

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ  
УКРАЇНИ**

**КАФЕДРА ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНИХ ДИСЦИПЛІН**

**Методичні рекомендації  
до лабораторного заняття  
з навчальної дисципліни “Фізика”**

**ВИЗНАЧЕННЯ  
ГОРИЗОНТАЛЬНОЇ СКЛАДОВОЇ  
НАПРУЖЕНОСТІ МАГНІТНОГО  
ПОЛЯ ЗЕМЛІ**

Обговорено та затверджено на засіданні  
кафедри фізико-математичних дисциплін  
Протокол № \_\_\_\_ від \_\_\_\_\_ 201 р.

## План-конспект лабораторного заняття

### «Визначення горизонтальної складової напруженості магнітного поля Землі»

**Тема заняття:** Вивчення основних властивостей магнітного поля Землі і використання законів магнетизму для експериментального визначення горизонтальної складової напруженості магнітного поля Землі

**Мета заняття:**

— *навчальна:* навчити використовувати знання законів магнетизму для знаходження фізичних величин, пов'язаних з цими законами, зокрема вивчення властивостей магнітного поля Землі. Ознайомити слухачів з методами наукового пізнання на практиці;

— *виховна:* виховувати інформаційну культуру студентів, увагу, дисциплінованість, самоконтроль;

— *розвиваюча:* розвивати впізнавальний інтерес, мислення, уміння використовувати на практиці фізичні прилади. Забезпечити розвиток експериментальних умінь слухачів і навичок проведення вимірювань фізичних величин.

**Тип заняття:** закріплення вивченого матеріалу.

**Вид заняття:** лабораторна робота.

**Методи навчання:**

*пояснювально-ілюстративний:*

– більш конкретне, наочне пояснювання слухачам навчального матеріалу;

*частково-пошуковий метод:*

– пошук слухачами відповідей на сукупність логічних запитань з конкретної теми, спрямованих на виконання лабораторної роботи.

**Опорні терміни і поняття:** напруженість магнітного поля, індукція магнітного поля, магнітне поле колового струму.

**Основні джерела інформації:**

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т. Загальний курс фізики: Т.2.: Електрика і магнетизм. – К.: Техніка, 1999. – 452 с., ст. 262-268.

2. Борисенко В. Г. Фізика. Практикум. Лабораторні роботи. Х.: НУЦЗУ, 2010. – ст. 14-22.

3. ФІЗИКА. Методичні рекомендації з організації самостійної роботи студентів при вивченні дисципліни. / Борисенко В. Г., Деркач Ю.Ф., Кривцова В.І., Умеренкова К.Р. / Х.: НУЦЗУ, 2010, 63 с. (електронний варіант).

### **План заняття та розподіл часу**

1. Організаційний етап – 5хв:
  - нагадування правил техніки безпеки для перебування в лабораторії, та під час виконання лабораторної роботи;
  - перевірка наявності запису лабораторної роботи в журналі звітів.
2. Підготовка до виконання лабораторної роботи – 10хв:
  - перевірка домашнього завдання;
  - перевірка готовності до роботи.
3. Виконання лабораторної роботи – 55хв:
  - підготовка лабораторної установки до роботи;
  - проведення прямих і непрямих вимірів, знаходження необхідних похибок вимірів, оформлення таблиць та графіків. Формулювання висновку.
4. Підведення підсумків заняття – 5хв.
5. Домашнє завдання – 5 хв



# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ

КАФЕДРА ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНИХ  
ДИСЦИПЛІН

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА

### ВИЗНАЧЕННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЇ СКЛАДОВОЇ НАПРУЖЕНОСТІ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛІ

Укладачі:  
В.Г. Борисенко, В.І. Кривцова, К.Р. Умеренкова

Харків  
2018

**Мета роботи:** вивчення основних властивостей магнітного поля Землі і використання законів магнетизму для експериментального визначення однієї з його кількісних характеристик – горизонтальної складової напруженості магнітного поля Землі.

