницький метод);

2) особистісно-орієнтовані (розвиваючі) технології, засновані на активних формах і методах навчання «аналіз ситуацій», дискусія, навчальні дебати),

3) інформаційно-комунікаційні технології, що забезпечують проблемно-дослідницький характер процесу навчання та активізацію самостійної роботи студентів,

Вичитування лекцій з дисципліни проводиться паралельно з виконанням студентами лабораторних робіт. За умови дистанційного навчання при читані лекцій застосовуються засоби для відео конференцій (Meet, Zoom тощо). Після кожної лекції рекомендується ознайомитись з матеріалами, рекомендованими для самостійного вивчення, а перед наступною лекцією – повторити матеріал попередньої.

| **Опис лекцій** | |
|---|---|
| Вступ. **Сучасні методи модельних досліджень** | |
| Розділ 1. **Загальні відомості про комп'ютерне моделювання** | |
| 1 | **Тема 1.1. Проблемні ситуації і системний підхід при їх розв'язанні.** Етапи побудови моделей. Комп'ютерні і математичні моделі, їх особливості і зв'язок. |
| | **Тема 1.2. Типи моделей та їх адекватність.** Класифікація моделей. Особливості перевірки адекватності моделей різних типів. |
| **Розділ 2. Побудова рівнянь для прогнозу структури і властивостей металевих матеріалів** | |
| 2 | **Тема 2.1. Загальна постановка задачі планування експерименту.** Особливості експериментів при розробці нових технологій. Багатофакторні експерименти. |
| | **Тема 2.2. Активний багатофакторний експеримент (ПФЕ).** Нормування факторів. Матриця плану та її властивості . Розрахунок коефіцієнтів моделі та оцінка їх значущості. Адекватність моделей. |
| | **Тема 2.3. Дробовий факторний експеримент (ДФЕ).** Особливості ДФЕ. ДФЕ при врахуванні ефектів взаємоді. |
| | **Тема 2.4. Плани високих порядків.** Композиційні плани. Плани Бокса-Бенкена. |
| | **Тема 2.5. Експерименти типу "склад - властивості".** Сімплекс-загратовані плани. Центроїдні плани. |
| | **Тема 2.6. Кореляційний аналіз.** Коефіцієнти кореляції багатофакторних експериментів. |

| | |
|---|---|
| | **Тема 2.7. Покроковий регресійний аналіз.** Багатовимірний метод найменших квадратів. Особливості побудови моделей з використанням покрокового регресійного аналізу. |
| | **Тема 2.8. Комп'ютерна система прогнозування властивостей ливарних сплавів.** Прогноз властивостей ливарних сплавів з використанням комп'ютерного термічного аналізу. Класифікація кривих охолодження. Оцінка ступеня модифікованості алюмінієвих ливарних сплавів з використанням комп'ютерного термічного аналізу. Включення підсистеми комп'ютерного термічного аналізу в технологію плавки ливарних сплавів |
| **Розділ 3. Імітаційне (комп'ютерне) моделювання** | |
| 3 | **Тема 3.1. Особливості моделювання складних систем.** Детерміновані та стохастичні моделі. Визначення методу імітаційного моделювання та його відмінності від математичного моделювання. Етапи побудови імітаційних моделей. |
| | **Тема 3.2. Кліткові автомати.** Типи кліткових автоматів та можливості їх застосування при моделюання процесів формування структури металевих матеріалів. |
| | **Тема 3.3. Основні чинники імітаційної моделі кристалізації металів і сплавів.** Кристалізація металів і сплавів як складна система. Теоретичне обґрунтування основних чинників імітаційної моделі кристалізації металів і сплавів |
| | **Тема 3.4. Загальний алгоритм імітаційної моделі кристалізації металів і сплавів.** Математичні моделі для визначення температури в системі і концентрації другого компоненту в розплаві. Математична модель діаграми стану бінарного сплаву з евтектикою. Побудова блок-схеми загального алгоритму імітаційної моделі кристалізації металів і сплавів. Числова схема розв'язку двомірних задач теплопровідності та дифузії для визначення температури розплаву і концентрації його компонентів. Інтерфейс імітаційної моделі кристалізації металів та сплавів. |
| **Розділ 4. Комп'ютерний експеримент** | |
| **4** | **Тема 4.1. Особливості комп'ютерного експерименту з імітаційними моделями.** Адекватність імітаційної моделі кристалізації металів і сплавів. Методичні особливості підготовки імітаційної моделі кристалізації металів і сплавів для проведення обчислювального експерименту |
| | **Тема 4.2. . Комп'ютерний експеримент з чистим металом.** Вплив швидкості охолодження при твердінні на утворення осередків твердої фази при гомогенній та гетерогенній кристалізації. Вплив модифікатора на утворення осередків твердої фази при кристалізації алюмінію. |
| | **Тема 4.3. Комп'ютерний експеримент із бінарним сплавом.** Вплив швидкості охолодження при твердінні на утворення зародків твердої фази при кристалізації сплавів Al-Si та Al-Cu. Комп'ютерний експеримент для перевірки наявності нерівноважного стану розплаву при його кристалізації. |
| **Розділ 5. Фрактали** | |
| 5 | **Тема 5.1. Побудова фрактальних множин.** Незліченні множини. Поняття розмірності. Фрактальна розмірність. |
| | **Тема 5.2. Застосування фракталів при описі природних явищ.** Поняття фрактала. Історія виникнення фрактала. Фрактали в природі. Фрактальне матеріалознавство. |
| | **Тема 5.3. Способи зображення геометричних фракталів.** Приклади фракталів. |

