

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ХІХЛО ВАДИМ ЮРІЙОВИЧ

УДК 621.317(477)(091)

ДИСЕРТАЦІЯ


**ФОРМУВАННЯ ТА СИСТЕМНА ОРГАНІЗАЦІЯ
НАУКОВО-ВИРОБНИЧОГО КЛАСТЕРУ
ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ В УКРАЇНІ
(1946 р. – 1991 р.)**

Спеціальність – 032 Історія та археологія

Галузь знань – 03 Гуманітарні науки

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

 В. Ю. Хіхло

Науковий керівник: **ТВЕРИТНИКОВА Олена Євгенівна,**
доктор історичних наук, професор

Харків – 2026

АНОТАЦІЯ

Хіхло В. Ю. Формування та системна організація науково-виробничого кластеру електровимірювальної техніки в Україні (1946 р. – 1991 р.). – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії (PhD) за спеціальністю 032 – Історія та археологія. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2026.

Дисертаційна робота присвячена комплексному аналізу історичного поступу, інституційного становлення та структурних трансформацій електроприладобудівного сектору України у другій половині XX століття.

Об'єктом дослідження є розвиток електровимірювальної техніки на теренах України упродовж 1946–1991 рр.

Предметом дослідження є інституційне становлення вітчизняного науково-виробничого кластеру електровимірювальної техніки упродовж 1946–1991 рр., зокрема його структурних елементів наукових та освітніх установ і виробничих підприємств; теоретичний і практичний внесок наукових шкіл, провідних учених у розвиток електровимірювальних технологій.

Метою дослідження є комплексний аналіз становлення та системної організації науково-виробничого кластеру електровимірювальної техніки на теренах України на тлі соціально-економічних та науково-технологічних процесів другої половини XX ст.

У вступі обґрунтовано актуальність дослідження, зумовлену сучасними потребами модернізації наукомістких виробництв, розбудови стійкої інфраструктури, зміцнення оборонного комплексу та відновлення технологічного суверенітету нашої держави. Окреслено хронологічні й територіальні межі, визначено мету та конкретно-проблемні завдання, а також охарактеризовано методологічну основу дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота складається з чотирьох розділів. У *першому розділі* визначено стан наукової розробленості теми. Проведений історіографічний аналіз наукової літератури дав змогу з'ясувати, що в історичній літературі радянської доби та періоду незалежності розвиток електроприладобудування висвітлювався лише фрагментарно, що й зумовило необхідність проведення цілісного історико-технічного дослідження. Сформовано джерельну базу, у межах якої опрацьовано матеріали 83 архівних справ із 21 фонду 8 архівів України, залучено документи офіційного діловодства, науково-технічні праці, стандарти, патенти. Також уперше досліджено та введено до наукового обігу матеріали архіву Інституту кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України, які дали змогу глибше проаналізувати процеси автоматизації та інтелектуалізації вимірювальних засобів.

У *другому розділі* висвітлено еволюцію технічної думки, у межах якої формувалися класичні методи електровимірювань та конструювалися перші вимірювальні прилади. Визначено, що напрям електровимірювальної техніки відокремився у XIX ст. під впливом розвитку енергетики та зв'язку, де фундаментом виступала електротехніка. З'ясовано, що важливе місце у формуванні наукових засад метрології та електровимірювальної техніки належить асоціаціям інженерів-електриків. В першій половині XX ст. в Україні вагому роль у створенні науково-технічного підґрунтя відігравала діяльність П. П. Копняєва, за ініціативи якого в ХТІ було проведено роботи зі створення електровимірювального кабінету, оснащеного новітніми для того часу електровимірювальними приладами, та А. Д. Нестеренка, за сприяння якого на базі КПІ організували науково-дослідні майстерні для вивчення електричних вимірювань. Майстерні КПІ стали базою для створення Київського заводу електротехнічної апаратури (надалі відомого як «Точелектроприлад»).

У *третьому розділі* обґрунтовано інституційні засади створення кластеру на початку 1950-х рр. Невід'ємною складовою науково-виробничого кластеру була система технічної освіти, представлена профільними кафедрами політехнічних інститутів, де відбувалася системна підготовка як інженерів так і

науковців. Крім того кадрове забезпечення кластеру проводилося у відділі електричних і магнітних вимірювань ІЕ АН УРСР. Важливу роль відіграли спеціальні конструкторські бюро (зокрема Львівське КБ), які розробляли електровимірювальні прилади. Перехід до цифрових технологій відбувся завдяки розробкам науковців Інституту електродинаміки АН УРСР, Інституту кібернетики АН УРСР, політехнічних інститутів Києва, Львова, Харкова та мережі відомчих інститутів і КБ при великих підприємствах. Використання методології кібернетики та інформатики зумовило перехід до проектування складних комп'ютеризованих комплексів, завдяки чому розпочалося активне створення перших інформаційно-вимірювальних систем.

У четвертому розділі проаналізовано модернізацію науково-виробничого кластеру в 1970–1991 рр. в умовах впровадження мікропроцесорної елементної бази та інтеграції обчислювальних засобів у контури вимірювання. Показано, як кібернетичні інновації та розробки мікропроцесорів НДІ «Мікроприлад» дозволили забезпечити інтелектуалізацію засобів контролю та автоматизацію випробувальних процесів. На основі систематизації матеріалів та визначення напрямів наукових досліджень проведено ідентифікацію вітчизняних наукових шкіл електровимірювальної техніки, що сформувалися на базі наукових і дослідних осередків.

У висновках підсумовано, що в Україні сформувався унікальний науково-виробничий кластер на основі взаємодії академічної, університетської, галузевої науки та виробничих підприємств.

Наукова новизна дослідження полягає в тому, що:

Вперше:

– здійснено цілісне дослідження науково-виробничого кластеру електровимірювальної техніки, який сформувався на теренах України упродовж 1946–1991 рр. на основі проведення історіографічного аналізу наукової літератури, залучення джерельної бази та використання методології історичних досліджень, джерельну базу розширено за рахунок залучення раніше невідомих архівних матеріалів;

- запропоновано авторську періодизацію розвитку вітчизняної електровиміральної техніки на теренах України, яка ґрунтується на зміні інституційних моделей взаємодії між наукою, освітою та виробництвом, а також враховує еволюцію технічних характеристик, елементної бази та типів електровиміральної техніки;

- обґрунтовано, що на основі вітчизняних науково-дослідних та навчальних центрів сформувалися потужні наукові школи, які завдяки впровадженню новітньої елементної бази, новим методам вимірювань та підвищенню точності забезпечили перехід від електронно-лампових приладів до цифрових засобів та інформаційно-вимірвальних систем із функціями автоматичної обробки даних;

- доведено ефективність формування науково-виробничого кластеру як соціально-технічної системи, у якій технічний прогрес у вигляді появи нових типів приладів був нерозривно пов'язаний із такими чинниками, як створення наукових шкіл, зміна стандартів вищої освіти та становлення провідних науково-виробничих осередків у Києві, Харкові та Львові, таких як науково-виробниче об'єднання «Кристал» (м. Київ), СКБ «Системи автоматичного управління» (м. Харків), Львівський науково-дослідний радіотехнічний інститут, науково-дослідний конструкторський інститут електронної виміральної та обчислювальної техніки (м. Львів);

поглиблено та доповнено:

- відомості про організацію підготовки інженерів зі спеціальності електричні вимірювання у провідних технічних вишах України;

- історію розвитку НТУ «ХПІ» поглиблено й суттєво доповнено через персоніфікацію наукової спадщини професорсько-викладацького складу кафедри інформаційно-вимірвальних технологій;

- матеріали, що висвітлюють організаційну та наукову діяльність П. В. Окулова, К. Б. Карандєєва, А. Д. Нестеренка, Ф. Б. Гриневича, П. П. Орнатського, С. М. Терентьєва, К. С. Полуляха, К. І. Діденка, С. І. Кондрашова;

удосконалено:

- періодизацію розвитку електровимірювальних технологій в контексті розвитку світової електротехніки;

набуло подальшого розвитку:

- напрям історико-технічних досліджень з вивчення історії української електротехнічної науки, реконструкції наукової спадщини вітчизняних фахівців у галузі електротехніки, осмислення місця їхніх здобутків у світовому розвитку електротехнічної галузі.

Практичне значення дослідження полягає у можливості використання отриманих результатів для розробки стратегій розвитку сучасного приладобудівного сектору України. Матеріали роботи можуть бути застосовані при підготовці лекційних курсів з історії науки і техніки, розробці навчальних посібників для студентів технічних спеціальностей, а також у музейній та експозиційній діяльності для популяризації здобутків української наукової еліти. Висновки щодо принципів функціонування науково-виробничих структур, НДІ та НВО є актуальними для оптимізації сучасної співпраці між університетами, академічними установами та промисловими підприємствами.

