

ПРОГРАМА
вступного іспиту зі спеціальності
152 «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка»
для здобувачів вищої освіти третього (освітньо-наукового) рівня
(2022 рік вступу)

Вступне слово

Програма складена з урахуванням програми рівня вищої освіти магістра зі спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка». Вона містить два розділи, у першому з яких відображено загальнотехнічні питання, а у другому – питання дисциплін фахового спрямування.

Розділ 1. Загальнотехнічні питання

1. Розмір фізичної величини, одиниця фізичної величини, системи фізичних величин, значення фізичної величини, ентропія фізичної величини.
2. Поняття вимірювання та вимірвальної інформації, вимірвальні сигнали та їх перетворення, форми вимірвальної інформації, поняття результату та похибки вимірювання.
3. Принцип, метод, режим, алгоритм і процес вимірювань.
4. Методики виконання вимірювань.
5. Контроль, розпізнавання образів, діагностика стану об'єктів та їх зв'язок з вимірюванням.
6. Класифікація вимірювань: прямі, посередні, сукупні та сумісні; абсолютні та відносні, аналогові та цифрові; звичайні та статистичні.
7. Класифікація методів вимірювання: компенсаційний, протиставлення, заміщення, збігу, диференціальний, нульовий.
8. Непевність вимірювань.
9. Класифікація похибок (абсолютні, відносні та зведені; випадкові та систематичні).
10. Числові характеристики похибок, точкові та інтервальні оцінки. Кореляційні та спектральні характеристики похибок.
11. Оцінювання непевності засобів на стадії проектування, композиція законів розподілу.
12. Основні положення теорії вимірвальних сигналів. Вимірвальні сигнали. Класифікація вимірвальних сигналів.
13. Моделі вимірвальних сигналів.
14. Перетворення вимірвальних сигналів.
15. Класифікація перетворень вимірвальних сигналів.
16. Дискретизування сигналів. Критерії вибору розміру кроку дискретизування. Адаптивне дискретизування. Похибка дискретизування.
17. Квантування сигналів. Похибка квантування.
18. Відтворення неперервних сигналів. Функція відліків та відновлення сигналів. Інтерполювання та екстраполювання при відновленні сигналів. Дискретні перетворення сигналів.
19. Пряме та зворотне зет-перетворення. Швидке перетворення Фур'є. Wavelett (хвилькове) перетворення сигналів.
20. Методологія нейтронних мереж у інформаційно-вимірвальній техніці та теорії розмитих образів.
21. Модуляція гармонічного носія. Модуляція періодичної послідовності імпульсів. Поняття кодо-імпульсної модуляції.
22. Поняття, особливості та види детектування сигналів. Синхронне детектування.
23. Види кодів, що застосовуються в ІВТ. Завадостійке кодування.
24. Види, моделі та характеристики завад. Цифрове фільтрування сигналів. Фільтрування дискретних сигналів. Вагове усереднення цифрових сигналів.
25. Склад, класифікація та структурний аналіз вимірвальних кіл.