Метою комп'ютерних практикумів є закріплення основних положень лекційного курсу та набуття практичних умінь, щодо побудови математичних моделей та використання методів оптимізації.

| № з/п | **Назва комп'ютерного практикуму** | **Кількість ауд. годин** |
|---|---|---|
| 1 | Підготовка імітаційної моделі кристалізації металів і сплавів для проведення обчислювального експерименту | 2 |
| 2 | Перевірка адекватності імітаційної моделі кристалізації металів і сплавів. | 4 |
| 3 | Вплив швидкості охолодження при твердінні на утворення осередків твердої фази при гомогенній кристалізації. | 4 |
| 4 | Вплив модифікатора на утворення осередків твердої фази при | 4 |

| № з/п | Назва комп'ютерного практикуму | Кількість ауд. годин |
|---|---|---|
| | кристалізації алюмінію. | |
| 5 | Вплив швидкості охолодження при твердінні на утворення зародків твердої фази при кристалізації сплаву Al-Si. | 4 |
| 6 | Вплив швидкості охолодження при твердінні на утворення зародків твердої фази при кристалізації сплаву Al-Cu. | 4 |
| 7 | Вплив модифікатора на утворення осередків твердої фази при кристалізації сплаву Al-Si. | 4 |
| 8 | Вплив модифікатора на утворення осередків твердої фази при кристалізації сплаву Al-Cu. | 4 |
| 9 | Комп'ютерний експеримент для перевірки наявності нерівноважного стану розплаву при його кристалізації. | 2 |
| 10 | Комп'ютерний експеримент для перевірки впливу різних умов охолодження при кристалізації на формування структури твердогометалу. | 4 |

Захист комп'ютерного практикуму проводиться впродовж останніх 45 хвилин

## 7. Самостійна робота студента/аспіранта

Самостійна робота студента (СРС) протягом семестру включає повторення лекційного матеріалу, складання протоколів для проведення комп'ютерних практикумів, розрахунків на заняттях, оформлення звітів з лабораторних робіт, підготовка до захисту комп'ютерних практикумів, підготовка до екзамену. Рекомендована кількість годин, яка відводиться на підготовку до зазначених видів робіт:

| Вид СРС | Кількість годин на підготовку |
|---|---|
| Підготовка до аудиторних занять: повторення лекційного матеріалу, складання протоколів для проведення лабораторних робіт, оформлення звітів з лабораторних робіт. | 2 – 3 години на тиждень. 0,5-1 год. – підготовка до лекції, 1 год. – підготовка до лабораторної роботи та оформлення протоколу. |
| Підготовка до МКР (повторення матеріалу) | 4 години |

## Політика та контроль

## 8. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

У звичайному режимі роботи університету лекції та комп'ютерних практикумів проводяться в навчальних аудиторіях. У змішаному режимі лекційні заняття проводяться через платформу дистанційного навчання Сікорський, Meet, ZOOM тощо, комп'ютерних практикумів – в аудиторіях. У дистанційному режимі всі заняття проводяться через платформу дистанційного навчання Сікорський, Meet, ZOOM. Відвідування лекцій є бажаним, комп'ютерних практикумів - обов'язковим.
На початку лекції може проводитися опитування за матеріалами попередніх лекцій.
Користування мобільними телефонами на лекційних заняттях забороняється. На практикумах – допускається, з метою більш чіткої візуалізації змін, які відбуваються зі зразками в процесі корозійного руйнування.

