

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до виконання самостійної роботи**

з навчальної дисципліни «Кристалографія і дефекти кристалічної будови»  
для студентів денної та заочної форм навчання  
за спеціальністю 132 «Матеріалознавство»

Затверджено  
редакційно-видавничою  
радою університету,  
протокол № 3 від 24.10.2024 р.

Харків  
НТУ «ХПІ»  
2024

**Методичні вказівки** до виконання самостійної роботи з навчальної дисципліни «Кристалографія і дефекти кристалічної будови» для студентів денної та заочної форм навчання за спеціальністю 132 «Матеріалознавство» / уклад.: В. В. Білозеров, О. О. Волков, Т. І. Дробенюк, Г. О. Князева, С. А. Князєв, Т. О. Протасенко, В. В. Субботіна, О. В. Субботін, О. С. Терлецький, Г. А. Федоренко. – Харків : НТУ «ХП», 2024. – 35 с.

Укладачі: В. В. Білозеров

О. О. Волков

Т. І. Дробенюк

Г. О. Князева

С. А. Князєв

Т. О. Протасенко

В. В. Субботіна

О. В. Субботін

О. С. Терлецький

Г. А. Федоренко

Рецензент: В. В. Дмитрик

Кафедра «Матеріалознавство»

## ВСТУП

Самостійна робота студента (СРС) – це навчальна діяльність студента, яка планується та виконується за завданням під методичним керівництвом і контролем викладача, але без його прямої участі. Самостійна робота студента, яка є суттєвим елементом навчального процесу поряд з аудиторним навчанням, набуває великого значення, особливо в умовах навчання відповідно до вимог до навчального процесу. СРС формує навички безперервної освіти та самостійної діяльності взагалі, що є конче необхідним у будь-якій професійній діяльності, виробляє здатність самостійно приймати оптимальні рішення.

Програмою навчальної дисципліни «Кристалографія і дефекти кристалічної будови» передбачено виконання самостійної позааудиторної роботи студентів. Під час вивчення запропонованих питань студенти вчаться працювати з літературними та нормативними джерелами інформації, узагальнювати та стисло викладати вивчене. Запропоновані форми виконання самостійної роботи сприяють формуванню творчого відношення до навчання.

Процес виконання самостійної позааудиторної роботи студентів можна умовно поділити на два етапи:

- 1) пошук та опрацювання рекомендованої літератури;
- 2) узагальнення обробленої інформації у вигляді схем, конспектів, планів-характеристик, тез, таблиць; виконання практичних робіт.

Для виконання самостійної роботи студентам рекомендована література з навчальної дисципліни «Кристалографія і дефекти кристалічної будови».

В процесі опрацювання літератури бажано робити нотатки на окремих аркушах паперу або в електронному вигляді. При цьому необхідно зазначити відомості про літературні джерела: автора, назву, видавництво, рік видання, сторінки. Зазначені дані необхідно занести до переліку використаної літератури.

## 1. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

Згідно з освітньою програмою «Прикладне матеріалознавство, новітні технології та комп'ютерний дизайн матеріалів» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 132 «Матеріалознавство» передбачена самостійна робота з навчальної дисципліни «Кристалографія і дефекти кристалічної будови».

Методичні вказівки до виконання самостійної роботи з навчальної дисципліни «Кристалографія і дефекти кристалічної будови» для студентів денної та заочної форм навчання за спеціальністю 132 «Матеріалознавство» складені відповідно до навчального плану та робочої програми вивчення навчальної дисципліни .

Метою самостійної роботи з навчальної дисципліни «Кристалографія і дефекти кристалічної будови» є закріплення теоретичних знань, розвиток навичок самостійної роботи зі спеціальною літературою, оволодіння і поглиблення практичного досвіду з вирішування поставлених завдань, а також формування навичок самостійного творчого пошуку, інтерпретації та використання інформації для вирішування окремих практичних питань.

Самостійна робота студента є основним засобом оволодіння навчальним матеріалом у час, вільний від обов'язкових навчальних занять. Самостійна робота студента включає: вивчення лекційного матеріалу; опрацювання рекомендованої літератури; вивчення основних термінів та понять за темами навчальної дисципліни ; підготовку до практичних занять, тестування, проміжний та підсумковий контроль; виконання індивідуального завдання (розрахунково-графічного завдання); контрольну перевірку кожним студентом особистих знань за допомогою питань для самоконтролю.

## **2. ПЕРЕЛІК ПИТАНЬ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ОПРАЦЮВАННЯ**

### **Тема 1. ГЕОМЕТРИЧНА КРИСТАЛОГРАФІЯ.**

#### **Мета лекції**

1. Ознайомитися з предметом та задачами кристалографії, поняттями про кристал та кристалічну речовину, видами твердої речовини та рідкими кристалами.

#### **План лекції (навчальні питання):**

- 1.1. Вступ.
- 1.2. Предмет та задачі кристалографії.
- 1.3. Поняття про кристал та кристалічну речовину.
- 1.4. Види твердої речовини та рідкі кристали.

#### *Завдання для самостійної роботи*

1. Опрацювати лекційний матеріал за темою

#### *Вивчити такі питання:*

1. Найважливіші макроскопічні властивості кристалів

#### **Рекомендована література: [1, 2, 3].**

#### **Питання і завдання**

1. Скласти таблицю, що порівнює механічні, оптичні та електричні властивості кристалів кварцу, алмазу та графіту.
2. Описати явище анізотропії на прикладі кристалів, вказавши, як змінюються їх механічні властивості в різних напрямках.

## **Тема 1. ГЕОМЕТРИЧНА КРИСТАЛОГРАФІЯ.**

### **Мета лекції**

1. Ознайомитися з симетрією кристалів, елементами симетрії кристалічних багатогранників.

### **План лекції (навчальні питання):**

1.5. Симетрія кристалів.

1.6. Елементи симетрії кристалічних багатогранників.