Ключові слова: історія науки і техніки, електротехніка, інновації, електричні вимірювання, вимірювальні прилади, електровимірювальні прилади, методи електровимірювань, асоціація інженерів-електриків, технічна освіта, інформаційно-вимірювальні системи, електроприладобудування, метрологія, наукові школи, політехнічні інститути, Україна.

ABSTRACT

Khikhlo V. Yu. Formation and systemic organization of the scientific and industrial cluster of electrical measuring technology in Ukraine (1946–1991). Qualification scientific work on the rights of the manuscript.

The thesis is submitted to obtain a scientific degree of Doctor of Philosophy, specialty 032 – History and Archaeology. – National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, 2026.

The dissertation is devoted to a comprehensive analysis of the historical development, institutional formation, and structural transformations of the electrical measurement instruments industry in Ukraine during the second half of the twentieth century.

The object of the study is the development of electrical measuring technology in Ukraine during 1946–1991.

The subject of the study is the institutional formation of the Ukrainian scientific and industrial cluster of electrical measuring technology during 1946–1991, including its structural elements: scientific and educational institutions, as well as industrial enterprises. The study also examines the theoretical and practical contribution of scientific schools and leading scholars to the development of electrical measuring technologies.

The purpose of the study is to provide a comprehensive analysis of the formation and systemic organization of the scientific and industrial cluster of electrical measuring technology in Ukraine against the background of the socio-economic, scientific, and technological processes of the second half of the twentieth century.

The introduction substantiates the relevance of the research, which is determined by the contemporary need to modernize science-intensive industries, develop resilient infrastructure, strengthen the defence sector, and restore the technological sovereignty of Ukraine. It outlines the chronological and territorial boundaries of the study, defines its purpose and specific research objectives, and characterizes the methodological framework of the dissertation.

The dissertation consists of four chapters. The first chapter defines the state of scholarly development of the topic. The historiographical analysis of the scientific literature has shown that, in the historical literature of both the Soviet period and the period of Ukraine's independence, the development of electrical instrument-making was covered only fragmentarily. This circumstance determined the need for a comprehensive historical and technical study. The source base was formed through the examination of materials from 83 archival files held in 21 fonds of 8 archives of Ukraine. The research also involved official administrative documents, scientific and technical works, standards, and patents. In addition, the archival materials of the V. M. Hlushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine were studied and introduced into scholarly circulation for the first time. These materials made it possible to conduct a deeper analysis of the processes of automation and intellectualization of measuring instruments.

The second chapter examines the evolution of technical thought, within which classical methods of electrical measurements were formed and the first measuring instruments were designed. It is established that electrical measuring technology emerged as a distinct field in the nineteenth century under the influence of the development of power engineering and communications, with electrical engineering serving as its foundation. It is shown that associations of electrical engineers played an important role in shaping the scientific foundations of metrology and electrical measuring technology. In the first half of the twentieth century, the activities of P. P. Kopniaiev were of considerable importance for the formation of the scientific and technical basis of this field in Ukraine. On his initiative, work was carried out at KhTI to establish an electrical measurements laboratory equipped with state-of-the-art electrical measuring instruments for that time. A. D. Nesterenko also made a significant contribution: with his support, research workshops for the study of electrical measurements were organized at KPI. The KPI workshops later became the basis for the establishment of the Kyiv Plant of Electrotechnical Equipment, subsequently known as "Tochelektroprylad".

The third chapter substantiates the institutional foundations of the cluster's creation in the early 1950s. An integral component of the scientific and industrial cluster was the system of technical education, represented by specialized departments of polytechnic institutes, where systematic training was provided for both engineers and researchers. In addition, personnel support for the cluster was provided by the Department of Electrical and Magnetic Measurements of the Institute of Electrodynamics of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR. Special design bureaus, particularly the Lviv Design Bureau, played an important role in the development of electrical measuring instruments. The transition to digital technologies was made possible by the work of researchers from the Institute of Electrodynamics of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, the Institute of Cybernetics of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, the polytechnic institutes of Kyiv, Lviv, and Kharkiv, as well as a network of departmental institutes and design bureaus operating at major enterprises. The application of the methodology of cybernetics and computer science led to a transition toward the design of complex computerized systems, which initiated the active development of the first information-measuring systems.

The fourth chapter analyzes the modernization of the scientific and industrial cluster in 1970–1991 under the conditions of the introduction of the microprocessor element base and the integration of computing tools into measurement circuits. It demonstrates how cybernetic innovations and microprocessor developments by the Research Institute “Mikroprylad” made it possible to ensure the intellectualization of control instruments and the automation of testing processes. On the basis of the systematization of materials and the identification of the main directions of scientific research, the Ukrainian scientific schools of electrical measuring technology that had formed within scientific and research centres were identified.

The conclusions summarize that a unique scientific and industrial cluster was formed in Ukraine on the basis of interaction among academic, university, and sectoral science, as well as industrial enterprises.

The scientific novelty of the study lies in the following:

For the first time:

- a comprehensive study of the scientific and industrial cluster of electrical measuring technology that developed in Ukraine during 1946–1991 has been carried out on the basis of a historiographical analysis of scientific literature, the use of a broad source base, and the application of the methodology of historical research. The source base has been expanded through the inclusion of previously unknown archival materials;

- an original periodization of the development of Ukrainian electrical measuring technology in Ukraine has been proposed. It is based on changes in the institutional models of interaction among science, education, and production, and also takes into account the evolution of technical characteristics, the component technology, and the types of electrical measuring equipment;

- it has been substantiated that, on the basis of Ukrainian research and educational centres, powerful scientific schools were formed which, through the introduction of a new component technology, new measurement methods, and increased accuracy, ensured the transition from vacuum-tube instruments to digital devices and information-measuring systems with automatic data-processing functions;

- the effectiveness of the formation of the scientific and industrial cluster as a sociotechnical system has been demonstrated. Within this system, technical progress, reflected in the emergence of new types of instruments, was inseparably connected with such factors as the formation of scientific schools, changes in higher education standards, and the establishment of leading scientific and industrial centres in Kyiv, Kharkiv, and Lviv. These included the Scientific and Production Association “Krystal” in Kyiv, the Special Design Bureau “Automatic Control Systems” in Kharkiv, the Lviv Research Radio Engineering Institute, and the Research and Design Institute of Electronic Measuring and Computing Equipment in Lviv.

The following has been expanded and enriched:

- information on the organization of training for engineers in the specialty of electrical measurements at leading technical higher education institutions of Ukraine;
- the history of the development of the National Technical University “Kharkiv

Polytechnic Institute” has been deepened and substantially supplemented through the documenting the individual scholarly contributions of the teaching and research staff of the Department of Information and Measuring Technologies;

– materials covering the organizational and scientific activities of P. V. Okulov, K. B. Karandiev, A. D. Nesterenko, F. B. Hrynevych, P. P. Ornatskyi, S. M. Terentiev, K. S. Poluliakh, K. I. Didenko, and S. I. Kondrashov.

The following has been refined:

– the periodization of the development of electrical measuring technologies in the context of the development of global electrical engineering.

The following has been further developed:

– the field of historical and technical research devoted to the study of the history of Ukrainian electrical engineering science, the reconstruction of the scientific legacy of Ukrainian specialists in the field of electrical engineering, and the interpretation of the place of their achievements in the global development of electrical engineering.

The practical significance of the study lies in the possibility of using the obtained results for the development of strategies for the advancement of the modern instrument-making sector of Ukraine. The materials of the dissertation may be used in preparing lecture courses on the history of science and technology, in developing textbooks and teaching materials for students of technical specialties, as well as in museum and exhibition activities aimed at popularizing the achievements of the Ukrainian scientific elite. The conclusions regarding the principles of functioning of scientific and industrial structures, research institutes, and scientific and production associations are relevant for optimizing modern cooperation among universities, academic institutions, and industrial enterprises.

Keywords: history of science and technology, electrical engineering, innovations, electrical measurements, measuring instruments, electrical measuring instruments, electrical measurement methods, association of electrical engineers, technical education, information and measuring systems, electrical instrument making, metrology, scientific schools, polytechnic institutes, Ukraine.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації у виданнях, включених до переліку фахових видань України (категорія «Б»)

1. Хіхло В. Ю. Становлення електровимірювального приладобудування в Україні на тлі розвитку світової електротехніки (наприкінці XIX ст. – 60-ті рр. XX ст.). *Актуальні питання у сучасній науці. Серія «Історія та археологія»*. 2024. № 8 (26). С. 1268–1280. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-6300-2024-8\(26\)-1268-1280](https://doi.org/10.52058/2786-6300-2024-8(26)-1268-1280).

