

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАННЯ ім. Є.О. ПАТОНА НАЦІОНАЛЬНОЇ
АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ
Відділ аспірантури при ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України



ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник директора

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України
академік НАН України

С.І. Кучук-Яценко

С.І. Кучук-Яценко
(ініціали, прізвище)

«06» липня 2020 р.

ОСНОВИ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

5/1

(шифр за ОП)

ПРОГРАМА

навчальної дисципліни

рівень вищої освіти - доктор філософії з металургії

спеціальність - 136 – Металургія

освітня програма - Металургія

Затверджено на випускному
відділі за спеціальністю 136
«Металургія»

Інституту електрозварювання
ім. Є.О. Патона НАН України
Протокол №1 від 3.07.2020 р.
Завідувач випускового відділу
чл.-кор. НАН України, проф.

В.О. Шаповалов

В.О. Шаповалов

Київ – 2020 р.

РОЗРОБНИК ПРОГРАМИ:

Провідний науковий співробітник відділу плазмово-шлакової металургії Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ
д.т.н., Біктагіров Фаріт Камілович
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)



(підпис)

Старший науковий співробітник відділу плазмово-шлакової металургії Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ
к.т.н. Никитенко Юрій Олександрович
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)




(підпис)

Провідний науковий співробітник відділу плазмово-шлакової металургії Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ
к.т.н., Протоковілов Ігор Вікторович
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)



(підпис)

Молодший науковий співробітник відділу плазмово-шлакової металургії Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ
Порохонько Віталій Богданович
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)



(підпис)

Вступ

Програму навчальної дисципліни

«Основи структуроутворення металів і сплавів»

(назва навчальної дисципліни)

складено відповідно до освітньої програми

ОНП 5/І

(ОПП/ОНП, назва)

ІІІ

(рівень вищої освіти)

рівня вищої освіти доктор філософії

спеціальності

136 – металургія

(код і назва спеціальності)

Навчальна дисципліна належить до циклу професійної підготовки, шифр 5/І

(загальної / професійної підготовки)

Статус навчальної дисципліни

вибіркова

(обов'язкова / вибіркова)

Обсяг навчальної дисципліни 4,5 кредитів ЄКТС.

Міждисциплінарні зв'язки:

- «Науково-педагогічна практика» – код 8/І;
- «Фізика рідкого стану і металургійна спадковість» – код 4/І;
- «Методологія наукових досліджень» – код 7/І;
- «Спеціальні металургійні технології» – код 4/ІІ;

Дисципліна забезпечує виконання дисертаційної роботи доктора філософії з металургії.

1.1. Метою навчальної дисципліни є формування в аспірантів компетентностей:

- Здатність розроблення та реалізація проектів, включаючи власні дослідження (ЗК 7);
- Здатність досліджувати проблеми із використанням системного аналізу та інших методів дослідження (ЗК 12);
- Здатність узагальнювати результати сучасних досліджень структури та властивостей матеріалів для вирішення наукових і практичних проблем, на основі фундаментальних та спеціальних знань синтезувати та створювати нові матеріали заданого функціонального призначення (ФК 5);
- Здатність проводити наукові дослідження в металургійній галузі на основі сучасних теорій термодинаміки, кінетики металургійних процесів, фізики рідкого стану і структуроутворення металів і сплавів (ФК 13);
- Здатність адаптувати і узагальнювати результати сучасних досліджень у металургійній галузі знань для вирішення наукових і практичних проблем (ФК 15).

1.2. Завдання навчальної дисципліни

Згідно з вимогами освітньо-наукової програми аспіранти після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі результати навчання:

знання:

- Передових концептуальних та методологічних знань з металургії та на межі предметних галузей, а також дослідницьких навичок для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень (ЗН 1);
- Методик аналізу та синтезу знань при вирішенні проблем у широкому контексті металургійних та міждисциплінарних задач, у тому числі, за умов невизначеності чи неповної інформації (ЗН 4);
- Новітніх світових досягнень науки, техніки та технологій в галузі металургія та суміжних сферах (ЗН 5);
- Закономірностей керування складом, структурою та властивостями матеріалів різної природи та функціонального призначення (ЗН 7);
- Сучасної вітчизняної та зарубіжної науково-технічної інформації в професійній сфері діяльності (ЗН 12);
- Сучасних теорій, положень, методів досліджень у металургійній галузі (ЗН 14);
- Термодинаміки та кінетики металургійних процесів (ЗН 15);
- Основ структуроутворення металів і сплавів (ЗН 17).

