

**Міністерство освіти і науки України
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА
ПОЛІТЕХНІКА»**

**Інститут енергетики
Кафедра атомних електростанцій**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ
«ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНОЇ ДОСТОВІРНОСТІ
КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ»
з навчальної дисципліни «Теплотехнічні експериментальні
дослідження»**

для здобувачів вищої освіти (магістрів), які навчаються за
спеціальністю 143 - Атомна енергетика
денної та заочної форм навчання

Затверджено
на засіданні кафедри атомних
електростанцій
Протокол № _____
від _____ 2025 р.
Завідувач кафедри атомних
електростанцій

_____ Кравченко В.П.

Одеса – 2025

Методичні вказівки до виконання курсової роботи «Забезпечення метрологічної достовірності контролю технологічних параметрів» з навчальної дисципліни «Теплотехнічні експериментальні дослідження» для здобувачів вищої освіти (магістрів), які навчаються за спеціальністю 143 - Атомна енергетика / Укл.: О.Ю. Погосов, В.П. Кравченко, О.А. Дорож, Є.В. Земеров, А.І. Петрусь, Є.Ю. Алексєєнко – Одеса: Національний університет «Одеська політехніка», 2025. – 16 с.

Список авторів: О.Ю. Погосов, д-р техн. наук, проф.;
В.П. Кравченко, д-р техн. наук, проф.;
О.А. Дорож, канд. техн. наук, доц.
Є.В. Земеров, аспірант;
А.І. Петрусь, аспірант
Є.Ю. Алексєєнко, аспірант

Ухвалено

Методичною радою ІЕ

Голова Методичної ради ІЕ _____ В.В. Кандєєва
«_____» _____ 2025 р.

Методичні вказівки та рекомендації визначають вимоги до змісту та структури курсової роботи, містять опис теоретичної та практичної частини, правила обробки результатів, контрольні запитання.

Зміст

Загальні положення	4
Методика та порядок виконання курсової роботи	5
Теоретичне обґрунтування	6
Задача № 1. Оцінка результатів вимірювання опору резистору	10
Задача № 2. Перевірка мінімального та максимального значення результатів вимірювання опору резистору на відповідність поняттю «грубий промах»	11
Задача № 3. Оцінка результату вимірювання напруги за критерієм Шовене	13
Задача № 4. Оцінка результату вимірювання ємності конденсатору на відповідність поняттю «груба помилка»	14
Контрольні запитання	15
Список використаних джерел	16

Загальні положення

1. Дані Методичні вказівки та рекомендації визначають вимоги до змісту, обсягу та структури курсової роботи «Забезпечення метрологічної достовірності контролю технологічних параметрів» з описом теоретичних основ та технічних аспектів спорудження експериментальних стендів в процесі теплотехнічних експериментальних досліджень на АЕС.

Можуть використані здобувачами вищої освіти (магістрами), які навчаються на кафедрі атомних електростанцій Національного університету «Одеська політехніка», при опануванні навчальних дисциплін «Теплотехнічні експериментальні дослідження», «Управління ядерним реактором», «Автоматизований моніторинг та діагностика обладнання АЕС», «Контрольно-вимірювальні прилади АЕС та автоматика», «Культура безпеки АЕС» та інш.

Додатково методичні матеріали можуть бути використані при виконанні кваліфікаційної роботи магістра у вигляді окремого підрозділу або доповнення до основної розрахункової частини.

2. В результаті виконання курсової роботи здобувачі вищої освіти повинні вміти:

- ☐ РН1. Володіти методологією системних досліджень та обслуговування складних об'єктів та процесів для розв'язання прикладних завдань в галузі професійної діяльності, підвищувати свої професіональні знання шляхом слідкування за прогресивними новинами в спеціальних літературних джерелах. Демонструвати навички професійного спілкування, включаючи усну та письмову комунікацію українською мовою та принаймні однією з офіційних мов ЄС.
- ☐ РН2. Розуміти необхідність бути наполегливим у досягненні мети та якісного виконання робіт у професійній сфері. Вміти презентувати результати проведених досліджень.
- ☐ РН3. Вміти визначати предметну область, співвідносити частини цілого, застосовувати набуті знання для розв'язування професійних завдань, ефективно працювати індивідуально і в команді, при реалізації планових проєктів, стартапів та на виробництві.
- ☐ РН3. Вміти встановлювати зв'язок між інженерною діяльністю та впливом на надійність функціонування обладнання, застосовувати заходи щодо охорони праці.