### *Завдання для самостійної роботи*

1. Опрацювати лекційний матеріал за темою

### *Вивчити такі питання:*

1. Елементи симетрії: центр симетрії, площина, прості поворотні та інверсійні осі.
2. Правило для визначення центра і площини симетрії.
3. Мінімальний кут повороту для суміщення кристала.
4. Порядок осі симетрії.
5. Закон симетрії.

**Рекомендована література:** [1, 2, 3].

### **Питання і завдання**

1. Описати сім основних кристалографічних систем і навести приклади кристалів, які належать до кожної з них.

2. Пояснити, як симетрія впливає на фізичні властивості кристалів, таких як анізотропія чи п'єзоелектричний ефект.

## **Тема 1. ГЕОМЕТРИЧНА КРИСТАЛОГРАФІЯ.**

### **Мета лекції**

1. Ознайомитися зі проекцією елементів симетрії, класами симетрії.

### **План лекції (навчальні питання):**

- 1.7. Проекція елементів симетрії.
- 1.8. Класи симетрії.

### *Завдання для самостійної роботи*

1. Опрацювати лекційний матеріал за темою

### *Вивчити такі питання:*

1. Що таке елементарна комірка, і як вона пов'язана із симетрією?
2. Скільки типів осей симетрії існує? Що таке осі симетрії другого, третього і четвертого порядку?
3. Як класифікують кристали за точковими групами симетрії?
4. Що таке просторові групи симетрії?

### **Рекомендована література: [1, 2, 3].**

### **Питання і завдання**

1. Чому кубічні кристали мають ізотропні властивості, тоді як ромбічні – анізотропні?
2. Як вплив зовнішніх умов (температура, тиск) може змінити симетрію кристала?

## **Тема 1. ГЕОМЕТРИЧНА КРИСТАЛОГРАФІЯ.**

### **Мета лекції**

1. Ознайомитися з кристалографічними категоріями, сингоніями, визначенням кристалографічних символів вузлів, напрямків і площин в кристалічних

гратках.

### **План лекції (навчальні питання):**

1.9. Кристалографічні категорії, сингонії.

1.10. Визначення кристалографічних символів вузлів, напрямків і площин в кристалічних гратках.

### *Завдання для самостійної роботи*

1. Опрацювати лекційний матеріал за темою

### *Вивчити такі питання:*

1. Визначення типу просторової гратки Браве і правило вибору елементарної комірки.

2. Примітивна, базоцентрована, об'ємноцентрована і гранецентрована комірки, розташування атомів.

3. Базис кристалічної структури.

### **Рекомендована література: [1, 2, 3].**

### **Питання і завдання**

1. Скласти таблицю, у якій зазначте всі 7 кристалографічних сингоній, їх характеристики (тип осей симетрії, довжини осей, кути між ними) та приклади мінералів для кожної.

2. Описати, як визначається сингонія кристала за параметрами його елементарної комірки.

3. Пояснити, чому триклинна сингонія вважається найменш симетричною, а кубічна – найбільш симетричною.

## **Тема 1. ГЕОМЕТРИЧНА КРИСТАЛОГРАФІЯ.**

### **Мета лекції**

1. Ознайомитися з типами елементарних комірок Браве та їх кількісними характеристиками.

### **План лекції (навчальні питання):**

1.11. Типи елементарних комірок Браве та їх кількісні характеристики.

#### *Завдання для самостійної роботи*

1. Опрацювати лекційний матеріал за темою

#### *Вивчити такі питання:*

1. Визначення базисної матриці для типових кристалічних структур.
2. Причини відсутності деяких типів комірок в ґратках різних сингоній.
3. Описати, як визначається сингонія кристала за параметрами його елементарної комірки.

**Рекомендована література:** [1, 2, 3].

### **Питання і завдання**

1. Скласти таблицю, у якій зазначте всі 7 кристалографічних сингоній, їх характеристики (тип осей симетрії, довжини осей, кути між ними) та приклади мінералів для кожної.
2. Пояснити, чому триклинна сингонія вважається найменш симетричною, а кубічна – найбільш симетричною.

## **Тема 1. ГЕОМЕТРИЧНА КРИСТАЛОГРАФІЯ.**

### **Мета лекції**

1. Ознайомитися з визначенням найбільш щільноупакованих напрямків і площин в основних ґратках металів.

### **План лекції (навчальні питання):**

1.12. Визначення найбільш щільноупакованих напрямків і площин в основних ґратках металів.

### *Завдання для самостійної роботи*

1. Опрацювати лекційний матеріал за темою

### *Вивчити такі питання:*

1. Координаційний багатогранник і визначення координаційного числа ґраток металів.
2. Розрахування коефіцієнта компактності.
3. Розташування атомів, базисна матриця в складних структурах (ГЦП, графіту, алмазу).

**Рекомендована література:** [1, 2, 3].

### **Питання і завдання**

1. Як щільноупаковані площини впливають на механічні властивості металів?
2. Пояснити, чому метали з ГЦК-ґраткою (наприклад, мідь, алюміній) мають вищу пластичність порівняно з металами з ОЦК-ґраткою (наприклад, залізо).

## **Тема 1. ГЕОМЕТРИЧНА КРИСТАЛОГРАФІЯ.**

### **Мета лекції**

1. Ознайомитися з простими формами кристалів та їх комбінації.

### **План лекції (навчальні питання):**

- 1.13. Прості форми кристалів та їх комбінації.

### *Завдання для самостійної роботи*

1. Опрацювати лекційний матеріал за темою

### *Вивчити такі питання:*

1. Яка геометрична особливість відрізняє прості форми різних кристало-

графічних сингоній?

2. Пояснити, як поєднуються прості форми для утворення складних кристалічних структур.

**Рекомендована література:** [1, 2, 3].

### **Питання і завдання**

1. Визначити, які прості форми переважають у кубічній системі. Пояснити, як вони поєднуються між собою (наприклад, куб та октаедр).

2. Для тригональної системи описати типові комбінації простих форм. Чим вони відрізняються від форм гексагональної системи?

## **Тема 1. ГЕОМЕТРИЧНА КРИСТАЛОГРАФІЯ.**

### **Мета лекції**

1. Ознайомитися із законами геометричної кристалографії.