2. Хіхло В. Ю. Особливості розвитку електровимірювальної техніки в Україні (1960–1980-ті рр.). *Дослідження з історії і філософії науки і техніки*. 2025. Вип. 34.1. С. 143–154. DOI: <https://doi.org/10.15421/272514>.

3. Хіхло В. Ю. Розвиток інформаційно-вимірювальних систем у 1970-х – 1980-х рр. та організація наукової роботи українських учених над їх вдосконаленням. *Історія науки і біографістика*. Вип. 4. Київ: Національна наукова сільськогосподарська бібліотека Національної академії аграрних наук України, 2025. С. С. 114–129. DOI: <https://doi.org/10.31073/istnauka202504-08>.

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

4. Хіхло В. Ю. Витоки зародження електровимірювальної техніки в Україні (друга половина XIX ст. – початок XX ст. *Автоматизація, електроніка, інформаційно-вимірювальні технології: освіта, наука, практика: матеріали 4-ї Міжнародної науково-технічної конференції, 1–2 грудня 2022 р.* Харків: НТУ «ХПІ», 2022. С. 222–223.

5. Хіхло В. Ю. До історії створення Міжнародної системи електричних одиниць упродовж XIX ст. *Матеріали 18-ї Всеукраїнської наукової конференції молодих учених та спеціалістів за темою: «Історія освіти, науки і техніки в Україні. Історія науки і техніки у кризові періоди суспільного розвитку»*, 14 квітня 2023 р. Київ, 2023. С. 273–276.

6. Хіхло В. Ю. До історії створення вимірювальних мостів в Україні. *Актуальні питання історії науки і техніки. Матеріали 22-ї Всеукраїнської наукової конференції*. Київ: Державний політехнічний музей імені Бориса Патона при КПІ імені Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2023. С. 189–192.

7. Tverytnykova Elena, Khikhlo Vadym. The influence of information technologies on the development of measurement tools and methods in Ukraine (second half of the 20th century). *IEEE Sixth International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo)*. (Scopus) 2023. DOI: <https://doi.org/10.1109/UkrMiCo61577.2023.10380337>.

8. Хіхло В. Ю. кер. Тверитникова О. Є. Розвиток програмно-апаратних засобів вимірювання в Україні (друга половина XX ст.). *Матеріали 16-ї Міжнародної науково-технічної конференції студентів та аспірантів «Перспективи розвитку інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем» ПРІТС 2024*. Київ: КПІ імені Ігоря Сікорського, 2024. С. 322.

9. Хіхло В. Ю. Вчений у галузі електронного приладобудування: професор К. С. Полулях (до 100-річчя зі дня народження). *Матеріали 29-ї Всеукраїнської наукової конференції молодих істориків науки, техніки і освіти та спеціалістів за темою: «Наука для відбудови України», 19 квітня 2024 р.* Київ, 2024. С. 228–232.

10. Хіхло В. Ю. Етапи розвитку електровимірювальної техніки в Україні у XX ст. *Україна і світ: гуманітарно-технічна еліта та соціальний прогрес: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів і аспірантів*. Харків: НТУ «ХПІ», 2024. С. 492–493.

11. Хіхло В. Ю. До історії становлення та розвитку галузі електро-вимірювальної техніки в Україні у XX ст. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей 32-ї Міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD–2024, 22–25 травня 2024 р.* Харків: НТУ «ХПІ», 2024. С. 1100.

12. Хіхло В. Ю. Доробок конструкторів київського заводу «Точелектроприлад»: створення спеціального електровимірювального

обладнання. *Матеріали 23-ї Всеукраїнської наукової конференції «Актуальні питання історії науки і техніки»*. Київ, 2024. С. 207–210.

13. Хіхло В. Ю. Підготовка інженерів з електровимірювальної техніки на теренах України упродовж XX ст. *Автоматизація, електроніка, інформаційно-вимірювальні технології: освіта, наука, практика : матеріали 5-ї Міжнародної науково-технічної конференції, 28-29 листопада 2024 р. Харків, 2024. С. 283–284.*

14. Хіхло В. Ю. Електровимірювальне приладобудування у Київському політехнічному інституті (перша половина XX ст.) *Матеріали 30-ї Міжнародної наукової конференції молодих істориків науки, техніки і освіти та спеціалістів за темою: «Наука для справедливого миру в Україні», 25 квітня 2025 р. Київ, 2025. С. 249–253.*

15. Хіхло В. Ю. Уніфікація в електроприладобудуванні наприкінці 60-х рр. – середині 70-х рр. XX ст. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей 32-ї Міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2025, 14-17 травня 2025 р. Харків: НТУ «ХПІ», 2025. С. 1282.*

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ ТЕРМІНІВ	4
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 СТАН НАУКОВОГО ОПРАЦЮВАННЯ, ДЖЕРЕЛЬНА БАЗА ТА МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	16
1.1 Стан наукового опрацювання	16
1.2 Джерельна база дослідження	26
1.3 Методологія дослідження.....	35
Висновки до першого розділу	45
РОЗДІЛ 2 ПЕРЕДУМОВИ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ТЕРЕНАХ УКРАЇНИ (XVIII ст. – середина XX ст.).....	47
2.1 Становлення електровимірювальної техніки в контексті еволюції світових знань про електрику (XVIII–XIX ст.)	47
2.2 Започаткування перших досліджень електровимірювальних технологій на теренах України (перша половина XX ст.)	55
Висновки до другого розділу	66
РОЗДІЛ 3 ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ В УКРАЇНІ (1946 р. – кінець 1960-х рр.)	69
3.1 Організація науково-виробничого кластеру електро- вимірювальної техніки.....	69
3.2 Формування цифрових технологій в електро- вимірювальній техніці	97
Висновки до третього розділу	109
РОЗДІЛ 4 РОЗВИТОК ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ. АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА СТАНДАРТИЗАЦІЯ ВИМІРЮВАНЬ (початок 1970-х рр. – 1991 р.).....	111
4.1 Інтеграція мікроелектроніки та вплив технологій на розвиток електровимірювальної техніки	111

4.2 Розвиток комп'ютеризованих вимірювальних комплексів на тлі економічних і політичних змін підрадянської України.	139
4.3 Періодизація становлення науково-практичних засад електровимірювальної техніки на теренах України	152
Висновки до четвертого розділу	157
ВИСНОВКИ	159
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ І ЛІТЕРАТУРИ	167
ДОДАТКИ	201

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ІМЕКО – International Measurement Confederation (Міжнародний конгрес з вимірювань)

АЗ – агрегатні засоби

АЗЕТ – агрегатний комплекс засобів електровимірювальної техніки

АК – Агрегатний комплекс

АН України – Академія наук України

АН УРСР – Академія наук Української Радянської Соціалістичної Республіки

АРМ – автоматизоване робоче місце

АСНД – автоматизована система наукових досліджень

АСУ ТП – автоматизована система управління технологічними процесами

АЦП – аналого-цифрові перетворювачі

БПК – блок програмного керування

ВЕВП – Відділ електронного вимірювального приладобудування

ВІС – великі інтегральні схеми

ВІТ – вимірювально-інформаційна техніка

ВНЗ – вищий навчальний заклад

ВНІТТПрилад – Всесоюзне наукове та інженерно-технічне товариство приладобудівників

ВОК – вимірювально-обчислювальні комплекси

ВПК – військово-промисловий комплекс

ГОСТ – Государственный стандарт

ДАК – Державний архів м. Києва

ДАХО – Державний архів Харківської області

ДСП – Державна система промислових приладів та засобів автоматизації

ЕВТ – електровимірювальна техніка

ЕОМ – електронно-обчислювальна машина

ЕПТ – електронно-променева трубка

ІА НБУ імені В. І. Вернадського НАН України – Інститут архівознавства
 Національної бібліотеки України імені В.І. Вернадського НАН України

ІВК – інформаційно-вимірювальні комплекси

ІВС – інформаційно-вимірювальні системи

ІВТ – інформаційно-вимірювальна техніка

ІЕ АН УРСР – Інституті електродинаміки Академії наук УРСР

ІЕД НАН України – Інститут електродинаміки НАН України

ІК АН УРСР – Інститут кібернетики Академії наук УРСР

ІК НАН України – Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України

ІТ – інформаційні технології

КВК – комп'ютеризовані вимірювальні комплекси

КВП – контрольно-вимірювальні прилади

КМ – Кабінет Міністрів

КПІ – Київський політехнічний інститут

КТЗ ЛІКС – комплекс технічних засобів для локальних інформаційно-керуючих систем

ЛНДРТІ – Львівський науково-дослідний радіотехнічний інститут

ЛОРТА – Львівське об'єднання радіо-технічної апаратури

ЛПІ – Львівський політехнічний інститут

МікроДАТ – мікропроцесорні засоби диспетчеризації, автоматики, телемеханіки

Мінвуз УРСР – Міністерство вищої і середньої спеціальної освіти Української РСР

МНМТ – модульний набір мікропроцесорної техніки

МОН – Міністерство освіти та науки

НАН України – Національна академія наук України

НБУВ – Національна бібліотека України імені В. І. Вернадського

НВО – науково-виробниче об'єднання

НДІ – науково-дослідний інститут

НДКІ ЕЛВІТ – Науково-дослідний конструкторський інститут електронної вимірювальної та обчислювальної техніки