3. Методичні вказівки до виконання курсової роботи включають такі розділи:

- ☐ мета виконання, практичне значення та використання отриманих знань;
- ☐ основна частина;
- ☐ довідково-інформаційні дані для розв'язання задач;
- ☐ контрольні запитання до самоконтролю;
- ☐ список рекомендованої літератури.

Методика та порядок виконання курсової роботи

Мета курсової роботи:

Засвоєння системи технічних знань, на яких базується експериментальні дослідження основного та допоміжного обладнання АЕС. Набуття сучасних навичок експериментального дослідження теплотехнічного обладнання. Знати роботу термодинамічних манометрів та виміру витрат води та газу, знати як проектувати та експлуатувати експериментальні стенди.

Завдання

- забезпечити метрологічну достовірність контрольних вимірів шляхом статистичної обробки даних багаточисельних вимірів;
- дати оцінку результату визначення вимірюваної величини з урахуванням довірчих границь, в яких знаходиться її справжнє значення;
- в ході обробки даних методично виключити вимірювальні «промахи».

Дидактичні зауваження. Якщо в вимірювальних даних один або два числових результати суттєво відрізняються від інших, а виявити помилку при знятті показань або виявити технічні збої не вдалося, то необхідно перевірити, чи не є сумнівні дані випадковими метрологічними «промахами», що підлягають виключенню.

Завдання вирішують статистичною обробкою результатів вимірювань, виходячи з гіпотези про розподіл випадкових похибок за нормальним законом.

Практичне значення та використання отриманих знань

Розуміння функціонування експериментальних стендів та різного вимірюючого обладнання. Вміння аналізувати експериментальні дані які отримані на стендах. Вивчення правил пристрою та монтажу експериментальних стендів, а також правил комплектації таких стендів. Вивчення рівнянь міцності, що використовуються при проектуванні стендів на високі параметри. Вивчення систем АЕС для якісного проектування експериментальних стендів. Розуміння закономірностей роботи експериментальних стендів на воді, пару та газу, показати принципи забруднення та очищення експериментальних стендів. Вивчення конструкції, складу та принципу дії різних вимірювачів, які використовуються на експериментальних стендах. Вивчення правил оформлення документації на експериментальні стенди.

Завдання на виконання курсової роботи

Вихідні дані для розрахунків по варіантах здобувачі отримують від викладача. Розрахунок проводиться за методиками навчальної дисципліни «Теплотехнічні експериментальні дослідження» [2].

Далі в Методичних вказівках наведено приклад розв'язання задач для одного з варіантів.

Оцінювання результатів навчання

Кількість кредитів ЄКТС: 1,0.

Підсумкова форма контролю: захист.

Коректне виконання розрахунків та аналізу результатів задач оцінюються у 60 балів.

Повне та коректне оформлення пояснювальної записки оцінюється у 10 балів.

Вичерпні та коректні відповіді протягом захисту курсової роботи оцінюються у 30 балів.

Максимальна кількість балів, які може отримати здобувач вищої освіти за бездоганне виконання курсової роботи складає 100 балів.

Теоретичне обґрунтування

1. Проектно заплановані дії персоналу АЕС, здійснювані за допомогою спеціальних технічних засобів, зводяться до ініціації та регулювання фізичних процесів, передбачених технологією виробництва електроенергії на основі використання внутрішньоядерної (атомної) енергії, що вивільняється завдяки контрольованій ланцюговій реакції поділу важких нуклідів ядерного пального. В цьому полягає сенс експлуатації об'єктів атомної енергетики.

Вимірювання – це сукупність операцій для визначення відношення числового значення якоїсь фізичної величини до еталонного значення, прийнятого тому за розмірну одиницю.

Для виконання вказаних операцій, що призводять до знання величини того чи іншого параметру, служать вимірювальні прилади (метрологічні засоби визначення кількісних оцінок).

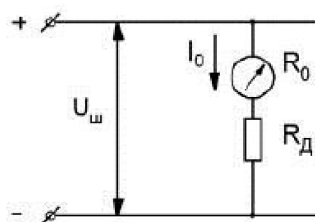
Знання про основи адекватного застосування відповідної вимірювальної техніки спеціалістами-атомниками – необхідна умова безпеки сучасних об'єктів атомної енергетики.

2. Для забезпечення підвищеної точності отримуваної вимірювальної інформації при використанні термопар доводиться враховувати вплив температури «холодних» контактів. Для компенсації цього впливу використовуються компенсаційні схеми для усунення неінформаційної (паразитної) е.д.с. Результат може бути досягнутий завдяки використанню балансованих місткових схем.