### Короткі теоретичні відомості

Дослід показує, що в довільній точці простору навколо Землі та на її поверхні існує магнітне поле, а Земля в цілому є величезним магнітом. Полюси магнітного поля Землі не співпадають з географічними полюсами, а саме: південний магнітний полюс знаходиться поблизу північного географічного – біля північних берегів Америки (близько  $75^\circ$  північної широти і  $101^\circ$  західної довготи), північний магнітний полюс знаходиться поблизу південного географічного – (в Антарктиці, близько  $67^\circ$  південної широти і  $140^\circ$  східної довготи). Схематично магнітне поле Землі зображене за допомогою ліній вектора напруженості магнітного поля на рис. 9.1, але реальна його картина досить складна і до того ж змінюється за часом і за місцевістю. Такі зміни носять назву магнітних варіацій.

Природа утворення магнітного поля Землі, незважаючи на наявність досить чутливих методик вимірювання характеристик магнітних полів, до цього часу не встановлена, а число моделей, що запропоновані для пояснення механізму виникнення магнітного поля Землі та інших космічних тіл, нараховує більше тридцяти. Найбільш розповсюджена з них для пояснення явища планетарного магнетизму є магнітна гідродинамічна гіпотеза, запропонована І.Я. Френкелем. Згідно з нею, магнітне поле Землі виникає внаслідок механічного руху рідкої речовини в мантиї Землі (шар між твердим ядром і корою Землі), яка має досить високу електропровідність внаслідок її термоіонізації. У результаті механічного руху відбувається упорядковане переміщення заряджених частинок, тобто виникає струм, що є джерелом магнітного поля. У свою чергу, переміщення в магнітному полі провідної речовини викликає появу в ній індукційних струмів, що створюють додаткове магнітне поле і т. д. Хоча гідродинамічна модель є найбільш розповсюдженою, її висновки не мають прямих експериментальних підтверджень.

Незалежно від точки зору на природу виникнення, магнітне поле Землі підлягає досить ретельному якісному та кількісному дослідженню. Кількісною характеристикою магнітного поля Землі, як і довільного магнітного поля, служить напруженість  $\vec{H}$  (магнітна індукція  $\vec{B}$ ) або її складові, а індикатором його наявності може служити магнітна стрілка. Проведемо одну з ліній вектора напруженості (вона виділена на рис. 9.1 жирною кривою) через точку А, в якій визначається напруженість. Вектор

напруженості  $\vec{H}$  буде дотичний до цієї лінії в даній точці (рис. 9.1). Таке ж положення займе повздовжня вісь магнітної стрілки, якщо її вільно підвісити в точці А, так щоб центр мас співпадав з точкою підвісу.

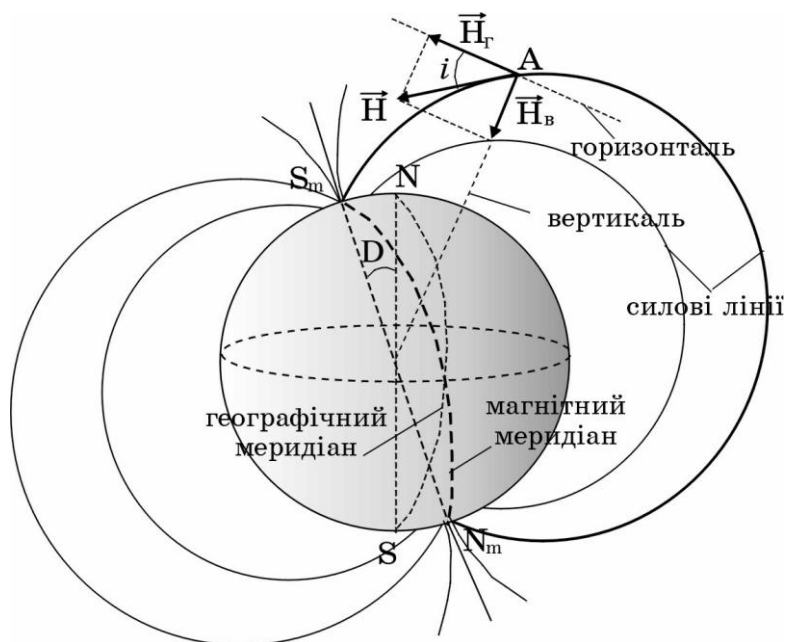


Рис. 9.1. Схематичний приклад зображення ліній напруженості магнітного поля Землі та його основних характеристик