НДЛ – науково-дослідна лабораторія

НДР – науково-дослідна робота

НДС – науково-дослідний сектор

НПО – науково-виробниче об'єднання

НТТ – Науково-технічне товариство

НТУ «ХПІ» – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

НТУУ «КПІ імені І. Сікорського» – Національний технічний університет

України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

НУ «Львівська політехніка» – Національний університет «Львівська політехніка»

ОКБ – особливе конструкторське бюро

ПЗО – пристрій зв'язку з об'єктами

ПФІ – перетворювачі форми інформації

Раднаргосп – Рада народного господарства

РМ – Рада Міністрів

САУ – системи автоматичного управління

СКБ – спеціальне конструкторське бюро

СКТБ КП – спеціальне конструкторсько-технологічне бюро комбінованих приладів

СПКБ – студентське проектно-конструкторське бюро

СРСР – Союз Радянських Соціалістичних Республік

УРСР – Українська Радянська Соціалістична Республіка

ХЕТІ – Харківський електротехнічний інститут

ХІГМАОТ – Харківський інститут гірничого машинобудування, автоматики й обчислювальної техніки

ХІРЕ – Харківський інституту радіоелектроніки

ХПІ – Харківський політехнічний інститут

ХТІ – Харківський технологічний інститут

ЦАП – цифро-аналогові перетворювачі

ЦВМ – цифровая вычислительная машина

ЦДАВО України – Центральний державний архів Вищих органів влади і управління України

ЦЕМ – цифровий екстремальний міст

ЦК КПРС – Центральний Комітет Комуністичної партії Радянського Союзу

ЦК КПУ – Центральний Комітет Комуністичної партії України

ЦНДІ – центральний науково-дослідний інститут

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. У структурі електротехнічної галузі електровимірвальна техніка виконує базові сервісні та методологічні функції, пов'язані з вимірюванням електричних і неелектричних величин електричними методами. Інформаційно-вимірвальні комплекси забезпечують точність вимірювань, контроль електричних параметрів, що є основою ефективності та безпеки технологічних процесів, електричних мереж, якості електропостачання. Сучасний ринок електровимірвальної техніки в Україні представлений приладобудівними підприємствами, такими як «Мегометр», «Електровимірвач»; інноваційними компаніями автоматизації, зокрема TETRA та підприємствами енергетичного обліку та систем. Попри складні економічні умови, відбувається поступовий перехід до цифровізації, автоматизації та інтелектуалізації вимірвальних процесів. І це підвищує значення електровимірвальної техніки як базового інструменту у функціонуванні енергетики, промисловості, цифрової інфраструктури. Її значення навіть зросло через цифровізацію та воєнні виклики. У зв'язку з цим особливої актуальності набувають дослідження формування і системної організації комплексу електровимірвальної техніки, вивчення науково-виробничих можливостей упродовж 1946–1991 рр.

У другій половині XX ст. формування науково-виробничого кластеру електровимірвальної техніки на теренах України набуло бурхливого розвитку. Поступово відбувався перехід від досліджень окремих вчених до формування провідних наукових шкіл. У цей період модернізувалися та розширювалися потужності київського заводу «Точелектроприлад», а також активно розбудовувалися нові підприємства, зокрема «Радіоприлад» (м. Київ), «Електровимірвач» (м. Житомир) та заводи «Вимірвач», «Львівприлад» (м. Львів) з випуску високоточної апаратури. Розвиток електровимірвальної техніки відбувався у тісному взаємозв'язку з розвитком обчислювальної техніки, кібернетики, автоматизованих систем, мікроелектроніки. Прогрес промислового

комплексу підтримували наукові осередки: наукові відділи інститутів Академії наук, представники профільних кафедр технічних осередків, колективи дослідних інститутів. Упродовж 1950–1980-х рр. відбулося інституційне становлення електровиміральної техніки, яка стала цілісною системою з випуску устаткування, проведення наукових досліджень, підготовки інженерних та наукових кадрів. Вітчизняні вчені мали вагомі досягнення у розробленні нового вимірального устаткування, створенні методів вимірювання, метрології, стандартизації.

Дослідження становлення науково-виробничого кластеру електровиміральної техніки України у другій половині XX ст. дає змогу зберегти наукову спадщину. Сьогодні, в умовах повномасштабної війни за Незалежність України, цей історичний досвід набуває особливої актуальності. Місце електровиміральної техніки отримає нове значення у технологічній модернізації країни. Системи точних вимірювань цифрових «розумних» мереж (smart grids), інтелектуальних вимірвальних систем є критично важливими для енергетичної галузі, оборонного комплексу, промисловості, захисту критичної інфраструктури під час війни та в умовах повоєнної відбудови.

Актуальність теми дослідження зумовлює необхідність вивчення здобутків вітчизняної наукової спільноти. Дослідження особистості видатних учених, об'єктивна оцінка їхнього наукового доробку та внеску в розвиток електровиміральної техніки становлять актуальне й необхідне завдання на сучасному етапі розвитку наукових досліджень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційне дослідження виконувалося в рамках науково-дослідної роботи кафедри «Українознавство, культурологія та історія науки» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» «Розвиток науки, освіти та культури Слобідської України другої половини XIX ст. – початку XXI ст.» (ДР № 0122U201252) та «Історія України другої половини XIX ст. – початку XXI ст. між локальним і глобальним виміром: наука, культура та

ідентичність» (ДР № 0125U004007), де здобувач брав участь як виконавець розділів роботи.

Метою дослідження є комплексний аналіз становлення та системної організації науково-виробничого кластеру електровимірювальної техніки на теренах України на тлі соціально-економічних та науково-технологічних процесів другої половини ХХ ст.

Завдання дослідження:

- з'ясувати стан наукової розробки проблеми в історіографії, проаналізувати рівень її джерельного забезпечення, визначивши міру доступності, повноти та інформативності використаних джерел, схарактеризувати методологічні підходи дослідження;

- проаналізувати історичні передумови розвитку електровимірювальної техніки, визначити та охарактеризувати інституційні засади створення науково-виробничого кластеру електровимірювальної техніки на теренах України упродовж 1946–1950-х рр., з'ясувати структуру, функції та основні напрями діяльності наукових колективів;

- розкрити результативність діяльності вітчизняних наукових шкіл електроприладобудування з розроблення та впровадження цифрових технологій в електровимірювальній техніці упродовж 1960-х рр.;

- встановити характерні ознаки та етапи впровадження мікроелектронної елементної бази в електровимірювальну техніку у 1970-ті рр. та окреслити здобутки вітчизняних науковців з підвищення точності, надійності засобів вимірювання та автоматизації вимірювань;

- з'ясувати особливості розвитку науково-виробничого кластеру електровимірювальної техніки у 1980-ті рр., взаємозв'язок з інформаційними технологіями, засобами автоматизації та вплив на розвиток промислового комплексу;

- провести ідентифікацію вітчизняних наукових шкіл через визначення напрямів наукових досліджень провідних навчальних та дослідних осередків;

– спираючись на методологічні засади періодизації історії науки і техніки, розробити хронологію розвитку вітчизняної електровимірювальної техніки упродовж ХХ ст.

Об'єктом дослідження є розвиток електровимірювальної техніки на теренах України упродовж 1946–1991 рр.

Предметом дослідження є інституційне становлення вітчизняного науково-виробничого кластеру електровимірювальної техніки упродовж 1946–1991 рр., зокрема його структурних елементів наукових та освітніх установ і виробничих підприємств; теоретичний і практичний внесок наукових шкіл, провідних учених у розвиток електровимірювальних технологій.