Для автоматизації компенсації можуть використовуватися термозалежні елементи (наприклад, *резистори*), що забезпечують введення поправки в вимірювальний сигнал. Це досягається додаванням до вихідного сигналу проти-е.д.с., рівної за величиною різниці потенціалів, що відповідає температурі вільних контактів термопари (клем для підключення сигнального кабелю).



Резистор, включений послідовно з електровимірювальним пристроєм, що використовується для вимірювання напруги, дозволяє збільшити допустимі межі вимірювання вольтметру.



$$I_0 = \frac{U_x}{R_0 + R_d}$$

де I_0 – сила струму, U_x – напруга, що вимірюється; R_0 – опір вимірювального манометру; R_d – опір додаткового резистору.

3. Завдання вирішують статистичною обробкою результатів вимірювань, виходячи з гіпотези про розподіл випадкових похибок за нормальним законом.

За нормальним законом розподілу випадкової похибки за істинну величину приймають її середнє арифметичне значення, рівне математичному очікуванню послідовності з n вимірювань:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

Виходячи з цього результату, обчислюють абсолютну погрішність кожного з n вимірювань:

$$\Delta_i = x_i - \bar{x}$$

Дисперсія характеризує розброс погрішностей відносно центру розподілу $\Delta=0$:

$$D = \int_{-\infty}^{\infty} p(\Delta) \Delta^2 d\Delta$$

Однак дисперсія має розмірність квадрату похибки і тому незручна як характеристика розсіювання.

Тому іншим показником, який можна використовувати в метрологічній практиці, є середнє квадратичне відхилення (СКВ), яке має розмірність самої погрішності:

$$\sigma = \sqrt{D} = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} p(\Delta) \Delta^2 d\Delta} \quad (2)$$

Далі, враховуючи (1) і (2), знаходять СКВ величини, характеризуючу точність методу вимірювань.

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta_i^2} \quad (3)$$

Достовірність результату вимірювання залежить від числа вимірювань n і по суті є випадковою величиною. При цьому необхідно враховувати, що середньоквадратичне відхилення результату вимірювання:

$$\sigma_{\bar{x}} = S_x(\bar{A}) = \frac{\bar{\sigma}}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

Приведені формули показують, що точність методу (це стосується одного вимірювання) і точність результату багатократних вимірювань збільшуються з ростом числа n . Середнє арифметичне значення n вимірювань завжди має меншу похибку, ніж похибка одного певного вимірювання.

З (4) слідує, що при виключеній систематичній похибці для підвищення точності результату вимірювань, наприклад, в 2 рази, необхідно кількість вимірювань збільшити в 4 рази; якщо потрібно підвищити точність вимірювань в 5 разів, то кількість вимірювань треба збільшити в 25 разів і т.д.

Результат і-вимірювання містить випадкову та постійну систематичну складові похибки

$$x_i = x_u + \Delta_i + \Delta_c \quad (5)$$

Підстановка значень x_i до формули (1) дозволяє отримати результат вимірювань & в наступному вигляді:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \Delta_c + x_u + \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta_i^0 \quad (6)$$

В силу різних причин при багаторазових вимірюваннях, навіть при використанні достатньо точних метрологічних засобів, оператор не застрахований від отримання повноцінної кількісної інформації (без промахів).

Виявлення і виключення промахів з результату вимірювань складає один з способів підвищення достовірності вимірювальної інформації.

При однократному вимірюванні величини промах може бути виявлений тільки шляхом логічного аналізу або порівнянням результату з апіорною інформацією про нього.

Якщо причина промаху встановлена, то результат однократного вимірювання слід визнати помилковим і повторити вимірювання.

Критерій оцінки аномальності (іноді – аномальності) результатів вимірювань при невідомому СКП (СКВ) σ передбачає наступні операції. Результати вибірки з n багатократних вимірювань упорядковують за зростанням: $x_1 < x_2 < \dots < x_n$.

За формулами (1) і (3) обчислюють середнє арифметичне значення і СКВ σ цієї вибірки. Для передбачуваних промахів, якими можуть бути, наприклад, показання 1 проводять розрахунок коефіцієнтів:

$$\beta_1 = \frac{|x_1 - \bar{x}|}{\bar{\sigma}}; \beta_n = \frac{|x_n - \bar{x}|}{\bar{\sigma}} \quad (7)$$

Потім задаються рівнем значимості критерію помилки q . Очевидно, цей рівень повинен бути достатньо малим, щоб ймовірність помилки була невелика.