уміння:

- Використовувати необхідні для обґрунтування висновків докази, зокрема, результати теоретичного аналізу, експериментальних досліджень і математичного та/або комп'ютерного моделювання, наявні емпіричні дані (УМ 2);
- Розробляти та реалізовувати наукові та/або інноваційні інженерні проекти, які дають можливість переосмислити наявне та створити нове цілісне знання та/або професійну практику і розв'язувати значущі наукові та технологічні проблеми металургії з дотриманням норм академічної етики і врахуванням соціальних, екологічних та правових аспектів (УМ 5);
- Застосовувати аналіз та синтез знань під час вирішення проблем у широкому контексті металургійних та міждисциплінарних задач за умов невизначеності чи неповної інформації (УМ 7);
- Постійно удосконалювати свій загальний інтелектуальний та професійний рівень (УМ 18);
- розробляти нові методики досліджень у металургійній галузі (код УМ 26);
- Розробляти нові методики досліджень у галузі металургії (УМ 27);
- Проводити наукові дослідження на основі сучасних теорій термодинаміки, кінетики металургійних процесів, фізики рідкого стану і структуроутворення металів і сплавів (УМ 29).

2. Структура навчальної дисципліни

На вивчення навчальної дисципліни відводиться 135 годин / 4,5 кредитів ECTS.

Навчальна дисципліна містить кредитний модуль: “Основи структуроутворення металів і сплавів”.

Рекомендований розподіл навчального часу

Форма навчання	Семестри	Усього кредитів / годин	Розподіл навчального часу за видами занять			Семестрова атестація
			Лекції	Практичні заняття	СР аспіранта*	
Денна	3	4,5/135	46	–	89	Екзамен

* Розрахунок наведено в додатку А

3. Зміст навчальної дисципліни

Кредитний модуль – Основи структуроутворення металів і сплавів.

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. ВЕДЕННЯ В БУДОВУ І СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ МЕТАЛІВ

Тема 1.1. Атомно-кристалічна будова металів.

Сучасне уявлення про будову атома, періодичний закон Д.І. Менделєєва. Кристалічна будова металів. Осередок кристалічної решітки, її параметри. Типи елементарних осередків кристалічних решіток: ОЦК, ГЦК, ГПУ їх характеристики. Анізотропія властивостей металів. Алотропічні (поліморфні) перетворення в металах. Критичні точки металів.

Тема 1.2. Кристалізація металів.

Сутність процесу кристалізації і термодинамічні умови, що сприяють утворенню кристалів. Криві охолодження і нагрівання при кристалізації, їх побудова. Утворення центрів кристалізації і зростання кристалів. Фактори, що впливають на розмір і форму зерна. Вплив температурних змін на зростання зерна. Вплив домішок на зростання зерна при кристалізації. Модифікування. Вплив напрямку відведення тепла на форму і розміри кристалів. Поняття про дендрит і дендритній ліквідації. Градієнт температури.

Тема 1.3. Металеві структури.

Поняття аморфної, полікристалічної, монокристалічної структури, анізотропія властивостей, особливості структури, залежність властивостей від розміру зерна і орієнтації. Поняття про точкові, лінійні та поверхневі недосконалості (дефекти). Дефекти кристалічної решітки, основні дефекти металів і сплавів, причини походження і впливу на властивості.

Тема 1.4. Основні характеристики і будова чистих металів.

Основні характеристики, будова кристалічної решітки чистих металів. Алотропія заліза, її значення. Критичні точки заліза.

РОЗДІЛ 2 БУДОВА РЕАЛЬНИХ МЕТАЛЕВИХ СПЛАВІВ.

Тема 2.1. Діаграми стану.