Хронологічні межі дослідження визначаються періодом від 1946 р. до 1991 р. Нижня межа дослідження пов'язана з повоєнною відбудовою промисловості, науки й техніки, та поступовим переходом від воєнно-орієнтованого виробництва до системного відновлення та модернізації промислового потенціалу, що створило об'єктивні передумови для інтенсивного розвитку електровимірювальної техніки. Масова електрифікація, розвиток енергетики, машинобудування, автоматизації виробничих процесів сприяли формуванню електровимірювальної техніки як самостійного напрямку науки й техніки та промисловості. Системному оформленню науково-виробничого кластеру сприяло створення у 1946 р. координуючого осередку – Головного управління заводами точних електровимірювальних приладів. Верхня хронологічна межа зумовлена змінами у політичній та економічній сферах, що відбулися на початку 1990-х рр. Розпад СРСР у 1991 р. вплинув на руйнування виробничих і наукових структур, зміну науково-технічних та економічних моделей, зниження державного фінансування, відтік наукових кадрів, скорочення матеріально-технічної бази. Все це позначилося на розвитку науково-виробничого кластеру електровимірювальної техніки.

Територіальні межі дослідження включають територію Української РСР у період 1946–1991 рр. Увага зосереджена на провідних електротехнічних

наукових центрах, де була розташована найпоширена мережа навчальних та дослідних осередків, електроприладобудівних підприємств – Київ, Харків, Львів.

Методологічна основа дисертації ґрунтується на міждисциплінарному підході, що поєднує методи історичної науки та суміжних галузей знань. Методологічну базу становлять принципи науковості, історизму, об'єктивності, всебічності, системності, наступності та конкретності, які забезпечують комплексне й достовірне висвітлення проблеми. У процесі роботи застосовано спеціальні інструменти наукового аналізу, загальнонаукові і спеціально-історичні методи, зокрема: аналізу, синтезу, індукції, дедукції, типологізації, абстрагування, проблемно-хронологічний, історико-порівняльний, історико-генетичний, біографічний, метод історичної періодизації, контент-аналізу та бібліографічного і джерелознавчого аналізу.

Наукова новизна дослідження полягає в тому, що:

Вперше:

- здійснено цілісне дослідження науково-виробничого кластеру електровиміральної техніки, який сформувався на теренах України упродовж 1946–1991 рр. на основі проведення історіографічного аналізу наукової літератури, залучення джерельної бази та використання методології історичних досліджень, джерельну базу розширено за рахунок залучення раніше невідомих архівних матеріалів;

- запропоновано авторську періодизацію розвитку вітчизняної електровиміральної техніки на теренах України, яка ґрунтується на зміні інституційних моделей взаємодії між наукою, освітою та виробництвом, а також враховує еволюцію технічних характеристик, елементної бази та типів електровиміральної техніки;

- обґрунтовано, що на основі вітчизняних науково-дослідних та навчальних центрів сформувалися потужні наукові школи, які завдяки впровадженню новітньої елементної бази, новим методам вимірювань та підвищенню точності забезпечили перехід від електронно-лампових приладів до

цифрових засобів та інформаційно-вимірювальних систем із функціями автоматичної обробки даних;

– доведено ефективність формування науково-виробничого кластеру як соціально-технічної системи, у якій технічний прогрес у вигляді появи нових типів приладів був нерозривно пов'язаний із такими чинниками, як створення наукових шкіл, зміна стандартів вищої освіти та становлення провідних науково-виробничих осередків у Києві, Харкові та Львові, таких як науково-виробниче об'єднання «Кристал» (м. Київ), СКБ «Системи автоматичного управління» (м. Харків), Львівський науково-дослідний радіотехнічний інститут, науково-дослідний конструкторський інститут електронної вимірювальної та обчислювальної техніки (м. Львів);

поглиблено та доповнено:

– відомості про організацію підготовки інженерів зі спеціальності електричні вимірювання у провідних технічних вишах України;

– історію розвитку НТУ «ХПІ» поглиблено й суттєво доповнено через персоніфікацію наукової спадщини професорсько-викладацького складу кафедри інформаційно-вимірювальних технологій;

– матеріали, що висвітлюють організаційну та наукову діяльність П. В. Окулова, К. Б. Карандєєва, А. Д. Нестеренка, Ф. Б. Гриневича, П. П. Орнатського, С. М. Терентьєва, К. С. Полуляха, К. І. Діденка, С. І. Кондрашова;

удосконалено:

– періодизацію розвитку електровимірювальних технологій в контексті розвитку світової електротехніки;

набуло подальшого розвитку:

– напрям історико-технічних досліджень з вивчення історії української електротехнічної науки, реконструкції наукової спадщини вітчизняних фахівців у галузі електротехніки, осмислення місця їхніх здобутків у світовому розвитку електротехнічної галузі.

Практичне значення одержаних результатів полягає в їх можливості слугувати основою для підготовки розділів монографій, біографічних довідників, енциклопедій, підручників та навчальних посібників, спрямованих на розвиток електровимірювальних технологій в Україні. Крім того, матеріали дослідження можуть знайти застосування у навчальному процесі під час викладання курсів з історії науки і техніки, історії України, історії навчальних і наукових установ, а також у вступних історичних лекціях із інформатики. Частково результати дисертаційного дослідження впроваджено у навчальний процес НТУ «ХП» при проведенні семінарських занять з дисципліни «Історія науки і техніки» під час проходження педагогічної практики. Окремі результати дослідження інтегровано у відкриту вебплатформу «Відкриті освітні ресурси з Україною». Це впровадження відбулося в межах програмної лінії «Цифрова Україна: Забезпечення академічного успіху в часи кризи», підтриманої Німецькою службою академічних обмінів (DAAD) та Федеральним міністерством освіти та досліджень Німеччини (Додаток Б).

Особистий внесок здобувача полягає у сформульованих положеннях та обґрунтованих висновках на підставі особистих теоретичних та практичних досліджень. Авторські судження та пропозиції є особистим внеском здобувача у дослідження визначеної проблеми. Ідеї та розробки, які належать іншим дослідникам, не використовувались. Результати дисертаційної роботи отримані здобувачем особисто та опубліковані в одноосібних публікаціях (Додаток А).

Апробація результатів дослідження. Основні положення і результати дослідження обговорювались і доповідались на IV Міжнародній науково-технічній конференції «Автоматизація, електроніка, інформаційно-вимірювальні технології: освіта, наука, практика» (м. Харків, 01–02 грудня 2022 р.), XXVIII Всеукраїнській науковій конференції молодих істориків науки, техніки і освіти та спеціалістів «Історія науки і техніки у кризові періоди суспільного розвитку» (м. Київ, 14 квітня 2023 р.), XXII Всеукраїнській конференції «Актуальні питання історії науки і техніки» (м. Київ, 5–7 жовтня 2023 р.), 2023 IEEE 6th International Conference on Information and

Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo) (IEEE Autumn Kyiv Polytechnic Week), Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute (м. Київ, 13–18 листопада 2023 р.), XVI Міжнародній науково-технічній конференції студентів та аспірантів «Перспективи розвитку інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем» ПРІТС 2024 (м. Київ, 18 квітня 2024 р.), XXIX Всеукраїнській науковій конференції молодих істориків науки, техніки і освіти та спеціалістів «Наука для відбудови України» (м. Київ 19 квітня 2024 р.), Всеукраїнській науково-теоретичній конференції студентів та аспірантів «Україна і світ»: Гуманітарно-технічна еліта та соціальний прогрес» (м. Харків, 18–19 квітня 2023 р.), XXXII Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. (MicroCAD-2024) (м. Харків, 22–25 травня 2024 р.), XXIII Всеукраїнській конференції «Актуальні питання історії науки і техніки» (м. Київ, 10–12 жовтня 2024 р.), V Міжнародній науково-технічній конференції «Автоматизація, електроніка, інформаційно-вимірювальні технології: освіта, наука, практика» (м. Харків, 28–29 листопада 2024 р.), XXX Міжнародній науковій конференції молодих істориків науки, техніки і освіти та спеціалістів «Наука для справедливого миру в Україні» (м. Київ, 25 квітня 2025 р.), XXXIII Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. (MicroCAD-2025) (м. Харків, 14–17 травня 2025 р.).

Публікації. Основні положення та висновки дослідження викладено у 15 публікаціях, серед яких: 3 статті у наукових фахових виданнях України (категорія «Б»), 12 у матеріалах апробаційного характеру.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотації двома мовами, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і літератури, додатків. Загальний обсяг дисертації становить 200 сторінок: 5 рисунків по тексту; 9 таблиць по тексту; список використаних джерел і літератури – 354 найменування на 34 сторінках; 15 додатків на 35 сторінках. Обсяг основного тексту дисертації 166 сторінок.