З табличних даних (табл. 1) за заданими параметрами q та n знаходять граничне значення коефіцієнту β_g

$$\beta_g = \frac{\max |x_i - \bar{x}|}{\bar{\sigma}} \quad (8)$$

Після цього аналізують коефіцієнти, визначені за формулами (7) і (8). Якщо виконуються умови $\beta_1 > \beta_g$ та $\beta_n > \beta_g$, то числові дані x_1 та x_n відносять до промахів і виключають їх з отриманих результатів вимірювань контрольованої фізичної величини.

Таблиця 1 - Граничні значення імовірного промаху при різних рівня значущості залежно від числа вимірювань [1]

Число вимірювань, n	Граничне значення β_g при рівні значущості q			
	0,100	0,075	0,050	0,025
3	1,15	1,15	1,15	1,15
4	1,42	1,44	1,46	1,48
5	1,6	1,64	1,67	1,72
6	1,73	1,77	1,82	1,89
7	1,83	1,88	1,94	2,02
8	1,91	1,96	2,03	2,13
9	1,98	2,04	2,11	2,21

10	2,03	2,1	2,18	2,29
11	2,09	2,14	2,23	2,36
12	2,13	2,2	2,29	2,41
13	2,17	2,24	2,33	2,47

При невеликій кількості вимірювань (до 10) в літературі рекомендується використовувати так званий критерій Шовене. Згідно з цим критерієм, промахом вважають результат x_i , якщо абсолютна різниця $|\bar{x} - x_i|$ перевищує значення СКВ з деяким коефіцієнтом, який залежить від кількості багатьох вимірювань n

$$\begin{cases} 1,6\sigma \text{ при } n = 3 \\ |\bar{x} - x_i| > 1,7\sigma \text{ при } n = 6 \\ 1,9\sigma \text{ при } n = 8 \\ 2,0\sigma \text{ при } n = 10 \end{cases}$$

(9)

$$z = \frac{|x_{i \text{ под}} - \bar{X}_{\text{ц.р.}}|}{S}$$

4. Необхідність знань культури безпеки при проведенні метрологічної достовірності контролю технологічних параметрів на АЕС

- ☐ Особливості ядерних технологій_ в значній мірі використовуються одиничні екземпляри обладнання, спеціально призначені для безвідмовного виконання специфічних для цього роду діяльності роботи і / або технологічних операцій протягом тривалого часу.
- ☐ Безпека регламентується і забезпечується
- ☒ значною кількістю нормативно-технічних документів, вимоги яких повинні бути відомі і неухильно виконуватися фахівцями всіх профілів в ядерній енергетиці (кожним у своїй частині);
- ☒ для того, щоб щось забезпечувати, необхідно вміти кількісно вимірювати результати своєї діяльності.

5. Тематика розрахункових задач:

- оцінка результатів вимірювання опору резистору;
- перевірка мінімального та максимального значення результатів вимірювання на відповідність поняттю «грубий промах»;
- оцінка результату вимірювання напруги за критерієм Шовене;
- оцінка результату вимірювання ємності конденсатору на відповідність поняттю «груба помилка».

Задача № 1. Оцінка результатів вимірювання опору резистору

1 Вихідні дані

При вимірюванні опору резистору отримана вибірка значень (R_i , Ом):

№	1	2	3	4	5
R_i	210	212	215	217	235

Необхідно оцінити результат вимірювання «235 Ом» при значимості похибки $q=0,05$.

2 Порядок проведення розрахунків

1. Отримати завдання з результатами вимірювання опору резистора.
2. Оцінити результат вимірювання при заданій значимості похибки.
3. Зробити висновки.

3 Обробка результатів

1. Розраховується середнє арифметичне

$$\bar{R} = \bar{x} = \frac{210+212+215+217+235}{5} = 217,8 \text{ Ом.}$$

2. Розраховується середнє квадратичне відхилення

$$s = \sqrt{\frac{1}{5-1} * \sum_{i=1}^5 \Delta_i^2}$$

$$= \sqrt{\frac{(210-217,8)^2 + (212-217,8)^2 + (215-217,8)^2 + (217-217,8)^2 + (235-217,8)^2}{4}} = \sqrt{97,5} = 9,87 \text{ Ом.}$$

3. Розраховується імовірний промах

$$\beta_5 = \frac{235-217,8}{9,87} = \frac{14,2}{8,07} = 1,74.$$

4. З таблиці 1 знаходиться β_r для рівня значущості $q = 0,05$ і $n = 5$

$$\beta_r = 1,67.$$

Висновок. Оскільки розраховане значення $1,74 > 1,67$ - перевіряємо значення «235 Ом» є промахом і виключається з вибірки.