26. Характеристики вимірювальних кіл. Оптимізація характеристик вимірювальних кіл.
27. Класифікація засобів вимірювань: міри, перетворювачі, прилади, установки, системи.
28. Основні характеристики засобів вимірювань.
29. Класифікація вимірювальних приладів.
30. Способи подання границь допустимих похибок засобів вимірювань. Класи точності.
31. Структура засобів вимірювань. Параметри засобів вимірювань. Параметри засобів вимірювань, діапазон показів, межі та діапазон вимірювань.
32. Характеристики перетворення: статичні та динамічні - імпульсна, перехідна, передавальна функція, частотна характеристика.
33. Надійність та їх характеристики.
34. Електромеханічні та електронні аналогові прилади, цифрові засоби, засоби вимірювання з вмонтованими мікропроцесорами.
35. Вимірювально-інформаційні системи (вимірювальні системи, системи автоматизованого контролювання, системи діагностики, системи розпізнавання). Кібер-фізичні системи.
36. Загальні питання перетворювачів. Функція перетворення вимірювального перетворювача (ВП). Коефіцієнт перетворення.
37. Вхідні та вихідні характеристики ВП. Зведення похибок до входу та виходу ВП.
38. Основні джерела похибок ВП. Структурні методи підвищення точності ВП.
39. Корекція систематичних похибок ВП. Корекція динамічних похибок ВП.
40. Первинні ВП фізичних величин. Магнетоелектричні ВП. Резистивні ВП. Індуктивні ВП. Ємнісні ВП. Магнетострикційні ВП. П'єзоелектричні ВП. Гальваномagnetні ВП. Магнетооптичні ВП. Фотоелектричні ВП. Квантові ВП. Теплові ВП. Іонізаційні ВП. Електрохімічні ВП. Індукційні ВП.
41. Електричні масштабувальні вимірювальні перетворювачі. Додаткові резистори. Шунти. Подільники напруги. Вимірювальні трансформатори.
42. Електронні аналогові пристрої. Операційні підсилювачі (ОП) та їх характеристики.
43. Масштабувальні вимірювальні перетворювачі на базі ОП.
44. Випрямні ВП на основі ОП. Перетворювачі R, L, C параметрів в електричні сигнали на основі ОП. Комутаційні пристрої. Модуляційні пристрої.
45. Джерела стабілізованого живлення. Генератори.
46. Аналогові пристрої виконання арифметичних операцій; додавання, віднімання, множення, ділення, квадратування, логарифмування, експоненціювання, диференціювання, інтегрування. Вибіркові та широкосмугові вимірювальні підсилювачі.
47. Аналогові фільтри. Пасивні КС фільтри. Активні КС фільтри. Розрахунок параметрів фільтрів. Цифрові фільтри.
48. Аналого-цифрові (АЦП) та цифроаналогові перетворювачі (ЦАП).
49. Основні параметри ЦАП і АЦП.
50. Різновиди АЦП. АЦП з паралельним перетворенням.
51. АЦП порозрядного зрівноваження. АЦП інтегруючого перетворення. АЦП з комбінованим перетворенням.
52. Похибки АЦП і ЦАП. Функціональні АЦП.
53. Перетворення частоти імпульсів в числове значення.
54. Основні методи перетворення постійної напруги в числове значення.
55. Перетворення змінної напруги в числове значення.
56. Перетворення числового значення в напругу (струм).
57. Елементи цифрових вимірювальних пристроїв. Логічні елементи, їх класифікація та характеристики.
58. Лічильники. Регістри. Суматори. Дешифратори.

59. Арифметично-логічні пристрої. Мультиплексори. Демультіплексори.
60. Пристрої пам'яті. Мікропроцесорні вузли. Пристрої керування. Пристрої перетворення числових величин. Інтерфейси. Синтез цифрових пристроїв.

Розділ 2. Питання дисциплін фахового спрямування

61. Підготовка та виконання вимірювального експерименту.
62. Загальні відомості про планування вимірювального експерименту.
63. Вибір методів та засобів вимірювань у відповідності з необхідною точністю й умовами виконання вимірювань.
64. Організація робочого місця й виконання вимірювань.
65. Оцінка середньоквадратичного відхилення результату вимірювання, перевірка гіпотез про закон розподілу, числові характеристики.
66. Методи виключення систематичної складової похибки. Форми подання результатів вимірювань.
67. Вимірювання постійного та змінного струмів і напруг, потужності, енергії, коефіцієнта потужності, кількості електрики, опору постійному струмові, параметрів електричних кіл змінного струму, частоти, різниці фаз, параметрів імпульсних електричних сигналів.
68. Забезпечення єдності та потрібної точності вимірювань.
69. Метрологія. Поняття метрологічного забезпечення.
70. Випробовування засобів.
71. Надійність вимірювання.
72. Еталони одиниць фізичних величин (класифікація еталонів, передавання розмірів одиниць фізичних величин).
73. Державна система забезпечення єдності вимірювань.
74. Служби та органи системи метрологічного контролю.
75. Вимірювання магнетних величин. Вимірювання параметрів магнетного поля.
76. Магнетні величини. Одиниці магнетних величин.
77. Вимірювання магнетного потоку постійного магнетного поля.
78. Вимірювання індукції та напруження постійного магнетного поля.
79. Вимірювання магнетного потоку, індукції та напруження змінного магнетного поля.
80. Вимірювання параметрів неоднорідних магнетних полів.
81. Прилади для вимірювання параметрів магнетного поля: магнетометри, потенціалометри, градієнтметри.
82. Визначення характеристик магнетних матеріалів. Основні характеристики магнетних матеріалів.
83. Намагнечувальні пристрої та досліджувані зразки.
84. Визначення основної та гістерезисної кривих намагнечування взірців. Коерцитиметри.
85. Прилади для дослідження пара- та діамагнетних матеріалів.
86. Визначення динамічних характеристик магнетних матеріалів.
87. Компенсаційний і мостовий методи визначення магнетних характеристик.
88. Осцилографічний метод визначення магнетних характеристик.
89. Вимірювання втрат у феромагнетних матеріалах.
90. Фізичні основи температурних вимірювань.
91. Температурні шкали. Цикл Карно і термодинамічна температура.
92. Прилади для відтворення термодинамічної температури.
93. Газові термометри.
94. Термодинамічна температурна шкала. Реперні точки та їх застосування. Основні і вторинні реперні точки. Обладнання для відтворення і збереження МТШ.
95. Рідинно-скляні термометри. Манометричні термометри. Термометри опору (ТО). Металічні і напівпровідникові ТО.