РОЗДІЛ 1

СТАН НАУКОВОГО ОПРАЦЮВАННЯ, ДЖЕРЕЛЬНА БАЗА ТА
МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Стан наукового опрацювання

Відокремлення електровимірювальної техніки з електротехніки в самостійний напрям відбулося на межі XIX ст. та XX ст. Наслідком цього стало розширення електричних мереж, перехід від постійного струму до змінного, поява багатофазних систем. Все це вимагало точніших, надійніших і стандартизованих приладів. Прогрес електровимірювальної техніки зумовлений як розвитком фундаментальних наук (фізики, математики), так і здобутками в прикладних галузях та дисциплінах: електротехніці, електроніці, метрології та інформаційних технологіях. Подальше становлення електровимірювального приладобудування тісно пов'язано з впровадженням засобів автоматизації у технологічні процеси. Тому до історіографії становлення електровимірювальної техніки на теренах України упродовж другої половини XX ст. було залучено узагальнюючі праці з історії електротехніки, інформаційних технологій, фізики, метрології. Для всебічного розкриття теми дослідження було опрацьовано значний масив наукової літератури, зокрема монографій, статей у профільних періодичних виданнях.

Проведений історіографічний аналіз наявних публікацій стосовно формування та системної організації науково-виробничого кластеру електровимірювальної техніки в Україні у другій половині XX ст. дав змогу виокремити два хронологічні періоди: період радянської доби (1940-і рр. – 1991 р.) та сучасний період (після 1991 р.). Кожен із зазначених періодів має свої особливості, що вплинули на добір наукової літератури.

Класифікацію наукової літератури у кожному періоді здійснено за предметно-тематичною ознакою, що дало змогу виокремити групи праць із

різним змістовим спрямуванням. Наукову літературу першого хронологічного періоду розподілено на такі групи:

1) наукові дослідження з історії техніки, інженерної діяльності, наукові праці узагальнювального характеру, що висвітлюють еволюцію світових процесів розвитку фізики, електротехніки, електроніки;

2) праці, присвячені становленню електротехніки, електроприладобудування, розвитку методів електричних вимірювань, метрології та інформаційних технологій безпосередньо на теренах України;

3) ювілейні видання, присвячені історії розвитку вітчизняних науково-дослідних та навчальних осередків.

Для першої групи історіографії радянської доби залучено праці, що висвітлюють процес еволюції електротехнічної галузі, інженерної діяльності та світових процесів розвитку фізики, електротехніки, електроніки.

До цієї групи потрібно віднести праці іноземних авторів, які значно розширили історіографію періоду, що досліджується. Серед них можна виділити працю Т. Petersman, де автор розглянув історію техніки як самостійний науковий напрям в системі історичних, природничих і технічних наук та дослідив роль та вплив технологій на людську цивілізацію, включаючи критичний аналіз технологічних розробок та їхнього суспільного впливу [48].

Важливою для дослідження виявилася колективна монографія «A Chronological History of Electrical Development From 600 B.C.», де детально представлені фундаментальні події з історії електрики на основі хронологічного підходу [1]. Спробу проаналізувати взаємозв'язок між наукою та суспільством зробив англійський науковець John D. Bernal [8]. Він розкрив процеси виокремлення галузей, а також взаємодію науки й техніки в різні історичні епохи, наголошуючи на поступовому посиленні їхнього тісного зв'язку. Увага японського дослідника J. Takagi зосередилась на вивченні історії електричного устаткування [62]. До еволюції електровимірювальних приладів звернувся й Р. Н. Sydenham [61]. Дослідник окреслив роль вимірювальних приладів у технічному розвитку. Корисним для дослідження світового розвитку

електровимірювального приладобудування виявилася праця авторів J. T. Stock та D. Vaughan [58]. Дослідниками вивчено еволюцію засобів вимірювання електричного струму, наведено ілюстрації устаткування, схарактеризовано переваги та недоліки. Цікаві відомості з історії електровимірювальної техніки можна знайти у праці M. Lee. Marshall [37]. Автором досліджено витoki розвитку компанії з виробництва контрольно-вимірювальних приладів «Tektronix», яка розташована в США. Ця корпорація була створена у 1946 р. і займала передові позиції з випуску осцилографів у 1940-х – 1950-х рр.

До історіографії залучено матеріали періодичного видання «Popular Electronics» [49], у складі якого є окремий підрозділ з історії електроніки. Безпосередньому висвітленню основних досягнень в електроніці було відведено спеціальний випуск наукового видання «Electronics» 1980 р., де узагальнено визначальні віхи її розвитку за п'ятдесят років. [63]. Цей випуск був присвячений визначній події – створенню транзистора, що стало початком цифрової революції.

У ґрунтовній праці під загальною редакцією А. Г. Іосіф'яна [303] здійснено спробу дослідити проблематику розвитку різних напрямів електротехніки, зокрема електромашинобудування, електроенергетики, електровимірювальної техніки в межах СРСР. Коротко окреслено наукові здобутки дослідників УРСР. Тритомне видання під загальною редакцією Л. Д. Белькінда дає змогу встановити деякі факти з історії електровимірювальної техніки на теренах України, але тільки до початку 1950-х рр. [176]. Короткі відомості з розвитку електротехнічної галузі на теренах СРСР, у тому числі й в УРСР, можна отримати з публікації О. К. Антонова [90]. Автором окреслено досягнення різних напрямів електротехніки, у тому числі й електроприладобудування.

Спільною рисою цих праць є те, що внесок української науки вписано у контекст світових чи загальнорадянських тенденцій.

До другої групи історіографії радянської доби відносимо праці, які безпосередньо стосуються розвитку різних напрямів електротехніки,

електроприладобудування, методів електричних вимірювань, метрології та інформаційних технологій на теренах України. У цих роботах внесок українських вчених висвітлено, зокрема, крізь призму світової науки чи науки СРСР.

Окремої уваги заслуговує, публікація К. К. Хренова де конкретизовано внесок вітчизняних науковців, зокрема й у розвиток електротехніки [346]. Дослідником А. Ю. Голян-Нікольським вивчені досягнення українських учених та оцінений їхній внесок у світовий технічний прогрес [111]. Короткі відомості з розвитку електричних вимірювань, створення точніших електроприладів на основі електромагнітного принципу узагальнено у публікації О. М. Міляха та С. І. Кірпатовського [238]. Відомими українськими електротехніками О. М. Міляхом, І. М. Чиженком та А. К. Шидловським здійснена практично перша спроба вивчити розвиток електротехнічної галузі в Україні [239].

У другій половині 1970-х – на початку 1980-х рр. з'явилася низка наукових праць, де розглядалися різні аспекти становлення електровимірювального приладобудування в Україні. Це наукова розвідка у співавторстві завідувача кафедри вимірювальних пристроїв Київської політехніки П. П. Орнатського, де окреслено витoki розвитку та перспективи цифрової вимірювальної техніки [256]. Питання створення унікальної еталонної бази УРСР порушено у дослідженні Б. І. Барановського [93]. Автором представлено перелік еталонів, які зберігаються в Інституті метрології м. Харкова та інших наукових осередках, але поза увагою залишилися питання історії створення еталонної бази. Фрагментарно метрологічні аспекти вимірювальної техніки досліджували Ф. Б. Гриневич [119], С. Г. Таранов [131], Б. А. Грицко та В. Е. Довгопол [132; 133].

Окрему групу в історіографічній спадщині радянської доби становлять праці, присвячені питанням історії наукових та навчальних осередків України. Дослідна робота у напрямі електровимірювальних технологій проводилася науковими колективами відділів інститутів Академії наук УРСР, представниками відповідних кафедр закладів вищої освіти.

Розвиток академічної науки висвітлено у роботі О. В. Палладіна «Академія наук Української Радянської Соціалістичної Республіки 1919–1944» [84]. Автором розглянуто питання створення академії наук, подальший розвиток та напрями наукової діяльності, реевакуації інститутів до Києва. Тенденції та особливості розвитку науково-дослідної роботи в системі АН УРСР представлено у низці узагальнюючих праць. Це «Історія Академії наук Української РСР» у двох книгах під загальною редакцією Б. Є. Патона, Напрацювання В. В. Немошкаленка, М. В. Новікова, В. М. Пелиха, В. Ю. Тонкаля, Б. С. Стогнія [184]. Між тим питання розвитку електровимірювального приладобудування в них висвітлювалося поверхово або взагалі залишалося поза увагою.

Дослідна робота вищої технічної школи представлена низкою ювілейних видань до видатних дат технічних ВНЗ. Акцент у цих роботах робився на висвітленні періоду створення ВНЗ, формуванні системи навчання та діяльності кафедр. Незважаючи на певну заідеологізованість цих праць, створювалися вони авторськими колективами, які працювали безпосередньо у цих закладах на основі використання маловідомих джерел. Що додає цінності цим виданням. Проте ювілейні видання з історії науково-навчальних осередків висвітлюють лише окремі аспекти досліджуваної проблеми.