Задача № 2. Перевірка мінімального та максимального значення результатів вимірювання опору резистору на відповідність поняттю «грубий промах»

1 Вихідні дані

Дана вибірка резистору (R_i , Ом):

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
R_i	10,2	10,4	10,6	10,8	11	11,2	11,4	11,6	11,8	12	12,2	12,4	12,6

Необхідно перевірити мінімальне та максимальне значення з рівнем значущості 0,1.

2 Порядок проведення розрахунків

1. Отримати вибірку резистору.
2. Розрахувати абсолютні та середнє квадратичне відхилення.
3. Розрахувати коефіцієнти для мінімального і максимального значень.
4. Зробити висновки.

3 Обробка результатів

1. Розраховується середнє арифметичне

$$\bar{R} = \bar{x} = 11,26 \text{ Ом.}$$

2. Розраховуються абсолютні відхилення

$$\Delta_1 = |10,2 - 11,26| = 1,06$$

$$\Delta_2 = |10,4 - 11,26| = 0,86$$

$$\Delta_3 = |10,6 - 11,26| = 0,66$$

$$\Delta_4 = |10,8 - 11,26| = 0,46$$

$$\Delta_5 = |11 - 11,26| = 0,26$$

$$\Delta_6 = |11,2 - 11,26| = 0,06$$

$$\Delta_7 = |11,4 - 11,26| = 0,14$$

$$\Delta_8 = |11,6 - 11,26| = 0,34$$

$$\Delta_9 = |11,8 - 11,26| = 0,54$$

$$\Delta_{10} = |12 - 11,26| = 0,74$$

$$\Delta_{11} = |12,2 - 11,26| = 0,94$$

$$\Delta_{12} = |12,4 - 11,26| = 1,14$$

$$\Delta_{13} = |12,6 - 11,26| = 1,34$$

3. Розраховується середнє квадратичне відхилення

$$s = \sqrt{\frac{1}{13-1} * \sum_{i=1}^{13} \Delta_i^2} = 0,79 \text{ Ом.}$$

4. Розраховуються коефіцієнти для мінімального і максимального значень

$$\beta_{min} = \frac{11,26-10,2}{0,79} = 1,34$$

$$\beta_{max} = \frac{12,6-11,26}{0,79} = 1,7$$

5. Знаходиться значення коефіцієнту з таблиці 1 з рівнем значущості 0,1.

6. За таблицею 1 для n=13 і q = 0,1, $\beta_{\Gamma} = 2,17$

$$\beta_{min} < \beta_{\Gamma} \text{ і } \beta_{max} < \beta_{\Gamma}.$$

$$1,34 < 2,17 \text{ і } 1,7 < 2,17$$

Висновок. Виходячи з результатів розрахунку, мінімальне та максимальне значення не є грубими промахами, а отже й всі вимірювання також.

Задача № 3. Оцінка результату вимірювання напруги за критерієм Шовене

1 Вихідні дані

Дано 10 результатів вимірювання напруги (U_i , В):

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U_i	7,9	8	8,15	8,25	8,40	8,60	8,80	8,95	9,10	9,25

Необхідно перевірити, чи є значення «9,25 В» грубою помилкою за критерієм Шовене.

2 Порядок проведення розрахунків

1. Отримати завдання з результатами вимірювання напруги.
2. Розрахувати середньоквадратичне відхилення та критерій Шовене.
3. Зробити висновки.

3 Обробка результатів

1. Розраховується середнє арифметичне значення

$$\bar{U} = \bar{x} = \frac{7,9+8+8,15+8,25+8,4+8,6+8,8+8,95+9,1+9,25}{10} = 8,49 \text{ В.}$$

2. Розраховується середньоквадратичне відхилення

$$s = \sqrt{\frac{1}{10-1} * \sum_{i=1}^5 \Delta_i^2} = 0,33.$$

3. Згідно з Критерієм Шовене

$$|8,49 - 9,25| = |0,76| > (2 * 0,33);$$

$$|0,76| > (2 * 0,33).$$

Висновок Перевіряємий результат вимірювання напруги «9,25 В» є промахом.