96. Термоелектричні кабелі.
97. Теплове випромінення. Фізичні закони теплового випромінення і їх практичні наслідки.
98. Основні положення термометрії випромінювання.
99. Загальні принципи побудови і класифікація пірометрів.
100. Монохроматична пірометрія. Пірометри повного та часткового випромінення.
101. Пірометри спектрального відношення.
102. Коефіцієнт відновлення. Вимірювання температури полум'я.
103. Ультразвукові (акустичні) термометри, принцип дії і різновиди. Шумові термометри.
104. ЯКР термометри. Ємнісні термометри. МГД -термометри. Тепловізори. Вторинні прилади для вимірювання температури.
105. Методи визначення тепломісткості та ентальпії речовин.
106. Методи визначення коефіцієнтів переносу (в'язкість, теплопровідність, дифузія).
107. Методичні похибки вимірювання температури на поверхні і в об'ємі тіла.
108. Похибки вимірювання температури контактними термометрами, їх класифікація.
109. Методи зменшення похибки вимірювання температури поверхні. Особливості плівкових термоперетворювачів.
110. Динамічні характеристики термоперетворювачів. Особливості вимірювання нестационарних температур.
111. Вимірювання температури газових потоків.
112. Методи і обладнання для одержання низьких і наднизьких температур. Кріостати.
113. Методи і обладнання для одержання високих температур. Обладнання для одержання температур вище за 2500 С; пічки з електронним підігрівом, плазмотрони.
114. Обладнання для відтворення температур в заданому діапазоні. Термостати.
115. Метрологічне забезпечення температурних вимірювань. Схеми перевірки термометрів. Еталонні термометри (термоелектричні і терморезистивні). Потрійна точка води. Зразкові і робочі засоби вимірювань. Методи перевірки контактних термометрів (ТО і термоелектричних).
116. Термоперетворювачі з уніфікованим вихідним сигналом.
117. Метрологічне забезпечення. Структура національної метрологічної служби. Функції державної метрологічної служби. Метрологічний нагляд (мета, об'єкти та види). Міжнародна система одиниць СІ. Еталони одиниць фізичних величин. Метрологічна перевірка засобів вимірювальної техніки, види метрологічних перевірок, їх організація і порядок.
118. Загальні вимоги до випробувальних лабораторій та порядок їх акредитації. Метрологічна атестація та калібрування засобів вимірювальної техніки, організація і проведення робіт.
119. Міжнародні організації з метрології - (BIPM), (OIML), (IEC), (ISO).
120. Суть, принципи, мета і завдання стандартизації. Рівні стандартизації. Види стандартів.
121. Мета та основні принципи державної політики у сфері стандартизації. Суб'єкти стандартизації. Порядок розроблення і прийняття, перевірки, внесення змін та перегляду стандартів.
122. Методичні основи стандартизації.
123. Організація роботи зі стандартизації в Україні, суб'єкти, що займаються стандартизацією. Техніко-економічна ефективність стандартизації.
124. Порядок впровадження стандартів і державний нагляд за їх дотриманням. Функції стандартизації. Роль стандартизації в розвитку систем управління якістю.
125. Завдання та мета державної політики у сфері підтвердження відповідності.
126. Органи сертифікації, випробувальні лабораторії. Структура, функції та завдання комітету з оцінки відповідності ISO-CASCO.
127. Системи управління якістю, принципи, доцільність, вимоги (згідно з стандартами серії ISO 9000). Атестація виробництва: порядок здійснення, загальні вимоги до документації

виробництва, що атестується, загальні вимоги до атестованого виробництва та організації контролю за виготовленням та випуском продукції.