Якщо сумістити з виділеною лінією вертикальну площину, то вектор  $\vec{H}$  (і вісь магнітної стрілки) будуть лежати в цій площині, а її перетин з поверхнею Землі утворить лінію, що має назву *магнітного меридіана* (виділений на рис. 9.1 жирною пунктирною кривою), тому сама площина носить назву *площини магнітного меридіана*. Внаслідок того, що магнітні та географічні полюси не співпадають, площина магнітного меридіана утворює з площиною відповідного географічного меридіана кут  $D$  (рис. 9.1), який має назву *кута магнітного схилення*. Магнітне схилення відраховується в обидва боки від географічного меридіана і має назву східного (додатного) або західного (від'ємного) в залежності від того, на захід чи на схід від географічного меридіана відхиляється північний полюс магнітної стрілки.

Проведемо через точку А вертикаль<sup>1</sup>, з'єднавши цю точку з центром Землі (рис. 9.1), а перпендикулярно їй – горизонтальну площину. Тоді вектор  $\vec{H}$  можна розкласти на дві складові: горизонтальну  $\vec{H}_r$  та вертикальну  $\vec{H}_v$ . Кут  $i$  між вектором  $\vec{H}$  (віссю магнітної стрілки) і горизонтальною площиною має назву *кута магнітного нахилення* (рис. 9.1). У північній півкулі вниз нахиляється північний полюс магнітної стрілки (кут нахилення

<sup>1</sup> В дійсності використовується прямовисна лінія.

має знак ”+”), в південній півкулі вниз нахиляється південний полюс магнітної стрілки (кут нахилення має знак ”-”). Оскільки при переході з північної півкулі на південну кут  $i$  змінюється за знаком, то на поверхні Землі можна виділити сукупність точок, в яких магнітне нахилення  $i = 0$ . Ця сукупність точок утворює магнітний екватор, площина якого перпендикулярна до магнітної осі. Величина магнітного нахилення залежить від широти  $i$  в середніх широтах  $i \approx 70^\circ$ . На магнітних полюсах магнітна стрілка встановлюється практично вертикально, тому в високих широтах навігація за магнітним компасом неможлива і використовується астрономічна навігація.

Хоча напрямок і величина вектора напруженості  $\vec{H}$  повністю задає магнітне поле Землі в даній точці, на практиці його зручніше характеризувати трьома величинами: величиною горизонтальної складової магнітного поля Землі  $H_r$ , кутом магнітного нахилення  $i$  та кутом магнітного схилення  $D$ , які мають назву *елементів земного магнетизму*. Вказуючи значення цих величин на географічних картах, будують магнітні карти місцевості. Так, сукупність точок з однаковими значеннями кута схилення, нахилення та горизонтальної складової напруженості утворюють криві, що мають назву ізогон, ізоклин та ізодин, відповідно. За допомогою магнітної карти можна, за даними компаса, визначити положення географічного меридіана, тобто орієнтуватись на місцевості.

Як показує дослід, горизонтальна складова не перевищує за величиною  $H_r = 28 \text{ А/м}$ . Наприклад, для середньої Європи горизонтальна складова близька за значенням до  $H_r \approx 16 \text{ А/м}$ , а вертикальна – до  $H_v \approx 39,6 \text{ А/м}$ .

Зауважимо, що на земній кулі є області магнітних аномалій, в яких значення елементів земного магнетизму аномальні по відношенню до їх значень в сусідніх областях, що пов'язано з наявністю магнітного залізняка в надрах Землі (наприклад, Курська магнітна аномалія).

Відволікаючись від конкретної моделі утворення магнітного поля Землі, в першому наближенні його можна моделювати як поле однорідно намагніченої кулі. У цьому випадку на магнітних полюсах магнітне нахилення  $i = 90^\circ$ , тобто магнітна стрілка орієнтується вертикально, а повна напруженість  $\vec{H}$  збігається з вертикальною  $\vec{H}_v$ . На магнітному екваторі  $i = 0^\circ$ , а повна напруженість  $\vec{H}$  збігається з горизонтальною  $\vec{H}_r$ , тобто магнітна стрілка займає горизонтальне положення.