Другий період – історіографія незалежної України характеризується формуванням принципово нових підходів до розробки концепції національної історіографії. Ознакою цього періоду є збільшення наукових досліджень з історії вітчизняної науки й техніки, зокрема, еволюції електровимірювальної техніки. Напрацювання цього періоду можна поділити на такі групи:

1. Узагальнювальні праці з історії техніки, електротехніки, електроніки, фізики, інформаційних технологій, де подано витoki розвитку світової науки і техніки;
2. Праці з розвитку електроприладобудування, електричних вимірювань, стандартизації та метрології, методів вимірювання на теренах України;
3. Напрацювання, спрямовані на вивчення життя та діяльності

особистостей у контексті історичних, соціальних і культурних процесів.

4. Ювілейні видання з історії наукових та навчальних установ, підприємств, кафедр.

5. Спеціальні історико-технічні дослідження.

Першу групи другого історіографічного періоду становлять праці, які дають змогу вивчити світовий досвід формування електровимірювальної техніки. Наукове видання автора Joseph F. Keithley розкриває розвиток електричних вимірювань, починаючи від досліджень давньогрецьких учених і до винахідників початку XX ст. [33] У праці особливу цінність становлять наукові біографії видатних електротехніків, серед яких Г. Ом, А. Ампер, Ж. Фур'є та інші. Видання також містить рідкісні фотографії, зібрані з музейних фондів різних країн світу.

Становлення різних напрямів світового електроприладобудування представлено низкою видань. Так, у ґрунтовній монографії Giovanni Becattini вивчено особливості створення різних типів осцилографів [19]. Автор акцентує увагу на тому, що винахід осцилографа став визначальною подією у розвитку електротехніки та радіотехніки й сприяв появі більш сучасних засобів зв'язку, автоматизації та обчислювальної техніки. Інша праця згаданого дослідника присвячена вивченню історії електровимірювального обладнання крізь призму багатьох класичних приладів компанії Hewlett-Packard упродовж 1950–1990-х рр. [20]. У виданні наведено характеристики та описано роботу спектральних аналізаторів, осцилографів, вольтметрів, частотомірів, генераторів, а також засобів обчислювальної техніки. Історію розвитку осцилографів доповнює праця Oliver Dalton and Lionel Kreps, де окреслено процес створення аналогового катодно-променевого осцилографа [44]. волюцію транзисторної техніки досліджували Arokia Nathan, Samar K. Saha, Ravi M. Todi [5]. У їхній праці відповідно до хронологічного принципу висвітлено знакові події та винаходи, на основі чого створено періодизацію транзисторної техніки. Запропоновано чотири етапи: перший – розвиток електроніки до появи твердотільних транзисторів, до 1947 р.; другий – винахід біполярного

транзистору та становлення напівпровідникової промисловості, до 1965 р.; третій – інтеграція та розвиток транзисторної техніки до 1974 р.; четвертий – поява нових інформаційних технологій зберігання даних, до 1989 р. Однак всі ці праці висвітлюють становлення різних типів електровимірювального устаткування, що не дає цілісної картини розвитку електровимірювальної техніки.

Значна частина праць зарубіжних дослідників присвячена історії найвідоміших винаходів у галузі електротехніки. Дослідження Ambrose John [2] присвячено сторіччю зі дня створення термоелектронного діода (першої електронної лампи), відкриття Д. Флемінга. Наукова розвідка W. Mathis [40], присвячена сторіччю з дня відкриття нового типу електронної схеми, яку в 1919 р. Абрахам і Блох назвали мультівібратором, а Екклз і Джордан – тригерним реле.

Еволюцію інформаційних систем, починаючи від появи перших обчислювальних та керуючих комплексів у 1960-х рр., досліджено у публікації William H. DeLone та Ephraim R. McLean [77]. Авторами розроблено періодизацію розвитку управлінських інформаційних структур, де виокремлено п'ять основних етапів відповідно до визначальних зрушень у сфері обробки даних. Цей підхід дозволяє глибше зрозуміти логіку інтеграції обчислювальних засобів у структуру тогочасних інформаційно-вимірювальних систем. Корисним для дослідження виявилася праця Jones Barry з історії розвитку вимірювальної промисловості Великобританії та Німеччини [32]. Автором проведено порівняльний аналіз показників вимірювальної промисловості Великої Британії та Німеччини упродовж 1980–2010 рр. На основі чого доведено, що німецька галузь демонструвала значне зростання, більшу інноваційність та комерційний успіх у виробництві вимірювального обладнання та давачів. У Великій Британії, водночас, спостерігається суттєвий дефіцит кваліфікованих фахівців у галузі вимірювань. Публікацію посилено прикладами інновацій різних країн Європи, окреслено сфери їх застосування.

Окрему групу становлять історіографічні напрацювання, присвячені

безпосередньо розвитку електротехнічної науки, вимірювальної техніки, інформаційних технологій в Україні. Серед них заслуговує уваги науковий доробок з історії інформаційних технологій України відомого фахівця у галузі комп'ютерної науки і техніки, члена-кореспондента Національної академії наук України Б. М. Малиновського [230; 231]. Це ґрунтовні праці, присвячені історії розвитку інформаційних технологій в Україні, оцінці внеску вітчизняних науковців, представників Інституту електротехніки та Інституту кібернетики АН УРСР у розвиток світового технічного прогресу. Однак незважаючи на те, що в Інституті електротехніки вже діяв відділ електричних вимірювань, автор приділив цій проблемі мало уваги.

У цей період з'явилася низка робіт українських дослідників, що показують історію формування різних науково-технічних напрямів на теренах України, пов'язаних з галуззю електротехніки. До їхнього числа можна віднести дослідження Л. Г. Хоменка з історії вітчизняної кібернетики [343]; монографію І. О. Анненкова, де на тлі науково-технічного та соціально-економічного розвитку українського суспільства розкрито особливості формування електромашинобудування [87]; наукова розвідка І. В. Сергієнка, присвячена становленню інформатики [181].

Залучення праць з історії метрології, стандартизації та сертифікації сприяло глибшому розумінню еволюції методів вимірювання, вимірювальних одиниць. У фундаментальній праці Б. А. Грицька головна увага приділяється дослідженням еволюції систем мір, ваги та методів вимірювання на теренах України [132]. Автором узагальнено і систематизовано основні події з розвитку метрології від найдавніших цивілізацій до початку 2000-х рр., описано вплив міжнародних метрологічних систем на формування вітчизняних мір та створення метрологічних установ. Більш широко розвиток метрології досліджено у монографії О. Л. Храмової-Баранової [344]. Авторка висвітлила питання передумови розвитку метрології, етапи формування досліджень з прикладної метрології та інституційне оформлення теоретичної метрології на теренах

України. Однак електровимірвальне приладобудування залишилося поза увагою дослідниці.

Важливе місце історіографії обраної проблеми посідають праці, безпосередньо присвячені розвитку електроприладобудування. Практично вперше порушено питання розвитку приладобудування в умовах радянської економіки та науково-технічної політики у наукових розвідках авторки Н. Г. Анненкової [88]. Однак у дослідженнях акцентовано увагу на особливості управління приладобудівною галуззю в умовах централізованої радянської системи господарювання. Детальніше приладобудівний комплекс як складову машинобудівної промисловості України досліджено у монографії Н. Г. Анненкової, І. Є. Александрова, Л. М. Бєсова [242]. Незважаючи на те, що окремий розділ присвячений еволюції приладобудування, науковий доробок представників інститутів АН УРСР, ВНЗ висвітлено фрагментарно. У монографії О. Є. Тверитникової систематизовано фактологічні матеріали, що висвітлюють процес становлення електровимірвальної техніки [321]. У роботі проаналізовано процес підготовки як інженерів, так і наукових кадрів. Зокрема, історію появи відповідної спеціальності та профільних кафедр у провідних політехнічних ВНЗ. Попри це, питання організації діяльності приладобудівних підприємств та формування їхньої виробничої номенклатури досі залишаються малодослідженими.

Публікацію М. М. Дорожовця, О. В. Івахіва та Б. І. Стадника присвячено становленню метрології у Львівській політехніці упродовж 1940–1950-х рр. [15]. Особливу цінність становить інформація про відновлення наукових досліджень та навчального процесу у перші повоєнні роки. Детально висвітлено діяльність завідувачів кафедри електротехнічної метрології, а також розглянуто основні напрями досліджень і найважливіші наукові здобутки кафедри.

Окрему групу в історіографії становлять дослідження, присвячені життєвому та творчому шляху видатних постатей науки. Для з'ясування витоків електровимірвальної техніки вагоме значення мають наукові розвідки, у яких проаналізовано діяльність провідних електротехніків минулого та вчених другої

половини ХХ ст. Зокрема, у праці, присвяченій ювілею академіка Ф. Б. Гриневича, висвітлено здобутки науковця у створенні теоретичних і практичних основ цифрових і аналогових приладів, а також в автоматизації високоточних вимірювань комплексних електричних величин [145].