128. Структура системи оцінювання відповідності. Сертифікація в європейських країнах. Процедура визнання результатів сертифікації продукції, що імпортується. Основні міжнародні та європейські організації в галузі сертифікації та акредитації.

129. Міжнародні та національні стандарти з управління якістю та забезпечення якості. Державний захист прав споживачів продукції в Україні.

130. Сертифікація систем якості, порядок проведення.

131. Стадії формування якості продукції. Види контролю якості. Комплексна система управління якістю продукції, напрямки удосконалення.

132. Основні принципи управління якістю та елементи системи якості. Інтегровані системи управління якістю.

Форми контролю та критерії оцінювання

Організування та проведення вступних випробувань до аспірантури здійснюється відповідно до Правил прийому до аспірантури Національного університету «Львівська політехніка» у відповідному році.

Вступний іспит зі спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка» проводиться у письмово-усній формі згідно з окремим графіком, який затверджується Ректором Університету та оприлюднюється на інформаційному стенді відділу докторантури та аспірантури й офіційному веб-сайті Університету не пізніше, ніж за 3 дні до початку прийому документів.

Екзаменаційні білети вступного іспиту зі спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка» формуються в обсязі програми рівня вищої освіти магістра зі спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка» та затверджуються на засіданні Вченої ради Навчально-наукового інституту комп'ютерних технологій, автоматики та метрології.

Результати вступного іспиту зі спеціальності оцінюються за 100-бальною шкалою.

Екзаменаційний білет вступного іспиту до аспірантури зі спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка»

- письмову компоненту з чотирьох питань: два питання з розділу «Загальнотехнічні питання» і два питання з розділу «Питання дисциплін фахового спрямування» (кожне із чотирьох питань екзаменаційного білета оцінюється максимально в 20 балів, максимальна сумарна кількість балів письмової компоненти – 80 балів);

- усну компоненту вступного іспиту з чотирьох питань (кожне із чотирьох питань усної компоненти оцінюється максимально в 5 балів, максимальна сумарна кількість балів усної компоненти – 20 балів).

Критерії оцінювання кожного питання письмової та усної компоненти вступного іспиту зі спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка» є такими:

Оцінка «відмінно» (18-20 балів для питань письмової компоненти та 5 балів для питань усної компоненти): вступник в аспірантуру бездоганно засвоїв теоретичний матеріал щодо змісту питання; самостійно, грамотно і послідовно з вичерпною повнотою відповів на питання; демонструє глибокі та всебічні знання, логічно будує відповідь; висловлює своє ставлення до тих чи інших проблем; вміє встановлювати причинно-наслідкові зв'язки, логічно та обґрунтовано будувати висновки.

Оцінка «добре» (14-17 балів для питань письмової компоненти та 4 бали для питань усної компоненти): вступник в аспірантуру добре засвоїв теоретичний матеріал щодо змісту питання, аргументовано викладає його; розкриває основний зміст питання, дає неповні визначення понять, допускає незначні порушення в послідовності викладення матеріалу та неточності при використанні наукових термінів; нечітко формулює висновки, висловлює свої міркування щодо тих чи інших проблем, але припускається певних похибок у логіці викладу теоретичного змісту.

Оцінка «задовільно» (10-13 балів для питань письмової компоненти та 3 бали для питань усної компоненти): вступник в аспірантуру в основному засвоїв теоретичний матеріал щодо змісту питання; фрагментарно розкриває зміст питання і має лише загальне його розуміння; при відтворенні основного змісту питання допускає суттєві помилки, наводить прості приклади, непереконливо відповідає, плутає поняття.

Оцінка «незадовільно» (0-9 балів для питань письмової компоненти та 0-2 бали для питань усної компоненти): вступник не засвоїв зміст питання, не знає основних його понять; дає неправильну відповідь на запитання.