Задача № 4. Оцінка результату вимірювання ємності конденсатору на відповідність поняттю «груба помилка»

1 Вихідні дані

При вимірюванні восьми значень ємностей конденсатору отримані наступні результати (C_i, пФ):

№	1	2	3	4	5	6	7	8
C _i	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	400

Необхідно перевірити, чи не є значення «400 пФ» грубою помилкою.

2 Порядок проведення розрахунків

1. Отримати завдання з результатами вимірювання ємності конденсатору.
2. Розрахувати середньоквадратичне відхилення та критерій Шовене.
3. Зробити висновки.

3 Обробка результатів

1. Розраховується середнє арифметичне

$$\bar{C} = \frac{1150+1200+1250+1300+1400+1450+1500+300}{8} = 1212,5 \text{ пФ.}$$

2. Розраховується середнє квадратичне відхилення

$$s = \sqrt{\frac{1}{8-1} * \sum_{i=1}^8 \Delta_i^2} = 331,67 \text{ пФ.}$$

3. Згідно з критерієм Шовене

$$|1212,5 - 400| = |812,5| > (2 * 307,4).$$

Висновок. Вимірювальна оцінка з умови задачі зі значенням «400 пФ» є промахом.

Контрольні запитання

1. Що означає термін «вимірювання»?
2. В чому полягає сутність контролю технологічних показників? Які особливості здійснення контролю на АЕС?
3. Фахівці яких структурних підрозділів на АЕС здійснюють вимірювання технологічних показників та оцінку їх достовірності?
4. Пояснити призначення термоперетворювача опору (резистору).
5. Який принцип роботи резистору?
6. Навести схему вимірювання технологічного показника із застосуванням резисторів.
7. Як забезпечити метрологічну достовірність контрольних вимірювань технологічних показників?
8. Яка процедура виявлення випадкових метрологічних «промахів», які підлягають виключенню?
9. Що означає середньоквадратичне відхилення та яка формула для його розрахунку?
10. Обґрунтувати схему використання критерію Шовене. Які обмеження існують для застосування даного критерію?

Список використаних джерел

1. Погосов О.Ю., Деревянко О.В. Метрологічне забезпечення експлуатації АЕС. Підручник. – О: Наука і техніка, 2016. – 204 с.
2. Погосов О.Ю. Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Теплотехнічні експериментальні дослідження», Одеса. – 2022. – 125 с.
3. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента. - М.: Мир, 1972.
4. Стырикович М.А., Резников М.И. Методы экспериментального изучения процессов генерации пара. - М.: Энергия, 1977.
5. Паперный Е.А., Эйдельштейн И.Л. Погрешности контактных методов измерения температуры. Библиотека по автоматике - М.-Л.: Энергия, 1966.
6. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества - Л.: Машиностроение, 1985.
7. Гонек Н.Ф. Манометры. Библиотека приборостроителя. - Л.: Машиностроение, 1979.
8. Уплотнения и уплотнительная техника. Справочник / под ред. А.И.Голубева и Л.А.Кондакова. - М.: Машиностроение, 1986. (8 прим.)
9. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. - М.: Энергоатомиздат, 1990.
10. Тензодатчики для экспериментальных исследований / Клокова Н.П. и др. – М.: Машиностроение, 1972. – 152 с.
11. Кутателадзе С.С., Ляховский Д.Н., Пермяков В.А. Моделирование теплоэнергетического оборудования. — М.-Л.: Энергия, 1966.
12. Погосов А.Ю., Деревянко О.В. Контроль и автоматизация в энергетике. Метрологическое обеспечение эксплуатации АЕС. Учебник, рек. МОН Украины. Одесса: Наука и техника, 2016. – 204 с.
13. Погосов А.Ю. Дубковский В.А. Ионизирующая радиация: радиоэкология, физика, технологи, защита / Учебник, рекомендованный МОН, Одесса: Наука и техника, 2012. - 808 с.
14. База даних МАГАТЕ. — Режим доступу: <https://pris.iaea.org/pris/>
15. <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/72ad4f11-2d31-45d2-ba3e-1dbcdd621e89/content>
16. <https://physics.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/pohybky.pdf>
17. Планування експериментів і обробка їх результатів. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів/ В.У. Ігнаткін, О.В. Рязанцев, О.М. С'янов, Литвиненко В.А.-Під редакцією В.У.Ігнаткіна – Дніпродзержинськ: «ДДТУ», 2010 р. 102 с. <https://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/3/20/3-20-b1.pdf>
18. Клименюк О.В. Методологія та методи наукового дослідження: Навчальний посібник / - К.: Міленіум, 2015. -186 с.