### **План лекції (навчальні питання):**

1.14. Закони геометричної кристалографії.

### *Завдання для самостійної роботи*

1. Опрацювати лекційний матеріал за темою

### *Вивчити такі питання:*

1. Визначення атомних радіусів.
2. Йонні та ковалентні радіуси.
3. Вплив кристалохімічних чинників на кристалічну структуру.
4. Поліморфні перетворення.
5. Взаємна орієнтовка ґраток модифікацій при поліморфному перетворенні в ферумі (залізі), титані і кобальті.
6. Об'ємний ефект в станумі (олові).
7. Зміна властивостей.

**Рекомендована література:** [1, 2, 3].

### **Питання і завдання**

1. Описати суть закону сталості кутів і пояснити, як його використовують для ідентифікації кристалів.
2. Пояснити, чому співвідношення між площинами граней кристала завжди є раціональними числами.
3. Накреслити кристал кубічної системи та позначте його осі симетрії, площини симетрії та центр симетрії.

## **Тема 1. ГЕОМЕТРИЧНА КРИСТАЛОГРАФІЯ.**

### **Мета лекції**

1. Ознайомитися з кристалографічними параметрами Вейса та індексами площин Міллера, міжплощинними відстанями.

### **План лекції (навчальні питання):**

- 1.15. Кристалографічні параметри Вейса та індекси площин Міллера.
- 1.16. Міжплощинні відстані.

### *Завдання для самостійної роботи*

1. Опрацювати лекційний матеріал за темою

### *Вивчити такі питання:*

1. Пояснити, що таке кристалографічні параметри Вейса і як їх використовують для опису кристалічних структур.
2. Що таке індекси Міллера і як вони використовуються для позначення площин в кристалічних ґратках?
3. Охарактеризувати поняття міжплощинної відстані у кристалічних ґратках. Як ця відстань пов'язана з індексами Міллера?

**Рекомендована література:** [1, 2, 3].

## **Питання і завдання**

1. Навести формули для параметрів Вейса для різних типів ґраток.
2. Пояснити, як визначити індекси Міллера для заданої площини в прямокутній комірці.
3. Пояснити, як визначити міжплощинну відстань для кристала з кубічною ґраткою.

## **Тема 1. ГЕОМЕТРИЧНА КРИСТАЛОГРАФІЯ.**

### **Мета лекції**

Ознайомитися з кристалографічними індексами площин та напрямків.

### **План лекції (навчальні питання):**

1.17. Кристалографічні індекси площин та напрямків.

#### *Завдання для самостійної роботи*

1. Опрацювати лекційний матеріал за темою

#### *Вивчити такі питання:*

1. Пояснити, що таке кристалографічні індекси площин Міллера ( $hkl$ ). Як вони використовуються для позначення площин у кристалічних ґратках?
2. Які властивості мають індекси площин? Як вони взаємодіють з іншими індексами та напрямками в кристалі?
3. Як визначити індекси площини в прямокутній, кубічній та ромбічній системах?
4. Пояснити, що таке кристалографічні індекси напрямків  $[uvw]$ . Як вони відрізняються від індексів площин?
5. Як індекси напрямків використовуються для позначення напрямків у кристалічних ґратках?
6. Яким чином можна визначити індекси напрямку для кристалів кубічної та гексагональної систем?

**Рекомендована література:** [1, 2, 3].

## **Питання і завдання**

1. Пояснити, як індекси площин можуть бути використані для визначення міжплощинної відстані в кристалі. Як це залежить від розмірів параметрів ґратки?
2. Як відрізняються індекси напрямків для кубічної, гексагональної та триклінної сингоній? Навести приклади для кожної системи.
3. Пояснити різницю між індексами площин і напрямків. Як вони взаємодіють у визначенні фізичних властивостей кристалів, таких як пружність або електропровідність?

## **Тема 1. ГЕОМЕТРИЧНА КРИСТАЛОГРАФІЯ.**

### **Мета лекції**

1. Ознайомитися із прямою та зворотною ґратками, умовами дифракції Лауе, практичним використанням понять прямої та зворотної ґраток.

### **План лекції (навчальні питання):**

- 1.18. Пряма та зворотна ґратки.
- 1.19. Умови дифракції Лауе.
- 1.20. Практичне використання понять прямої та зворотної ґраток.

### *Завдання для самостійної роботи*

1. Опрацювати лекційний матеріал за темою

### *Вивчити такі питання:*

1. Пояснити, що таке пряма ґратка та зворотна ґратка. Які відмінності між ними?
2. Яке математичне визначення має зворотна ґратка? Як зв'язано визначення векторів прямої і зворотної ґратки?
3. Описати, як побудувати зворотну ґратку для кубічної ґратки. Які її властивості?
4. Пояснити умови дифракції Лауе. Як вони визначають, коли відбудеться дифракція рентгенівських променів у кристалі?

5. Як зв'язано поняття зворотної ґратки і умови дифракції Лауе?

**Рекомендована література:** [1, 2, 3].

### **Питання і завдання**

1. Пояснити, як зворотна ґратка допомагає в аналізі дифракційних картин у рентгенівській кристалографії. Як з її допомогою визначають параметри ґратки?

2. Як зворотна ґратка пов'язана з концепцією взаємного простору в кристалографії?

## **Тема 1. ГЕОМЕТРИЧНА КРИСТАЛОГРАФІЯ.**

### **Мета лекції**

1. Ознайомитися із принципом побудування стереографічної проекції.

### **План лекції (навчальні питання):**

1.21. Принцип побудування стереографічної проекції.

### *Завдання для самостійної роботи*

1. Опрацювати лекційний матеріал за темою

### *Вивчити такі питання:*

1. Пояснити, що таке стереографічна проекція. Як вона використовується для відображення тривимірних об'єктів на площині?

2. Описати основні властивості стереографічної проекції. Як здійснюється проекція точки з поверхні сфери на площину?

3. Як стереографічна проекція застосовується в кристалографії для відображення напрямків і площин кристалічних ґраток?