Діаграми стану сплавів, що характеризують перехід сплаву з рідкого стану в твердий. Координати побудови діаграм. Криві охолодження (або нагрівання). Критичні точки фазових перетворень сплавів у залежності від процентного складу компонентів. Діаграма залізо-вуглець.

Тема 2.2. Характеристика основних фаз.

Поняття про сплави, компоненти, фази, системи. Область застосування сплавів як конструкційних матеріалів. Характеристика основних фаз у сплавах. Компоненти сплавів. Поняття про фазу. Рідкі і тверді фази. Механічні суміші, хімічні сполуки, тверді розчини заміщення та тверді розчини проникнення. Поняття про структуру сплаву. Фазові складові сплавів: ферит, аустеніт, перліт, цементит (первинний і вторинний). ледебурит. Форма фазових складових (пластинчаста, пластівчаста, волокниста, куляста та ін.). Залежність властивостей сплавів від форми і розмірів частинок фазових складових.

Тема 2.3. Правило фаз і його використання.

Правило фаз і його використання при вивченні сплавів. Можливі випадки рівноваги для двокомпонентних систем. Поняття про гетерогенні структури (механічні суміші). Хімічна взаємодія компонентів, типи хімічних сполук. Властивості гетерогенних структур, твердих розчинів. Застосування правила фаз і правила відрізків при вивченні перетворень у сплавах по діаграмі.

Тема 2.4. Коефіцієнт розподілу на кордоні фаз.

Визначення та розрахунок. Розподіл речовини між двома рідинами, між твердою і рідкою фазою. Екстракція. Рафінування. Впливові фактори. Рівноважна і нерівноважна кристалізація.

Тема 2.5. Сталь, вплив вуглецю на властивості сталі, чавуни.

Поняття сталі, загальна класифікація сталей, область застосування, постійні домішки в сталях, вплив вуглецю та постійних домішок на властивості сталей. Діаграма стану системи «залізо–вуглець». Побудова діаграми. Фазові складові. Евтектоїда (перліт). Евтектика (ледебурит). Лінія ліквідус. Лінія солідус. Поняття чавуни, класифікація, області застосування, основні властивості чавунів, структурні складові чавунів. Різновиди чавунів за ступенем графітизації, твердості, міцності, пластичності, формі графіту, експлуатаційних та інших властивостей. Домішки, що входять до складу чавунів. Леговані чавуни: антифрикційні, корозійностійкі, жароміцні, жаростійкі. Маркування легованих чавунів.

Тема 2.6. Конструкційні сталі.

Поняття конструкційних матеріалів і їх структура, основні властивості і область застосування конструкційних сталей, класифікація конструкційних сталей, маркування та розшифрування конструкційних марок сталей загального призначення звичайної якості, якісні. Спокійні, напівспокійні і киплячі сталі. Вплив вуглецю і основних елементів на властивості сталей.

Тема 2.7. Леговані сталі.

Леговані сталі і їх структури, область застосування, класифікація легованих сталей, основні легуючі компоненти, вплив легуючих компонентів на властивості і структуру сталей. Маркування сталей. Корозійностійкі сталі,

жаромічні і жаростійкі сталі, сталі зі спеціальними властивостями. Поняття сталей для ріжучого, штампового класу і вимірювальних інструментів, основні властивості та області застосування, основні структурні складові сталей. Класифікація сталей. Маркування і розшифрування марок сталей.

Тема 2.8. Сталі та сплави з особливими фізичними властивостями.

Сталі та сплави з особливими фізичними властивостями, основні властивості та області застосування, основні структурні складові сталей. Ефект пам'яті форми. Електротехнічні сталі. Магніти. Температура Кюрі. Інтерметаліди. Класифікація сталей. Маркування.

Тема 2.9. Кольорові метали та сплави.

Класифікація, структура, властивості, застосування кольорових металів: мідь, алюміній, титан, магній, олово, свинець, цинк та ін. Класифікація, структура, застосування і отримання сплавів: бронза, латунь, мельхіор, дюралюміній, силумін. Припої. Антифрикційні сплави, бабіти. Вплив добавок на властивості сплавів.