## Опис лабораторної роботи

Експериментальний метод визначення  $\vec{H}_r$  полягає в порівнянні дії магнітного поля Землі на магнітну стрілку, що може обертатись тільки в горизонтальній площині, з дією іншого магнітного поля, напруженість  $\vec{H}_0$  якого відома. За наявності лише магнітного поля Землі магнітна стрілка, внаслідок обмеженості її руху тільки в горизонтальній площині, буде орієнтуватись уздовж напрямку вектора  $\vec{H}_r$ . Якщо створити додаткове магнітне поле  $\vec{H}_0$ , вектор напруженості якого перпендикулярний до  $\vec{H}_r$ ,

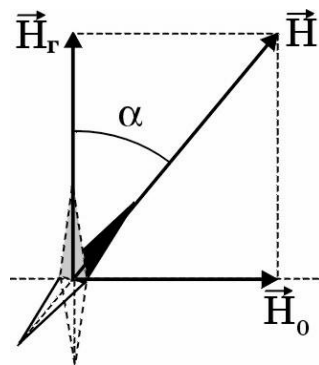


Рис. 9.2. Схема орієнтації векторів напруженості додаткового магнітного поля  $\vec{H}_0$  та горизонтальної складової магнітного поля Землі

магнітна стрілка буде орієнтуватись (рис.9.2) уздовж вектора напруженості  $\vec{H}$  результуючого магнітного поля, що дорівнює

$$\vec{H} = \vec{H}_r + \vec{H}_0. \quad (9.1)$$

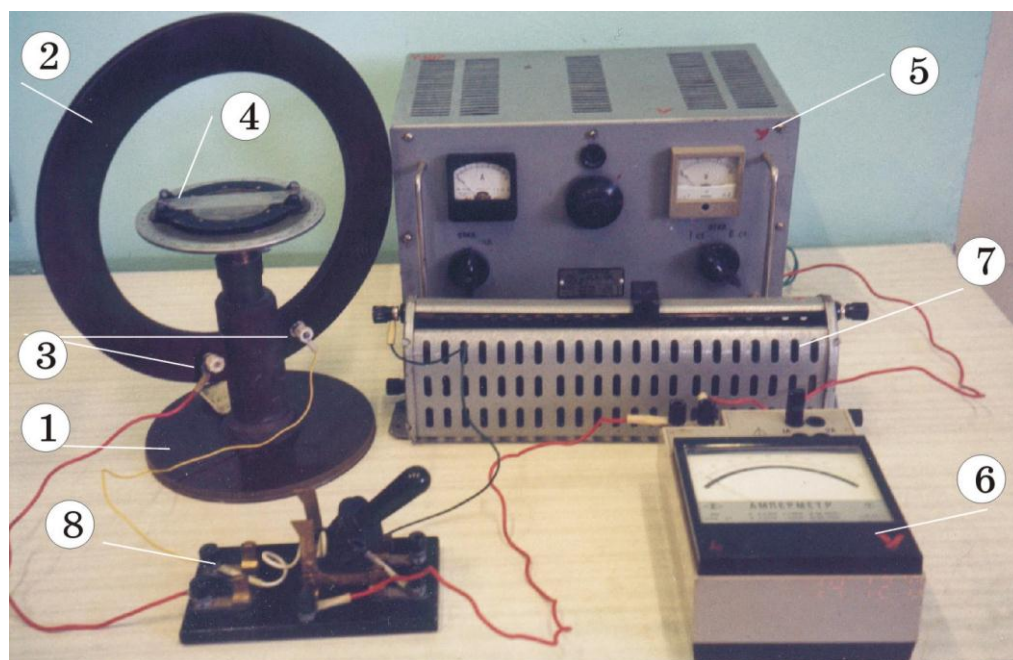
З рис. 9.2 видно, що, знаючи величину напруженості  $H_0$  додаткового магнітного поля і визначивши величину кута  $\alpha$  між векторами  $\vec{H}$  і  $\vec{H}_r$ , можна знайти величину  $H_r$  за виразом