4. Які переваги дає використання стереографічної проекції в аналізі симетрії кристалів?

5. Як знайти координати точки на площині, яка є результатом стереографічної проекції точки на поверхні сфери?

6. Пояснити, як обчислюються координати для точок, що знаходяться в різних квадрантах стереографічної проекції.

**Рекомендована література:** [1, 2, 3].

### **Питання і завдання**

1. Пояснити, як стереографічна проекція використовується для визначення симетрії кристалів. Які симетрії можна легко виявити за допомогою цієї проекції?

2. Розглянути приклад застосування стереографічної проекції для визначення симетрії напрямків і площин в кристалі.

## **Тема 2. ДЕФЕКТИ КРИСТАЛІЧНОЇ БУДОВИ.**

### **Мета лекції**

1. Ознайомитися із точковими дефектами, утворенням точкових дефектів у чистих металах, концентрацією точкових дефектів, комбінацією точкових дефектів.

### **План лекції (навчальні питання):**

2.1. Точкові дефекти.

2.2. Утворення точкових дефектів у чистих металах.

2.3. Концентрація точкових дефектів.

2.4. Комбінації точкових дефектів.

### *Завдання для самостійної роботи*

1. Опрацювати лекційний матеріал за темою

### *Вивчити такі питання:*

1. Поняття макро- і мікроскопічного розміру дефекту. Точкові нульвимірні дефекти.

2. Власні і домішкові дефекти.

3. Зміщення атомів навколо вакансії.

4. Утворення вакансій за механізмом Шоттки та Френкеля.
5. Поняття стоків.
6. Міжвузлові атоми.
7. Енергія утворення вакансій і міжвузлових атомів.
8. Зв'язок із температурою плавлення металів.

**Рекомендована література:** [2, 3].

### **Питання і завдання**

1. Пояснити, як точкові дефекти впливають на механічні властивості металів, такі як твердість, пластичність, електрична та теплопровідність.
2. Як зміна температури може вплинути на ці властивості?
3. Як тип кристалічної структури металу (наприклад, кубічна або гексагональна) може впливати на концентрацію точкових дефектів?

## **Тема 2. ДЕФЕКТИ КРИСТАЛІЧНОЇ БУДОВИ.**

### **Мета лекції**

1. Ознайомитися із лінійними дефектами, кристалографічним аналізом дислокацій та їх кількісними характеристиками, крайовою дислокацією та її пересуванням.

### **План лекції (навчальні питання):**

- 2.5. Лінійні дефекти.
- 2.6. Кристалографічний аналіз дислокацій та їх кількісні характеристики.
- 2.7. Крайова дислокація та її пересування.

### *Завдання для самостійної роботи*

1. Опрацювати лекційний матеріал за темою

### *Вивчити такі питання:*

1. Комплекси точкових дефектів: дівакансії і тетравакансії, вакансійні пори, гантель краудіон.

2. Зміна концентрації вакансій при гартуванні та відпаленні.
3. Методи визначення концентрації вакансій.

**Рекомендована література:** [2, 3].

### **Питання і завдання**

1. Як дислокація впливає на властивості матеріалу?
2. Як дислокації впливають на твердість, пластичність та міцність матеріалу? Яка роль дислокацій у процесах деформації?

## **Тема 2. ДЕФЕКТИ КРИСТАЛІЧНОЇ БУДОВИ.**

### **Мета лекції**

1. Ознайомитися із гвинтовою дислокацією, криволінійними дислокаціями.

### **План лекції (навчальні питання):**

- 2.8. Гвинтова дислокація.
- 2.9. Криволінійні дислокації.

### *Завдання для самостійної роботи*

1. Опрацювати лекційний матеріал за темою

### *Вивчити такі питання:*

1. Що таке гвинтова дислокація? Яким чином вона відрізняється від крайової дислокації?
2. Пояснити механізм переміщення гвинтової дислокації у кристалі. Як вона впливає на пластичну деформацію?
3. Які зміни в структурі кристала викликає гвинтова дислокація?
4. Що таке криволінійні дислокації? Як вони утворюються в кристалічних ґратках?
5. Пояснити, як гвинтова і крайова дислокації можуть комбінуватися, утворюючи криволінійні дислокації.

6. Як криволінійні дислокації впливають на властивості матеріалів, такі як міцність та пластичність?

**Рекомендована література:** [2, 3].

### **Питання і завдання**

1. Пояснити, як гвинтова дислокація рухається по площинам, що мають певну орієнтацію в кристалі. Як переміщення дислокації змінює структуру ґратки, і які сили при цьому діють на атоми?

2. Як змінюється поведінка гвинтової дислокації при різних температурних режимах?

## **Тема 2. ДЕФЕКТИ КРИСТАЛІЧНОЇ БУДОВИ.**

### **Мета лекції**

1. Ознайомитися із вектором Бюргерса, контуром Бюргерса, густиною дислокацій.

### **План лекції (навчальні питання):**

2.10. Вектор Бюргерса.

2.11. Контур Бюргерса.

2.12. Густина дислокацій.

### *Завдання для самостійної роботи*

1. Опрацювати лекційний матеріал за темою

### *Вивчити такі питання:*

1. Яке фізичне значення має вектор Бюргерса в контексті пластичної деформації?

2. Як з використанням контуру Бюргерса можна визначити величину і напрямок вектора Бюргерса?

3. Які фактори впливають на густину дислокацій в матеріалі? Як густина дислокацій змінюється під час пластичної деформації?

4. Як густина дислокацій пов'язана з механічними властивостями матеріалу, такими як міцність і пластичність?

**Рекомендована література:** [2, 3].

### **Питання і завдання**

1. Пояснити, як вектор Бюргерса змінюється при переміщенні дислокації під дією зовнішнього напруження. Як це переміщення впливає на структуру кристала та властивості матеріалу?