Тема 2.10. Тугоплавкі та рідкісні метали.

Класифікація, структура, властивості: ніобій, молібден, тантал, вольфрам і реній і ін. Тугоплавкі сплави. Застосування.

Тема 2.11. Особливості поверхневих явищ металів і сплавів.

Порошкові матеріали, отримані різними способами, форма і властивості дрібнодисперсних матеріалів. Особливості обробки порошків. Порошкові сталі. Структура нанесених покриттів. Спечені тугоплавкі сплави. 3D технології. Структура оксидних плівок, корозія металів і сплавів та захист від неї. Окислювально-відновні реакції. Поверхнева дифузія. Сорбція та її види. Змочуваність. Осадження металів. Пінометал.

РОЗДІЛ 3. СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ЗЛИТКІВ І ВИРОБІВ.

Тема 3.1. Особливості кристалізації в залежності від спеціальних методів нагрівання.

Індукційна плавка, ЕПП, ПДП, ВДП, ЕШП. Вплив різних джерел нагріву на формування структури злитків. Спрямована кристалізація.

Тема 3.2. Особливості виробів при спеціальних видах лиття і затвердіння.

Особливості структури при литті під тиском, в кокіль, металеві форми, по виплавленим моделям. Відцентрове лиття. Безперервне лиття.

Тема 3.3. Будова великого металевого злитка.

Будова та структура, дефекти. Залежності формування структури. Зона дрібних рівновісних кристалів, зона стовпчастих кристалів, зона рівновісних кристалів великих розмірів, усадкова раковина.

Тема 3.4. Зовнішній вплив на умови кристалізації.

Основні дефекти, на які потрібно впливати. Види впливу. Регулювання температури металу, що заливається; регулювання теплового поля на поверхні ванни; введення мікрохолодильників; віброобробка; обробка ультразвуком; електрогідроімпульсна обробка; обробка розплаву зануреним стрижнем, що

коливається, та інші. Сучасні методи впливу на структуру злитка. Пошарове наплавлення, електромагнітне перемішування, зонне наплавлення.

РОЗДІЛ 4. ВПЛИВ НА СТРУКТУРУ ВИРОБІВ ЗОВНІШНІХ ЧИННИКІВ

Тема 4.1. Властивості металів і сплавів.

Фізичні, хімічні, механічні та технологічні властивості в залежності від складу та структури. Взаємозв'язок між фазовим складом і властивостями сплаву. Прогнозування властивостей сплаву при багатокомпонентному складі. Моделювання фізичних властивостей сплавів та виробів.

Тема 4.2. Термообробка сплавів і характеристика перетворень.

Перетворення в сплавах залізо-вуглець при охолодженні і нагріванні. Вплив швидкості охолодження на структуру і властивості. Тростітна та мартенситна структура сталі. Види термічної обробки сплавів, їх призначення, поведінка дефектів при термічній обробці. Класифікація видів термічної обробки: термічна, термомеханічна, хіміко-термічна. Основи теорії термічної обробки: відпал, нормалізація, гартування, відпустка; їх вплив на властивості сталей.

Тема 4.3. Обробка металів тиском.

Структура і властивості металів і сплавів при прокатці, вільному куванні, об'ємному штампуванні, листовому штампуванні, пресуванні, волочінні, виробництві труб. Особливості прокатки кольорових металів і сплавів. Виробництво плакованих металів.

Тема 4.4. Старіння і руйнування металів і сплавів.

Визначення і зміна структури та властивостей при статичних і динамічних навантаженнях. Втомна міцність. Наклеп. Радіаційне руйнування. Окрихчування та руйнування металів, вплив форми і дефектів.

4. Рекомендовані індивідуальні завдання

Самостійна робота аспірантів включає підготовку до лекцій, модульної контрольної роботи та екзамену (див. Методичні вказівки до самостійної роботи). Розподілення часу на самостійну роботу наведено в додатку А.