$$H_r = \frac{H_0}{\operatorname{tg} \alpha}. \quad (9.2)$$

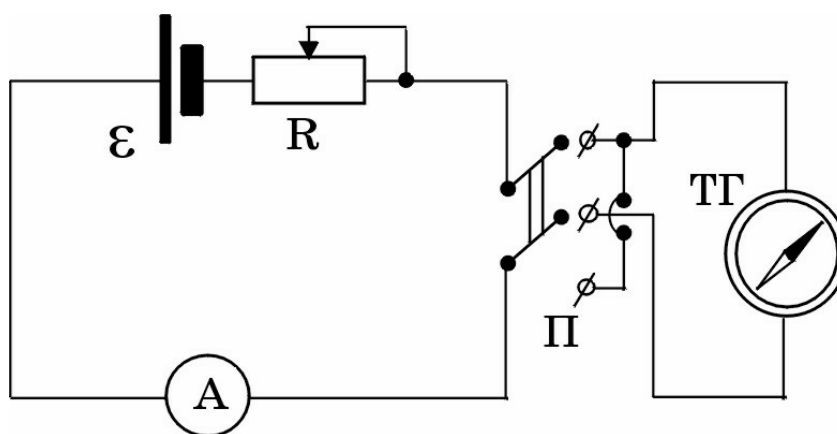
Викладений вище метод вимірювання  $\vec{H}_r$  реалізується в лабораторній установці, зовнішній вигляд якої зображений на рис. 9.3а. Основним її елементом є тангенс-гальванометр 1, що складається з колової рамки 2, яка являє плоску котушку, кінці якої виведено до клем 3. В центрі котушки розміщена бусоль 4 – компас з лімбом, що поділений на градуси. Магнітна стрілка компаса закріплена на вертикальній осі (голці), яка обмежує рух



стрілки в вертикальній площині і дозволяє їй вільно обертатись тільки в горизонтальній площині. Окрім того, магнітна стрілка повинна бути невеликою за розмірами, так щоб можна було знехтувати зміною напруженості



а



б

Рис. 9.3. Загальний вигляд лабораторної установки (а) та її електричне коло (б). Позначення: 1 – тангенс-гальванометр, 2 – рамка; 3 – клема; 4 – бусоль; 5 – джерело струму; 6 – амперметр; 7 – реостат; 8 – перемикач.

магнітного поля, що створюється коловим струмом (рамкою) вздовж стрілки і вважати, що на магнітну стрілку діє таке ж магнітне поле, що і в центрі колового струму.

Тангенс-гальванометр є елементом електричного кола, що зображене на рис. 9.3б. Величина струму  $I$  у колі з джерелом  $\mathcal{E}$  вимірюється амперметром  $A$  і регулюється реостатом  $R$ . Перемикач  $\Pi$  дозволяє змінити напрямок струму в котушці тангенс-гальванометра  $TT$  на протилежний.

Якщо сумістити площину рамки тангенс – гальванометра з площиною магнітного меридіана, то магнітна стрілка бусолі буде лежати в площині рамки (колового контуру) і знаходитись в центрі його. Пропустивши струм силою  $I$  через котушку рамки тангенс – гальванометра, можна створити додаткове магнітне поле колового струму, напруженість  $\vec{H}_0$  якого в центрі котушки буде спрямована перпендикулярно до площини рамки тангенс – гальванометра і визначається за виразом

$$H_0 = \frac{In}{2R}, \quad (9.3)$$

де  $n$  – число витків котушки,  $R$  – радіус витка. В результаті магнітна стрілка повернеться на кут  $\alpha$ . Підставивши (9.3) в (9.2), одержимо вираз для експериментального визначення величини горизонтальної складової магнітного поля Землі

$$H_r = \frac{In}{2R \operatorname{tg} \alpha}. \quad (9.4)$$

Отже, знаючи дані тангенс – гальванометра (радіус котушки  $R$  і число витків  $n$ ) та вимірявши значення сили струму  $I$  і кута  $\alpha$ , легко обчислити  $\vec{H}_r$  за формулою (9.4).

Знайдене значення  $H_r$  повинно бути близьким до метрологічного його значення для даної місцевості. Але треба зважити, що магнітне поле Землі досить слабе і експериментально виміряне значення величини  $H_r$  може не збігатися з метрологічним, внаслідок наявності в лабораторії пристроїв, що містять котушки, постійні магніти, тощо, які можуть служити джерелом стороннього магнітного поля. Тому, в процесі виконання лабораторної роботи, бажано уникнути наявності сторонніх магнітних полів.