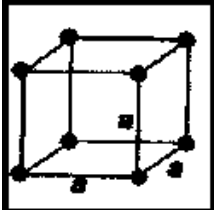
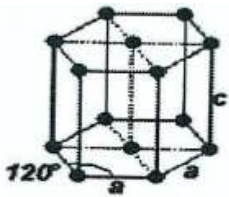
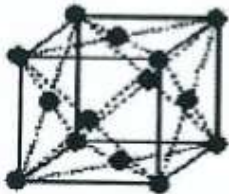
2. Як густина дислокацій впливає на механічні властивості матеріалів? Як вона пов'язана з такими явищами, як твердість та пластичність? Пояснити ефект затруднення руху дислокацій в результаті підвищення їхньої густини.


### 3. ПРИКЛАДИ ТЕСТОВИХ ЗАВДАНЬ

Варіант 1		
№	Питання	Варіант відповіді
1	Кристалічний стан твердого тіла характеризується:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. тривимірно впорядкованим розташуванням матеріальних частинок.</li> <li>2. хаотичним розташуванням матеріальних частинок.</li> <li>3. одновимірно впорядкованим розташуванням матеріальних частинок.</li> <li>4. двовимірно впорядкованим розташуванням матеріальних частинок.</li> </ol>
2	Кристалічний стан твердого тіла:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. більш стійкий, ніж аморфний.</li> <li>2. менш стійкий, ніж аморфний.</li> <li>3. має таку саму стійкість, як аморфний.</li> <li>4. може бути менш або більш стійким, ніж аморфний, залежно від температури навколишнього середовища.</li> </ol>
3	Упорядковану закономірність і симетрію внутрішньої будови мають...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. кристали.</li> <li>2. аморфні тіла.</li> <li>3. рідини.</li> <li>4. гази.</li> </ol>
4	Кристалічна ґратка - це:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. допоміжний геометричний образ, що вводиться для аналізу будови кристала.</li> <li>2. форма кристала.</li> <li>3. геометрична форма з одновимірно впорядкованим розташуванням матеріальних частинок.</li> <li>4. геометрична форма з двовимірно впорядкованим розташуванням матеріальних частинок.</li> </ol>
5	Допоміжний об'ємний геометричний образ, що вводиться для аналізу будови кристала - це:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. кристалічна ґратка.</li> <li>2. плоска сітка.</li> <li>3. паралелепіпед повторюваності.</li> <li>4. вузол.</li> </ol>


6	Вузлом просторової ґратки може бути:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. будь-яка окрема матеріальна частка.</li> <li>2. тільки атом.</li> <li>3. виключно молекули.</li> <li>4. тільки йони</li> </ol>
7	Період ідентичності - це:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. найкоротша відстань між тотожними частинками атомного ряду.</li> <li>2. відстань між частинками кристалічної ґратки, що лежать в одній атомній площині.</li> <li>3. відстань між будь-якими частинками атомного ряду</li> <li>4. відстань між будь-якими тотожними частинками кристалічної ґратки</li> </ol>
8	Міжплощинна відстань - це:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. найкоротша відстань між тотожними паралельними площинами кристалічної ґратки.</li> <li>2. відстань між будь-якими площинами кристалічної ґратки.</li> <li>3. найкоротша відстань між будь-якими паралельними площинами кристалічної ґратки.</li> <li>4. відстань між частинками кристалічної ґратки, що лежать в одній атомній площині</li> </ol>
9	Паралелепіпед повторюваності просторової ґратки - це:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. паралелепіпед найменшого обсягу.</li> <li>2. паралелепіпед із найбільшим числом прямих кутів.</li> <li>3. паралелепіпед із найбільшим числом рівних ребер.</li> <li>4. паралелепіпед будь-якої форми та об'єму.</li> </ol>
10	Аморфний стан твердого тіла:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. менш стійкий, ніж кристалічний.</li> <li>2. більш стійкий, ніж кристалічний.</li> <li>3. має таку саму стійкість, як кристалічний.</li> <li>4. може бути менш або більш стійким, ніж кристалічний залежно від температури навколишнього середовища.</li> </ol>

11	Відмінність властивостей за різними кристало-графічними напрямками називається:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. анізотропія.</li> <li>2. поліморфізм.</li> <li>3. ізоморфізм.</li> <li>4. політипія.</li> </ol>
12	Анізотропію властивостей мають:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. металеве скло.</li> <li>2. монокристали.</li> <li>3. аморфні речовини.</li> <li>4. усі полікристалічні матеріали.</li> </ol>
13	Система позначень розташування ребер і граней в елементарній комірці, а також інших напрямків у ній, називається:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. системою індексів Міллера.</li> <li>2. системою індексів Федорова.</li> <li>3. системою індексів Менделєєва.</li> <li>4. системою індексів Ломоносова.</li> </ol>
14	Кристалографічний символ вузла:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>[[112]]</math>.</li> <li>2. <math>[112]</math>.</li> <li>3. <math>(112)</math>.</li> <li>4. <math>\{112\}</math>.</li> </ol>
15	Кристалографічний символ сімейства напрямків - це:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>\langle 112 \rangle</math>.</li> <li>2. <math>[112]</math>.</li> <li>3. <math>(112)</math>.</li> <li>4. <math>\{112\}</math>.</li> </ol>
16	Кристалографічний символ напрямку - це:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>[112]</math>.</li> <li>2. <math>[[112]]</math>.</li> <li>3. <math>(112)</math>.</li> <li>4. <math>\{112\}</math>.</li> </ol>
17	Кристалографічний символ сімейства площин - це:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>\{112\}</math>.</li> <li>2. <math>\langle 112 \rangle</math>.</li> <li>3. <math>[112]</math>.</li> <li>4. <math>(112)</math>.</li> </ol>
18	Кристалографічний символ площини - це:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>(112)</math>.</li> <li>2. <math>[[112]]</math>.</li> <li>3. <math>[112]</math>.</li> <li>4. <math>\{112\}</math>.</li> </ol>
19	З віссю X збігається кристалографічний напрямок:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>[100]</math>.</li> <li>2. <math>[110]</math>.</li> <li>3. <math>[010]</math>.</li> </ol>