Правила захисту лабораторних робіт:

1. До захисту допускаються студенти, які приймали участь у виконанні комп'ютерних практикумів, правильно оформили протокол, представили повний та вичерпний висновок (при неправильно виконаних роботах їх слід виправити).
2. Захист відбувається за графіком, зазначеним у п.6.
3. Після перевірки МКР викладачем на захист виставляється загальна оцінка і робота вважається захищеною. Якщо студент бажає підвищити бал, він може захистити свою точку зору та відповісти на питання викладача та студентів.

4. Несвоєчасні захист і виконання роботи без поважної причини штрафуються відповідно до правил призначення заохочувальних та штрафних балів.

Політика дедлайнів та перескладань:визначається п. 8 Положення про поточний, календарний та семестровий контроль результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського

Політика щодо академічної доброчесності:визначається політикою академічної чесності та *іншими* положеннями Кодексу честі університету.

## 9. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (РСО)

Види контролю встановлюються відповідно до Положення про поточний, календарний та семестровий контроль результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського:

1. Поточний контроль: опитування на комп'ютерних практикумах, МКР.
2. Календарний контроль: атестації проводяться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.
3. Семестровий контроль: Залік.

### Рейтингова система оцінювання результатів навчання

Рейтинг успішності студента з дисципліни «Комп'ютерне моделювання структури матеріалів» за результатом виконання навчального часу 1-го семестру складається із двох частин: семестрового рейтингу $R_C$, та залікового $R_E$ (у вигляді екзамену, коли $0{,}4 \le R_C < 0{,}5RD$):

$$RD = R_C + R_E$$

Рейтингова шкала $RD$ з дисципліни складає 100 балів.

Семестровий рейтинг успішності студента, $R_C$, формується як сума балів, нарахована студенту за роботу протягом семестру: за виконанням розрахункової роботи (РР), написання модульної контрольної роботи (МКР) та за виконання 10-ти комп'ютерних практикумів (КП).

Для одержання заохочувальних балів для покращання семестрового рейтингу передбачено виконання самостійної творчої роботи: написання додаткових рефератів, складання програм для розрахунків на ПЕОМ, участь в конкурсах, доповіді на конференціях, огляди наукових праць, виготовлення технічних засобів навчання тощо.

Передбачено також нарахування штрафних балів за пропуски занять без поважних причин, за неявку на контрольний захід (МКР) без поважних причин та за несвоєчасне виконання і захист комп'ютерних практикумів. Тобто:

$$R_C = \sum_k r_k + \sum_s r_s ,$$

де $\sum_k r_k$ - сума всіх рейтингових балів; $\sum_s r_s$ - сума заохочувальних або штрафних балів.

Отже семестровий рейтинг з дисципліни $R_C$, розраховують за формулою:

$$R_C = \sum_{i=1}^{10} КП_i + МКР + РГР + (ТР - n - m - k - q)$$

де $КП$ – бали за виконання одного комп'ютерного практикуму; $МКР$ – сума балів за виконання модульної контрольної роботи; $РГР$ - сума балів за виконання розрахунково-графічної роботи; $ТР$ – бали, зараховані за виконання творчої роботи; $n$ – кількість пропусків занять без поважних причин; $m$ – неявка на МКР без поважних причин; $k$ – кількість комп'ютерних практикумів, які захищені несвоєчасно, $q$ – штрафні бали за несвоєчасно захищену РГР.

**Комп'ютерний практикум.** Студент самостійно (в рамках СРС) готується до виконання комп'ютерного практикуму. Оцінка складається з двох етапів: перший – оцінюється підготовка до виконання комп'ютерного практикуму:

- написаний протокол із усіма необхідними рисунками, таблицями, формулами для розрахунків та задовільна підготовка до виконання комп'ютерного практикуму – **1 бал**
- задовільний протокол але студент не готовий до виконання комп'ютерного практикуму – **0 балів**;
- відсутній протокол – студент не допускається до виконання комп'ютерного практикуму.

Другий етап – захист комп'ютерного практикуму:

- повна відповідь з поясненнями – **3 бал**и;
- не повна відповідь – **1...2 бал**и;
- відповіді відсутні або цілком помилкові – **0 балів**.

У разі захисту комп'ютерного практикуму несвоєчасно від наведеної суми балів віднімається **0,5** бали за кожну неділю несвоєчасного захисту.

Отже максимальна оцінка одного комп'ютерного практикуму складає **4 бали**.