5. Рекомендована література

5.1 Література базова:

1. Фирстов Г.П. и др. Материаловедение и технология металлов. М.: Высшая школа, 2001. -638 с.
2. Зиман З.З. Основи структурної кристалографії - 2-ге вид., доп. - Х.: ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2008. - 212 с.
3. Колобов Г.А. Кристаллизация и первичная структура конструкционных сталей. - Д. : Журфонд, 2010. - 225 с.
4. Недоля А.В. Кристалографія. Фізичні властивості кристалів - Запоріжжя : Просвіта, 2014. - 138 с.

5. Лейбензон В.О. Твердження металів і металевих композицій - Вид. 2-ге, доопр. - К. : Наукова думка, 2009. - 446 с.
6. Верховлюк А.М. Взаимодействие жидких и твердых фаз в металлургических процессах - Киев : Наукова думка, 2014. - 165 с.
7. Доброногов В.Г. Застосування корозійностійких, жаростійких, жароміцних сталей і сплавів у хімічному машино- та апаратобудуванні / В.Г. Доброногов, І.О. Мікульонок. - К. : НТУУ "КПІ", 2011. - 263 с.
8. Гапонова О.П. Сталі та сплави з особливими властивостями / О.П. Гапонова, А. Ф. Будник ; - Суми : Сум. держ. ун-т, 2014. - 239 с.
9. Металургія кольорових металів [за ред. Червоного І. Ф.]; Запоріж. держ. інж. акад. - Запоріжжя : ЗДІА, 2008 .
10. Грешта В.Л. та ін. Кольорові метали і сплави ; - Запоріжжя : ЗНТУ, 2015. - 335 с.
11. Могилатенко В. Г. Теоретичні основи ливарного виробництва - Х. : НТУ "ХПІ", 2011. - 287 с.
12. Патон Б.Е., Григоренко Г.М., Шейко И.В., Шаповалов В.А., Найдек В.Л., Костяков В.Н. Плазменные технологии и оборудование в металлургии и литейной производстве. - К.: Наукова думка. 2013. - 488с.
13. Лисенко Т. В. та ін. Теоретичні основи формування виливків; - Харків : НТУ "ХПІ", 2014. - 191 с.
14. Скобло Т. С. и др. Теоретические и экспериментальные основы прогнозирования структурообразования, свойств высокоуглеродистых легированных сплавов - Харьков : Діса плюс, 2019. - 276 с.

5.2 Література допоміжна:

1. Волкотруб М.П. Процеси спеціальної електromеталургії: Підручник / М.П. Волкотруб, Д.Ф. Чернега, В.Г. Могилатенко, В.О.Шаповалов; За ред. Б.Є.Патона. - К.: «Хімджест». - 2014. - 284 с.
2. Патон Б.Е., Медовар. Б.И. Электрошлаковый металл. - К.: Наукова думка. 1981. - 680с.
3. Патон Б.Е., Тригуб Н.П., Ахонин С.В., Жук Г. В. Электронно-лучевая плавка титана.- К.: Наукова думка. 2006. - 248с.
4. Трощенко В.Т. Усталость металлов при неоднородном напряженном состоянии. - К. : 2011. - 130 с.
5. Григорьев С.М. Порошковая металлургия легирующих и композиционных материалов / С.М. Григорьев, В.А. Скачков, О.Р. Бережная; - Запорожье : Запорож. нац. ун-т, 2017. - 737 с.
6. Гайдук С.В. Наукові основи проектування ливарних жароміцних нікелевих сплавів з необхідним комплексом службових властивостей / С.В. Гайдук, С.Б. Беліков; - Запоріжжя : ЗНТУ, 2017. - 79 с.
7. Богданов В.В. Основи теорії росту кристалів - Х. : ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2010. - 313 с.
8. Поплавко Ю.М. Основы физики магнитных явлений в кристаллах . - К. : НТУУ "КПИ", 2007. - 216 с