Виконання завдань вступного іспиту зі спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» передбачає необхідність неухильного дотримання норм та правил академічної доброчесності відповідно до Положення про академічну доброчесність у Національному університеті «Львівська політехніка». За порушення зазначених норм та правил вступники в аспірантуру притягаються до відповідальності згідно вимог чинного законодавства.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

- [1] V.Stadnyk, W.Wójcik, Z.Hotra та in. Mikro i optoelektroniczne czujniki w pomiarach procesów cieplnych.-Lublin (Polska).-2001.
- [2] Луцик Я.Т., Буняк Л.К., Рудавський Ю.К., Стадник Б.І. Енциклопедія термометрії. Львів: Вид-во НУ "Львівська політехніка". - 2003
- [3] Луцик Я.Т., Гук О.П., Лах О.І., Стадник Б.І. Вимірювання температури: теорія та практика. Львів: Бескід-Біт.-2005
- [4] Дорожовець М., Б.Стадник В.Мотало, В.Василюк, А.Ковальчик, Р.Борек. Основи метрології. Підручник для студентів у 2-х томах. За редакцією д.т.н., проф. Б.Стадника Львів:Видавництво НУ “Львівська політехніка”, 2005
- [5] Thermoelectrics Handbook: Macro to Nano, Ed. D. M. Rowe, CRC Press, 2018.
- [6] Поліщук Є., Дорожовець М., Стадник Б., Івахів О., Бойко Т., Ковальчик А. Засоби та методи вимірювань неелектричних величин. Підручник для студентів. За редакцією проф. Поліщука Є. Львів: Бескід-Біт.- 2008
- [7] S. Yatsyshyn, B. Stadnyk, Ya. Lutsyk, L. Buniak. Handbook of Thermometry and Nanothermometry.-IFSA Publishing, S. L., Barcelona, Spain.- 2015.- 526 p.
- [8] Cyber-Physical Systems: Metrological Issues /Editors: S. Yatsyshyn and B. Stadnyk: IFSA Publishing, S. L., Barcelona, Spain.- 5 November 2016.-326 p.
- [9] Cyber-Physical Systems and Metrology 4.0 /Editors: S. Yatsyshyn and B. Stadnyk: IFSA Publishing, S. L., Barcelona, Spain.- 5 November 2021.-331 p.
- [10] П.Гамула, М.Дацюк, В.Крайовський, Я.Луцик та ін. Вимірювання у нанотехнологіях: методи і засоби/ За ред д.т.н., проф. Б.Стадника.-Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2016.- 188 с.
- [11] В. Ванько, М. Дорожовець, Є. Поліщук та ін. Вимірювальні перетворювачі (сенсори); за ред. проф. Є.Поліщука та проф. В. Ванька., Львів, Україна: Вид-во Національного університету “Львівська політехніка”, 2015.
- [12] М. Дорожовець, В. Мотало, Б. Стадник та ін. Основи метрології та електричні вимірювання; за ред. проф. Б. Стадника, Львів, Україна: Вид-во Національного університету “Львівська політехніка”, 2011.
- [13] М. Дорожовець, В. Мотало, Б. Стадник та ін. Метрологія та вимірювання; за ред. проф. Б. Стадника, Львів, Україна: Вид-во Національного університету “Львівська політехніка”, 2012.
- [14] COOMET R/GM/14:2006 Recommendation, Guidelines for data evaluation of COOMET key comparison (<http://www.coomet.org/>).
- [1] Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. - Киев: Выща школа, 1983. - 455 с.