		4. [001].
20	З віссю Y збігається кристалографічний напрямок:	1. [010]. 2. [110]. 3. [100]. 4. [001].
Варіант 2		
№	Питання	Варіант відповіді
1	З віссю Z збігається кристалографічний напрямок:	1. [001]. 2. [10]. 3. [100]. 4. [010].
2	Типи комірок, властиві просторовим ґраткам різних сингоній, називаються:	1. комірки Браве. 2. комірки Шотткі. 3. комірки Снука. 4. комірки Франка.
3	На рисунку схематично зображено: 	1. проста кубічна ґратка. 2. базоцентрована кубічна ґратка. 3. гранецентрована кубічна ґратка. 4. об'ємно-центрована кубічна.
4	На рисунку схематично зображено: 	1. гексагональна базоцентрована. 2. проста кубічна ґратка. 3. гранецентрована кубічна ґратка. 4. об'ємно-центрована кубічна.
5	На рисунку схематично зображено: 	1. гранецентрована кубічна ґратка, що гранецентрується. 2. проста кубічна ґратка. 3. об'ємно-центрована кубічна. 4. базоцентрована кубічна ґратка. шетка.

6	<p>На рисунку схематично зображено:</p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. базоцентрована ґратка.</li> <li>2. проста кубічна ґратка.</li> <li>3. гранецентрована кубічна ґратка.</li> <li>4. об'ємно-центрована кубічна ґратка.</li> </ol>
7	<p>На рисунку схематично зображено:</p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. гексагональна щільноупакована.</li> <li>2. базоцентрована.</li> <li>3. проста кубічна.</li> <li>4. гранецентрована кубічна</li> </ol>
8	<p>На рисунку схематично зображено:</p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. об'ємно-центрована кубічна.</li> <li>2. проста кубічна ґратка.</li> <li>3. гранецентрована кубічна ґратка.</li> <li>4. базоцентрована кубічна ґратка.</li> </ol>
9	<p>На примітивну комірку Браве припадає цілих вузлів:</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 1.</li> <li>2. 2.</li> <li>3. 4.</li> <li>4. 3.</li> </ol>
10	<p>На об'ємно-центровану комірку Браве припадає ... цілих вузла.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 2.</li> <li>2. 1.</li> <li>3. 4.</li> <li>4. 6.</li> </ol>
11	<p>На гранецентровану комірку Браве припадає ... цілих вузла.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 4.</li> <li>2. 6.</li> <li>3. 2.</li> <li>4. 1.</li> </ol>
12	<p>Базоцентровану комірку Браве утворює:</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 6 вузлів.</li> <li>2. 4 вузли.</li> <li>3. 12 вузлів.</li> <li>4. 14 вузлів.</li> </ol>

13	Гранецентровану комірку Браве утворює:	1. 14 вузлів. 2. 16 вузлів. 3. 20 вузлів. 4. 9 вузлів.
14	Об'ємноцентровану комірку Браве утворює:	1. 5 вузлів. 2. 4 вузли. 3. 6 вузлів. 4. 8 вузлів.
15	Елементарний кут повороту осі симетрії 6 становить:	1. $60^\circ$ . 2. $90^\circ$ . 3. $120^\circ$ . 4. $360^\circ$ .
16	Елементарний кут повороту осі симетрії 2 становить:	1. $180^\circ$ . 2. $90^\circ$ . 3. $120^\circ$ . 4. $360^\circ$ .
17	Елементарний кут повороту осі симетрії 4 становить:	1. $90^\circ$ . 2. $60^\circ$ . 3. $180^\circ$ . 4. $360^\circ$ .
18	Елементарний кут повороту осі симетрії 3 порядку становить:	1. $120^\circ$ . 2. $60^\circ$ . 3. $180^\circ$ . 4. $360^\circ$ .
19	Знаком ▲ позначається вісь симетрії:	1. третього порядку. 2. другого порядку. 3. четвертого порядку. 4. першого порядку.
20	Знаком ■■ позначається вісь симетрії:	1. четвертого порядку. 2. другого порядку. 3. третього порядку. 4. першого порядку.
Варіант 3		
№	Питання	Варіант відповіді

1	Знаком $O$ на стереографічних проекціях позначається:	<ol style="list-style-type: none"> <li>вісь симетрії шостого порядку.</li> <li>вісь симетрії четвертого порядку.</li> <li>вісь симетрії третього порядку.</li> <li>вісь симетрії другого порядку.</li> </ol>
2	Поворотна вісь четвертого порядку графічно зображується:	<ol style="list-style-type: none"> <li>■</li> <li>■</li> <li></li> <li>◇</li> </ol>
3	У кристалічних многогранниках <b>не існує</b> поворотної осі симетрії:	<ol style="list-style-type: none"> <li>п'ятого порядку.</li> <li>третього порядку.</li> <li>четвертого порядку.</li> <li>другого порядку.</li> </ol>
4	У кристалічних многогранниках <b>не зустрічається</b> інверсійної осі симетрії:	<ol style="list-style-type: none"> <li>третього порядку.</li> <li>четвертого порядку.</li> <li>другого порядку.</li> <li>п'ятого порядку.</li> </ol>
5	За наявності центру симетрії:	<ol style="list-style-type: none"> <li>кожній грані багатогранника відповідає інша грань, яка їй дорівнює і паралельна або антипаралельна.</li> <li>усі грані багатогранника рівні між собою.</li> <li>грані багатогранника попарно паралельні.</li> <li>грані багатогранника попарно антипаралельні.</li> </ol>
6	Дзеркальна площина симетрії ділить:	<ol style="list-style-type: none"> <li>на дзеркально рівні частини кристалічний багатогранник.</li> <li>на рівні частини ребра кристалічного багатогранника.</li> <li>на дзеркально рівні частини грані кристалічного багатогранника.</li> <li>на рівні частини кристалічний багатогранник тільки по діагоналі.</li> </ol>
7	У кристалографічних формулах симетрії поворотна вісь симетрії позначається символом:	<ol style="list-style-type: none"> <li>L.</li> <li>M.</li> <li>P.</li> <li>C.</li> </ol>