9. Гогаев К.А. Порошковая металлургия инструментальных сталей / К.А. Гогаев, В.И. Ульшин ; - Донецк : Ноулидж, 2012. - 367 с.
10. Грінченко В.Ф. Кристаллографія / В.Ф. Грінченко, В.А. Нестеровський, І. В. Квасниця; - К. : Київський університет, 2011. - 205 с.
11. Мамалуй А.А. Вакансии в металлах - Х. : Підручник НТУ "ХПІ", 2013. - 287 с.
12. Фізичні властивості нанокристалічних плівок Ni, Co, Fe, Cu, Ag, їх сплавів та багаточастичастих плівкових систем на їх основі / за заг. ред. проф. В.Б. Лободи ; - Суми : Університетська книга, 2013. - 308 с.
13. Шабловский Я.О. Полиморфизм структуры и анизотропия свойств кристаллических фаз - Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2009. - 192 с.
14. Колобов Г.А. Рафинирование редких металлов - Запорожье: ЗГИА, 2015. - 161 с.
15. Патон Б. Е. и др. Плазменно-индукционное выращивание профилированных монокристаллов тугоплавких металлов - Киев: Наукова думка, 2016. - 216, [1] с.
16. Анисович, А.Г. Практика металлографического исследования материалов / А. Г. Анисович, И. Н. Румянцева ; - Минск : Беларуская навука, 2013. - 219, [32] с.
17. Поплавко Ю.М. Физика металлов (электрические свойства. - К.: НТУУ "КПИ", 2010. - 197 с
18. Зильберг Ю.В. Теория обработки металлов давлением. - Д.: Пороги, 2009. - 434 с.
19. Мешков Ю. Я. Механическая стабильность металлов и сплавов / Ю. Я. Мешков, С. А. Котречко, А. В. Шиян ; - Киев : Наукова думка, 2014. – 276 с.
20. Поперенко Л. В. Оптика металевих структур. - Київ : Київський університет, 2013. - 527 с.
21. Никитин В.И. Новые литейные технологии с использованием явления наследственности/ В.И. Никитин // Литейное производство. – 1997. – №5. – С.12.
22. Семькин С.И. О периодичности свойств твердого и жидкого металла/ И.С. Семькин // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. – Сб.научн.тр. ИЧМ. – Вып. 15. – 2007. –С.123–124.
23. Ладынов В.И. Структурные особенности и процессы затвердевания эвтетических аморфообразующих систем/В.И. Ладынов // Теория и практика металлургии.- 2006.- №3-4.- С. 99-103.
24. Курганов В.А. Доменные чугуны для литейного производства/ В.А. Курганов, В.В. Лессовой, Л.А. Краузе // Литейное производство. – 1992. – №10. – С.12–14.
25. Гаврилин И.В. О механизме образования жидких чугуновых сплавов и их наследственности. /И.В. Гаврилин //Литейное производство. – 1999. – №2. – С.10–12.

26. Рябцев И.А. Структурная наследственность в системе исходные материалы–металлический расплав–твердый металл (Обзор) / И.А. Рябцев // Автоматическая сварка. — 2006. — № 11 (643). — С. 11-16.

6. Засоби діагностики успішності навчання

Для поточного контролю успішності навчання рекомендується одна модульна контрольна робота за окремими розділами (на контрольні роботи виносяться питання лекційного курсу і СР аспірантів):

1. Структурування злитків і виробів.

Підсумковий контроль результатів навчання з дисципліни проводиться у формі екзамену.

Навчальна програма складена на основі ОНП підготовки докторів філософії спеціальності 136 – “Металургія”.

Програму розробив:

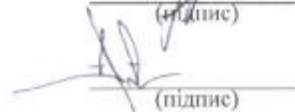
П.Н.С., Д.Т.Н..



(підпис)

Ф.К. Біктагіров

С.Н.С., К.Т.Н.



(підпис)

Ю.О. Никитенко

П.Н.С. К.Т.Н.



(підпис)

І.В. Протоковілов

М.Н.С.



(підпис)

В.Б. Порохонько

Розрахунок часу на самостійну роботу

Час на самостійну роботу аспіранта складає

$$T_{\text{CPA}} = 1t_{\text{Л}} + 1\text{МКР} + \text{Екзамен} = \\ 0,95 \times 46 + 1 \times 15 + 30 = 89$$

Примітка: *Л* – лекції; *ПЗ* – практичні заняття; *МКР* – модульні контрольні роботи; Екзамен.