- [2] Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. - Л.: Энергоатомиздат, 1985. - 248 с.
- [3] Обозовський С.С. Теоретичні основи інформаційно-вимірювальної техніки (Загальні поняття та теорія похибок). - К.: НМК ВО, 1991. - 222 с.
- [4] Полищук Е.С. Измерительные преобразователи. - К.: Выща школа, 1984.- 296 с.
- [5] Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. Л.: Энергоиздат, 1988. - 312 с.
- [6] Электрические измерения электрических и неэлектрических величин. Под ред. Е.С. Полищука. - К.: Выща школа, 1984. - 359 с.
- [7] Орнатский П.П. Автоматические измерения и приборы (аналоговые и цифровые). - К.: Выща школа, 1986. - 504 с.
- [8] Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника. -М.: Мир, 1992.
- [15] И.П. Бозаров. Термодинамика.- М. Высшая школа.- 1991.- 376 с.
- [16] Температурные измерения. Справочник //Под ред. Геращенко О.А. Киев: Наукова думка.- 1989.- 703 с.
- [17] И.И.Новиков. Термодинамика. М. "Машиностроение".- 1984.- 592 с.
- [18] Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами. М.- "Мир".- 1973.
- [19] Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. М.: Энергия.- 1973.
- [20] Линевег Ф. Измерение температуры в технике. Пер. с нем./Под. ред Л.А.Чарихова. М.: Металлургия.-1980.
- [21] Кутателадзе С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление. Справочное пособие М.: Энергоатомиздат.- 1990.
- [22] Преображенский В.П. Теплотехнические измерения и приборы. М.- "Энергия".-1978.-704 с.
- [23] Кузнецов Н.Д., Чистяков В.С. Сборник задач и вопросов по теплотехническим измерениям и приборам. М.-"Энергия".-1978.-216 с.
- [24] Яцук В.О., Малачівський П.С. Методи підвищення точності вимірювань. - Підручник – Львів: Вид-во «Бескид-біт», 2008. – 368 с.
- [25] Поліщук Є.С., Дорожовець М.М., Яцук В.О., Ванько В.М., Бойко Т.Г. Метрологія та вимірювальна техніка. - Підручник. – 2-е вид., доп. та переробл. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2012. – 544 с.
- [26] Є.С. Поліщук, В.М. Ванько, В.О. Яцук, М.М. Дорожовець, Ю.В. Яцук. Вимірювальні перетворювачі (сенсори). Вид-во Нац. Ун-ту «Львів. Політехніка», 2015. – 584 с. – Бібліогр.: с. 534-544.
- [27] R. Northrop, Introduction to Instrumentation and Measurements, 2nd ed., CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, 2005.
- [28] J.G. Webster and E. Halit, Eds., Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook: Electromagnetic, Optical, Radiation, Chemical, and Biomedical Measurement, 2nd ed., London, New York: CRC Press, Tailor & Francis Group, 2017.
- [29] J. Fraden, Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications, 5th ed., London, New York: Springer, 2016.
- [30] ISO 5725-1:1994. Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results - Part 1: General principles and definitions - Reviewed and confirmed in 2012.
- [31] OIML D 8 Edition 2004 (E), Measurement standards: Choice, recognition, use, conservation and documentation, International document, 2004.
- [32] Мотало В.П. Інформаційно-вимірювальні технології. Терміни та означення. Глосарій (словник основних термінів) для бакалаврів та магістрів спеціальності 152 "Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка". - Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2020. - 32с.
- [33] М. Дорожовець, В. Мотало, Б. Стадник та ін. Основи метрології та електричні вимірювання; за ред. проф. Б. Стадника, Львів, Україна: Вид-во Національного університету "Львівська політехніка", 2011.

- [34] A. J. C. Trappey, C. V. Trappey, U. H. Govindarajan, J. J. Sun and A. C. Chuang, A Review of Technology Standards and Patent Portfolios for Enabling Cyber-Physical Systems in Advanced Manufacturing, *IEEE Access*, Vol. 4, 2016, pp. 7356-7382.
- [35] M. Orazem, B. Tribollet, *Electrochemical Impedance Spectroscopy*, Wiley, 2017 (<https://www.wiley.com/en-us/Electrochemical+Impedance+Spectroscopy>)
- [36] S. Yatsyshyn, B. Stadnyk, P. Skoropad, M. Mykyychuk, Chapter 8. Energy Audit and Contactless Temperature Measurement, in *Advances in Sensors: Reviews*, Vol 7: Physical and Chemical Sensors: Design, Applications & Networks. Ed. by S. Yurish, 2020, pp. 179-196.
- [37] V. Yatsuk, M. Mykyjchuk, and T. Bubela, Ensuring the Measurement Efficiency in Dispersed Measuring Systems for Energy Objects, in *Sustainable Production: Novel Trends*, in Energy, Environment and Material Systems (Królczyk G., Wzorek M., Król A., Kochan O., Su J., Kacprzyk J. (Eds.)), Springer, Cham, part 9, 2020, pp. 131-149.
- [38] Ian Mills & others, *The New SI: Units and fundamental constants*, BIMP, January 2011.
- [39] The NIST References on Constants, Units, and Uncertainty, 2018 CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants (<https://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?rk>)
- [40] Industry 4.0: The Future of Metrology (<http://www.ogpuk.com/news/industry-4-0-future-metrology/>)
- [41] O. Velychko, V. Gaman, O. Hrabovskii, T. Gordiyenko, Features of testing of the built-in software of measuring instruments, *ResearchGate*, Dec. 2020. DOI: 10.32684/2412-5288-2020-1-16-36-41
- [42] O. Ivakhiv, T. Dominyuk, B. Stadnyk, Intelligent measurement multiplex system, in *Proceedings of the 2nd IEEE Intern. Workshop on Intel. Data Acq. and Adv. Comp. Syst.: Techn. and Appl. (IDAACS' 2003)*, September 8–10, 2003, Lviv, Ukraine, 2003, pp.13–15.