8	Дзеркальна вісь симетрії графічно зображується:	
9	У кристалографічних формулах симетрії центр симетрії позначається символом:	1. С. 2. Р. 3. L. 4. М.
10	Центр симетрії графічно зображується:	
11	У кристалографічних формулах симетрії дзеркальна площина симетрії позначається символом:	1. Р. 2. Н. 3. L. 4. С.
12	Координаційне число частинок у простій кубічній ґратці дорівнює:	1. 6. 2. 4. 3. 8. 4. 12.
13	Координаційне число частинок в ОЦК ґратці становить:	1. 8. 2. 4. 3. 6. 4. 12.
14	Координаційне число частинок у ГЦК ґратці становить:	1. 12. 2. 4. 3. 6. 4. 8.
15	Координаційне число частинок у гексагональній щільноупакованій ґратці дорівнює:	1. 12. 2. 4. 3. 6. 4. 8.
16	Коефіцієнт компактності гексагональної щільноупакованої	1. 0,74. 2. 0,52. 3. 0,68. 4. 1,00.

	кристалічної ґратки дорівнює:	
17	Коефіцієнт компактності простої кубічної кристалічної ґратки дорівнює:	1. 0,52. 2. 0,68. 3. 0,74. 4. 1,00.
18	Коефіцієнт компактності гранецентрованої кубічної кристалічної ґратки дорівнює:	1. 0,74. 2. 0,52. 3. 0,68. 4. 1,00.
19	Коефіцієнт компактності об'ємноцентрованої кубічної кристалічної ґратки дорівнює:	1. 0,68. 2. 0,52. 3. 0,74. 4. 1,00.
20	За координаційного числа 2 координаційне оточення (фігура або багатогранник) являє собою:	1. гантель. 2. тетраedr. 3. октаedr. 4. куб.

## 4. ПЕРЕЛІК ПИТАНЬ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ОПРАЦЮВАННЯ

### Тема 1. Кристалографія

1. Будова кристалічних матеріалів.
2. Кристалографічні індекси вузлів, вузлових рядів і вузлових площин.
3. Елементи симетрії кристалічних багатогранників.
4. Системи трансляцій (ґратки Браве).
5. Умови вибору та характеристики елементарних комірок.
6. Координаційні числа та координаційні багатогранники.
7. Щільноупаковані шари та багаточислові найщільніші пакування.
8. Основні структурні типи металічних елементів.
9. Симетрія й анізотропія фізичних властивостей кристалів.
10. Кристалохімія та кристалофізика: поняття та основні принципи.
11. Чим характеризується кристалічний стан твердого тіла?
12. Порівняйте кристалічний та аморфний стан твердого тіла.
13. Що має впорядковану закономірність і симетрію внутрішньої будови?
14. Що таке кристалічна ґратка?
15. Які основні характеристики кристалічного стану речовини?
16. Назвати основні принципи геометричної та структурної кристалографії.
17. Назвати елементи симетрії кристалічних багатогранників.
18. Які існують класи симетрії, сингонії та категорії кристалів?
19. Що таке системи трансляцій (ґратки Браве)?
20. Перелічити умови вибору та характеристики елементарних комірок.
21. Які існують просторові групи симетрії кристалів?
22. Що таке правильні системи точок?
23. Навести приклади координаційних чисел і координаційних многогранників.
24. Назвати розташування, кількість і розміри порожнин у гранецентрованої кубічній (ГЦК), гексагональній щільноупакованій (ГП) та об'ємноцентрованої кубічній (ОЦК) ґратках.
25. Що таке ізоморфізм?
26. Що таке поліморфізм?
27. Що може бути вузлом просторової ґратки?
28. Що таке період ідентичності?

## Тема 2. Дефекти кристалічної будови

1. Ідеальний кристал і дефекти будови реальних кристалічних матеріалів.
2. Види точкових дефектів.
3. Енергія утворення та рівноважна концентрація вакансій і міжвузельних атомів. Міграція точкових дефектів.
4. Джерела та стоки точкових дефектів. Комплекси точкових дефектів.
5. Теоретична та реальна міцність кристалів.
6. Крайові, гвинтові та змішані дислокації. Рух дислокацій.
7. Контур і вектор Бюргерса дислокацій. Щільність дислокацій.
8. Поле пружних напружень і пружна енергія дислокацій.
9. Дислокації та дефекти пакування в типових металічних структурах.
10. Взаємодія дислокацій із вакансіями та міжвузловими атомами.
11. Розмноження дислокацій під час пластичної деформації.
12. Джерело Франка-Ріда. Джерело Бардіна-Геррінга.
13. Як називається лінійна конфігурація, утворена міжвузельними атомами під час об'єднання?
14. За яким механізмом відбувається одночасне утворення вакансій і міжвузельних атомів?
15. За яким механізмом не може відбуватися утворення теплових вакансій?
16. Що належить до нульмерних дефектів кристалічної будови?
17. Що відбувається під час зустрічі вакансій і міжвузельних атомів?
18. Як термічне оброблення «гартування» впливає на концентрацію вакансій?
19. Що належить до мікроскопічних дефектів кристалічної будови?
20. Що таке дисклінації?

# НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Пилипенко І. В., Спасьонова Л. М. Кристалохімія : навч. посіб. для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» освітньої програми «Хімічні технології неорганічних в'язучих речовин, кераміки, скла та полімерних і композиційних матеріалів» / КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 4,33 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 100 с. URL: <https://ela.kpi.ua/bitstreams/43cc355a-0e83-4fe0-96b2-975eb0b3c0cc/download>
2. Колінько С. О., Бутенко Т. І., Ващенко В. А. Конспект лекцій з дисципліни «Кристалографія» для здобувачів освітнього ступеня бакалавра спеціальності 132 «Матеріалознавство» денної форми навчання / М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. Черкаси : ЧДТУ, 2020. 99 с. URL: <https://er.chdtu.edu.ua/bitstream/ChSTU/4011/1/97.pdf>
3. Мамчур С. І., Носова Т. В., Федосов О. В. Кристалографія, кристалохімія та мінералогія : Конспект лекцій для здобувачів освітнього ступеня бакалавр зі спеціальності 132 «Матеріалознавство» денної форми навчання. Дніпро : 2024. 96 с. URL: [https://files.fti.dp.ua/preprint/krystalohrafiya-krystalokhimiya-ta-mineralohiya?perpage=12&order=DESC&orderby=date&pos=10&source\\_list=collection&ref=%2Fpreprint%2F%3Fview\\_mode%3Drecords%26perpage%3D12%26page\\_d%3D1%26order%3DDESC%26orderby%3Ddate%26fetch\\_only%3Dthumbnail%26fetch\\_only\\_meta%3D1832%252C1876%252C1861%252C2461%252C2459](https://files.fti.dp.ua/preprint/krystalohrafiya-krystalokhimiya-ta-mineralohiya?perpage=12&order=DESC&orderby=date&pos=10&source_list=collection&ref=%2Fpreprint%2F%3Fview_mode%3Drecords%26perpage%3D12%26page_d%3D1%26order%3DDESC%26orderby%3Ddate%26fetch_only%3Dthumbnail%26fetch_only_meta%3D1832%252C1876%252C1861%252C2461%252C2459)
4. Бірюкович Л. О., Соловійова Т. О. Кристалохімія тугоплавких сполук. Лаб. практикум : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів» спеціальності «Матеріалознавство» / КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,01 Кбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 92 с. URL: <https://ela.kpi.ua/bitstreams/19318b35-3a8a-4f42-a790-e9c52b599d1b/download>
5. Кушнерьов О. І. Практикум з дисципліни «Кристалографія». Дніпро : ліра, 2022. 40 с. URL: [http://repository.dnu.dp.ua:1100/?page=inner\\_material&id=15087](http://repository.dnu.dp.ua:1100/?page=inner_material&id=15087)
6. Менчук В. В., Раскола Л. А. Кристалохімія : метод. посіб. для практичних занять з курсу для студентів ф-ту хімії та фармації спеціальності 102 Хімія.

Одеса : Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова, 2022. 49 с. URL: <http://dspace.onu.edu.ua:8080/bitstream/123456789/33697/1/8F.pdf>

7. Кристалохімія. Лаб. практикум : навч.-метод. посіб. / К. С. Ютілова, Г. М. Розанцев, О. М. Швед, А. В. Кравчук. Вінниця : ДонНУ імені Василя Стуса, 2023. 56 с. URL: <https://r2.donnu.edu.ua/bitstreams/5e133810-3e9c-4f1a-842b-85af989bc3f6/download>

8. Marcos C. Crystallography. Introduction to the study of minerals. Springer Cham, 2022. 523 p. URL: <https://www.geokniga.org/books/31176>

9. Crystallography in materials science : from structure-property relationships to engineering /Schorr S., Weidenthaler C. (ed.). Walter de Gruyter GmbH, 2021. 369 p.

10. Кодекс етики академічних взаємовідносин та доброчесності Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» СУЯ ХПІ-ВЗЯОД-МР/10.1:2023. URL: <https://blogs.kpi.kharkov.ua/v2/nv/wp-content/uploads/sites/43/2024/04/Kodeks-etyky-akademichnyh-vzayemovidnosyn-ta-dobrochesnosti-Natsionalnogo-tehnichnogo-universytetu-Harkivskyj-politehnicnyj-institut-.pdf>

11. СТЗВО-ХПІ-3.01-2021. Система стандартів з організації навчально-го процесу. Текстові документи у сфері навчального процесу. Загальні вимоги до виконання / Є. Сокол, Р. Мигущенко, С. Радогуз, В. Пильов, С. Хазієва, Г. Крупа. – На заміну СТЗВО-ХПІ-3.01-2018 ; [чинний з 2022-01-01]. Харків : НТУ «ХПІ», 2021. 52 с. URL: <http://blogs.kpi.kharkov.ua/v2/metodotdel/wp-content/uploads/sites/28/2021/12/STZVO-HPI-3.01-2021-SSONP.-Tekstovi-dokumenty-u-sferi-navchalnogo-protsesu.-Zagalni-vimogi-do-vikonannya.pdf>

## ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ В ІНТЕРНЕТІ

1. <https://studfiles.net/>

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>3</b>
<b>1. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ.....</b>	<b>4</b>
<b>2. ПЕРЕЛІК ПИТАНЬ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ОПРАЦЮВАННЯ.....</b>	<b>5</b>
<b>3. ПРИКЛАДИ ТЕСТОВИХ ЗАВДАНЬ.....</b>	<b>20</b>
<b>4. ПЕРЕЛІК ПИТАНЬ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ОПРАЦЮВАННЯ.....</b>	<b>29</b>
<b>НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ.....</b>	<b>32</b>
<b>РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....</b>	<b>32</b>
<b>ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ В ІНТЕРНЕТІ.....</b>	<b>33</b>

Навчальне видання

Методичні вказівки  
до виконання самостійної роботи  
з навчальної дисципліни «Кристаліграфія і дефекти кристалічної будови»  
для студентів денної та заочної форм навчання  
за спеціальністю 132 «Матеріалознавство»

Укладачі:

БІЛОЗЕРОВ Валерій Володимирович  
ВОЛКОВ Олег Олексійович  
ДРОБЕНЮК Тамара Іванівна  
КНЯЗЄВА Ганна Олександрівна  
КНЯЗЄВ Сергій Анатолійович  
ПРОТАСЕНКО Тетяна Олександрівна  
СУББОТІНА Валерія Валеріївна  
СУББОТІН Олександр Володимирович  
ТЕРЛЕЦЬКИЙ Олександр Семенович  
ФЕДОРЕНКО Ганна Анатоліївна

Відповідальна за випуск проф. Субботіна В. В.  
Роботу до видання рекомендувала проф. Пономаренко О. І.

В авторській редакції

План 2024 р., поз. 970

Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк.

Видавничий центр НТУ «ХП».

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р.

61002, Харків, вул. Кирпичова, 2.

Електронне видання