**Модульна контрольна робота**. Модульна контрольна робота складається із 2-х питань теоретичного характеру.

Кожне питання оцінюється 4-ма балами.

*Критерії оцінювання:*

- бездоганна відповідь з поясненнями – **4 бала**;
- незначні неточності у відповіді, відсутність пояснень тощо – **3 … 2 бали**;
- загальна схема відповіді наведена, але відсутні будь-які пояснення – **1 бал**;
- відповідь відсутня або цілком помилкова – **0 балів**.

Отже максимальна оцінка МКР складає **8 балів**.

**Розрахункова робота**. Розрахунково-графічна робота оцінюється 10-ма балами.

*Критерії оцінювання:*

- бездоганна виконана робота – **10 балів**;
- незначні неточності у виконанні та у відповідях при захисті роботи тощо – **9 … 4 бали**;
- робота виконана, але відсутні відповіді при захисті роботи – **3 ... 1 бал**;
- робота виконана не повністю – **0 балів**.

Отже максимальна оцінка РР складає **10 балів**.

**Творча робота.** Залежно від складності і якості виконання одного творчого завдання нараховують до **10 балів**.

**Штрафні бали:**

- пропуск занять без поважних причин ($n$) - **3 бали**;
- неявка на МКР без поважних причин ($m$) - **8 балів**;
- комп'ютерний практикум, які захищений несвоєчасно ($k$) - **3 бали**;
- несвоєчасно захищена РР ($q$) - **4 бали**.

Розрахунок шкали ($R_C$) рейтингу._Сума вагових балів контрольних заходів для студента, який зразково виконав їх (*КП* та *МКР*) і який не має пропусків занять без поважних причин максимально складає:

$$R = 10\ \ (1+2)+2\ \ 4+10 = 48\ \text{балів.}$$

Студент здає залікову роботу коли рейтинг дисципліни $R_C$ знаходиться у межах від 20 до 48 балів.

Залікова робота складається із **4-х** завдань теоретичного та практичного характеру. Максимальна кількість балів за кожне питання – **13**.

*Критерії оцінювання:*

- бездоганна відповідь з поясненнями - **13 балів**;
- незначні неточності у відповіді, відсутність повних пояснень – **12…7 балів**;
- загальна схема відповіді викладена, але без будь-яких пояснень – **6…1 бал**;
- відповідь відсутня або помилкова – **0 балів**.

Отже максимальна оцінка за залікову роботу $R_E$ складає **52 бали**.

За умови, коли $R_C < 0{,}4RD$, тобто $R_C < 20$ балів, студента не допускають до здачі заліку (не виконані умови допуску – оцінка "F"). Для здачі заліку в цьому випадку студент повинен через виконання додаткових завдань набрати рейтинг більше 20 балів (наприклад написати контрольну залікову роботу).

Залежно від фактично набраного рейтингу успішність студента встановлюють (ECTS та традиційну) відповідно до таблиці (без урахування результатів творчої роботи)

Таким чином рейтингова шкала з дисципліни складає:

$$RD = R_C + R_E = 48 + 52 = 100 \text{ балів.}$$

Залежно від фактично набраного рейтингу оцінку студенту встановлюють (ECTS та традиційну) відповідно до таблиці.

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 |

Примітки: 1. Позначка * означає, що для складання екзамену студенту дозволяється переписати модульну контрольну роботу.

2. Позначка ** означає, що студент повинен виконати додаткову роботу.

## 10. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- перелік питань, які виносяться на семестровий контроль – надається на останньому лекційному занятті;
- можливість зарахування сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за відповідною тематикою – якщо тематика дистанційних чи онлайн курсів повністю відповідає розділам та темам дисципліни і студент засвоїв відповідні знання;
- інша інформація для студентів/аспірантів щодо особливостей опанування навчальної дисципліни – активність та креативність на лекціях і лабораторних заняттях, участь в науковій тематиці, яка включає елементи теорії та практики термічної обробки може бути оцінена заохочувальними балами (до 7 балів).

**Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

**Складено** доцент, д.т.н., професор, Доній Олександр Миколайович.

**Ухвалено:**

кафедрою Фізичного матеріалознавства та термічної обробки НН ІМЗ ім. Є.О. Патона (протокол № 12 від 22 червня 2023 р.);

кафедрою Високотемпературних матеріалів та порошкової металургії НН ІМЗ ім. Є.О. Патона (протокол № 16 від 21 червня 2023 р.).

**Погоджено:**

Методичною комісією НН ІМЗ ім. Є.О. Патона (протокол № 12/23 від 28 червня 2023 р.)