### Завдання:

а) за даними вимірювань відхилення стрілки бусолі при різних значеннях сили струму розрахувати величину горизонтальної складової напруженості  $H_r$  магнітного поля Землі;

б) порівняти результати експериментального визначення з метрологічним значенням напруженості магнітного поля Землі в даній місцевості;

в) зробити висновок про наявність інших (окрім магнітного поля Землі і поля тангенс – гальванометра ) джерел магнітного поля.

## Порядок виконання роботи

1. Скласти електричне коло за схемою, що зображена на рис. 9.4б.
2. Повертаючи підставку тангенс – гальванометра, сумістити колову рамку з площиною магнітного меридіана, так щоб стрілка компаса орієнтувалась полюсами вздовж лінії, що з'єднує поділки  $0^0-180^0$ . Закріпити підставку в цьому положенні до кінця досліду.
3. Замкнути коло і, регулюючи реостатом струм у колі, визначити кут  $\alpha$  повороту магнітної стрілки при різних значеннях величини струму  $I$ . Значення величини струму  $I$  та кута  $\alpha$  записати в таблицю, що наведена нижче.

N	I, A	$\alpha$				$\bar{\alpha}$	tg $\bar{\alpha}$	$H_{ri}$ , A/м	$(\Delta H_{ri})^2$ , (A/м) <sup>2</sup>
		прям. напр.		звор. напр.					
1									
2									
·									
·									
·									
								$\bar{H}_r =$	$\sum_i (\Delta H_{ri})^2 =$

4. За допомогою перемикача  $\Pi$  змінити напрямок струму в коловому контурі (рамці) і провести виміри кута  $\alpha$  при тих же значеннях струму, що і в п.3. Дані записати в таблицю.
5. Вимкнути установку і привести її у вихідний стан.
6. Обчислити середнє значення кута  $\alpha$  для кожного значення струму  $I$  та величину  $H_r$  за формулою (9.4).
7. Знайти середнє значення  $\bar{H}_r$  та повну абсолютну  $\Delta H_r$  похибку.
8. Записати остаточний результат у вигляді  $H_r = \bar{H}_r \pm \Delta H_r$ .
9. Порівняти знайдене значення  $H_r$  з метрологічним значенням  $H_r$  для даної місцевості і зробити висновки відносно якості вимірювань.

## Контрольні питання

1. Дайте загальну характеристику магнітного поля Землі. Де розміщені магнітні полюси Землі?
2. Як спрямований вектор напруженості магнітного поля Землі по відношенню до силової лінії? На які складові розкладають вектор напруженості?
3. Як орієнтується в магнітному полі магнітна стрілка якщо вона:  
а) вільно висить на нитці так, що центр мас співпадає з точкою підвісу; б) розміщена на вістрі голки так, що центр мас знаходиться на вістрі.
4. Які характеристики магнітного поля Землі мають назву елементів земного магнетизму?
5. Дайте визначення кута магнітного схилення.
6. Дайте визначення кута магнітного нахилення.
7. Як змінюється горизонтальна складова магнітного поля Землі при русі вздовж магнітного меридіана від магнітного екватора до магнітного полюса?
8. Яка мета лабораторної роботи?
9. З яких елементів складається лабораторна установка і яке їх призначення?
10. Яке призначення має тангенс-гальванометр і з яких елементів він складається?
11. Який вираз використовується для розрахунку напруженості магнітного поля, що створюється в центрі тангенс-гальванометра коловим струмом? За яких умов можна використовувати цей вираз?
12. Як знайти напрямок вектора напруженості магнітного поля, що створюється в центрі колового струму?
13. Вкажіть порядок виконання лабораторної роботи.
14. Які фактори можуть впливати на вимірювання величини  $H_r$  в лабораторних умовах?

## Рекомендована література.

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т. Загальний курс фізики: Т.2.: Електрика і магнетизм. – К.: Техніка, 1999. – 452 с., ст. 262-268.
2. Загальна фізика. Лабораторний практикум. /В.М. Барановський, П.В. Бережний, І. Т. Горбачук та ін.; За заг. ред. І.Т. Горбачука.– К.: Вища шк., 1992.– 509с.