Ще один історіографічний напрям становлять праці з історії науково-дослідних та навчальних установ. Залучення цих публікацій дало змогу вивчити еволюцію організаційних структур закладів, методів роботи, формування системи підготовки кадрів, витoki створення наукових шкіл. В цей хронологічний період спостерігається зростання наукового інтересу до діяльності установ НАН України [183]. Крім праць історії академії наук, з'явилися роботи, присвячені діяльності ІЕД НАН України [208]. Розвиток вищої технічної школи представлено у низці ювілейних видань з історії технічних університетів. Так, у виданні з історії НТУУ «КПІ» узагальнено фактичний матеріал, корисний для реконструкції досліджень в галузі електроприладобудування університету [171].

Низку питань, пов'язаних з організацією кафедр електричних вимірювань, розвиток наукової роботи, створення системи навчання досліджено у публікаціях з історії відповідних кафедр. Детальний нарис з історії кафедри інформаційно-вимірювальних технологій Львівської політехніки дає змогу встановити спадкоємність поколінь наукової школи електричних вимірювань університету [200].

Розвиток електровимірювального приладобудування у промисловому секторі висвітлено у виданнях з історії підприємств. Вагоме наукове значення для дослідження має праця, присвячена історії становлення багатoproфільного підприємства у Житомирі, яке спеціалізувалося на випуску електровимірювальних приладів та обладнання військового призначення. У цьому дослідженні проаналізовано особливості організації заводу та діяльності його трудових колективів. Крім того, узагальнено матеріали щодо номенклатури електровимірювальної продукції, а також зафіксовано відомості про інженерів-розробників [248].

Окрему групу становлять спеціальні історико-технічні дослідження, присвячені різноманітним проблемам, які частково стосуються історії електричних вимірювань та вимірювальних приладів. Робота О. Л. Храмової-Баранової присвячена розвитку вимірювальної техніки в Україні, однак охоплює лише останню чверть ХХ ст. [306]. У дисертаційному дослідженні Н. Г. Анненкової увагу акцентовано на розвитку приладобудівної галузі у 1980-х рр., коли цей напрям мав фундаментальне значення для забезпечення промисловості засобами автоматизації, контролю та вимірювань [182]. Дисертація І. Ю. Ляшуги зосереджена на проблемах створення еталонної бази України за часів незалежності, і розвиток електричних вимірювань окреслено фрагментарно [245]. У роботі О. В. Лавриненко досліджено становлення теоретичної електротехніки і приділено увагу електричним вимірюванням, зокрема становленню напрямку у львівській політехніці [318].

Отже, відсутність спеціальних монографічних досліджень, які б системно поєднували наукові, організаційні та виробничі аспекти функціонування електровимірювальної техніки в Україні у зазначений період, підтверджує актуальність дослідження. Наявний доробок не дає цілісної відповіді на питання про закономірності формування та системну організацію цієї стратегічно важливої сфери у другій половині ХХ ст.

1.2 Джерельна база дослідження

Формування джерельної бази відбувалося на основі залучення різноманітних за походженням, формою, змістом, характером, структурою та ступенем достовірності джерел. Міждисциплінарний характер роботи зумовив потребу в опрацюванні не лише масиву історико-документальних джерел, а й спеціалізованих технічних джерел, зокрема фахових науково-технічних публікацій, нормативних документів, довідкових видань, каталогів електровимірювальних приладів та патентної інформації. Сукупність історичних джерел, що репрезентують еволюцію електровимірювальної техніки в Україні,

було систематизовано і класифіковано на такі групи: писемні та зображальні джерела, електронні ресурси.

Найбільшу групу становлять матеріали й документи першої групи (писемні), зокрема документи офіційного діловодства з архівних та музейних фондів; фахові науково-технічні праці з проблем різних напрямів електротехнічної, приладобудівної галузі та електроніки; опубліковані нормативні документи, такі як стандарти, авторські свідоцтва, патенти, довідкові видання та каталоги електровимірювальних приладів.

Документи центральних та обласних архівів слугують найбільш надійним та об'єктивним джерелом фактичного матеріалу. До джерельної бази було залучено фонди Центрального державного архіву Вищих органів влади і управління України (ЦДАВО України), у якому досліджено матеріали 4 фондів, зокрема Ф. 4621 Міністерства вищої освіти України, м. Київ [157; 165–168; 177]. Корисними для дослідження виявилися матеріали справи № 136 «Документи (доповідні записки, довідки, пропозиції) про стан та поліпшення науково-дослідної роботи в вузах МВССО УРСР за 1959 р.», що дали уявлення про змістовність науково-дослідної роботи технічних ВНЗ, здобутках окремих кафедр та результативність впроваджень у серійне виробництво вимірювального устаткування [150]. Практичну цінність представляють справи фонду Ф. 5134, де зберігаються матеріали про роботу секції приладобудування та республіканських наукових семінарів. Ці заходи проводились Республіканським будинком економічної та науково-технічної пропаганди товариства «Знання» УРСР спільно з КПІ, Київським міським правлінням НТО «Приладпром». Тематика семінарів була присвячена перспективним напрямам розвитку електроприладобудування, теоретичним і методологічним питанням підвищення точності, чутливості та швидкодії вимірювальних приладів та систем [154–157; 298]. Всього в ЦДАВО України було опрацьовано 15 справ 4-х описів 3-х фондів.

Важливу інформацію містять документи фонду Ф. Р-308, описів № 10, № 12, № 26 Державного архіву м. Києва (ДАК), де було опрацьовано звіти з НДР

факультетів та кафедр КПІ [269–275; 277]. Ознайомлення з цими документами допомогло встановити сфери наукових інтересів професорсько-викладацького складу кафедр, склад кафедр і дослідних груп, визначити керівників наукових тем, систематизувати тематику дисертаційних робіт аспірантів, що було корисним для ідентифікації наукової школи кафедри електроприладобудування КПІ. Аналіз історичної довідки про роботу кафедри електричних вимірювань, електроматеріалів та світлотехніки у 1920–1947 рр. дав змогу виявити маловідомі імена дослідників у царині електричних вимірювань, які активно розбудовували науковий напрям [219]. Всього опрацьовано 17 справ фонду Р-308.

Докладному розглядові піддана документація, яка зберігається у фондах Р-1270 – Київське виробниче об'єднання «Електроприлад» Міністерства приладобудування, засобів автоматизації та систем управління СРСР. 1943–1991 рр.; Р-1301 – Київський завод «Радіовимірювач» Міністерства радіопромисловості СРСР. 1944–1962 рр.; Р-1402 – Київське виробниче об'єднання «Точелектроприлад» Всесоюзного об'єднання «Союзелектроприлад» Міністерства приладобудування, засобів автоматизації та систем управління СРСР і його профспілковий комітет. 1939, 1943–1991 рр.; Р-1484 – Київський науково-дослідний інститут мікроприладів Київського виробничого об'єднання «Кристал» Міністерства електронної промисловості СРСР та його профспілковий комітет. 1966–1982 рр.; Р-1557 – Київський завод «Радіоприлад» імені С. П. Корольова Міністерства радіопромисловості СРСР. 1954–1972 рр. Державного архіву м. Києва. Зокрема, листування з Міністерством електропромисловості СРСР з питань планів випуску та номенклатури електровимірювальних приладів, показники роботи, звіти з дослідно-конструкторської та науково-дослідної роботи, звіти про виконання плану розвитку та впровадження нової техніки провідних приладобудівних підприємств надали можливість визначити значущість внеску вітчизняних вчених у створення високоточних приладів, що використовувалися у промисловості та наукових дослідженнях.

В Інституті архівознавства Національної бібліотеки України імені В. І. Вернадського НАН України (ІА НБУ імені В. І. Вернадського НАН України), опрацьовано 14 справ фонду Ф. 131 [223; 224; 249; 261]. Цей комплекс архівних документів, що охоплює період з 1938 р. по 1974 р., є безцінним першоджерелом для реконструкції життя та діяльності видатного вченого А. Д. Нестеренка. Корисними для дослідження виявилися технічні інструкції (1938–1944 рр.), які засвідчують оригінальні винахідницькі розробки А. Д. Нестеренка в умовах Другої світової війни та повоєнної відбудови [180]. Матеріали фонду дозволяють не лише деталізувати етапи біографії вченого, а й глибше осмислити процеси становлення української школи електровимірювального приладобудування в контексті радянської академічної науки середини ХХ ст.

Фонд Ф. 263 ІА НБУ імені В. І. Вернадського НАН України містить збірку звітів з науково-дослідної роботи Інституту електротехніки АН УРСР у тому числі і відділу електричних і магнітних вимірювань [103–107; 109]. Аналіз науково-технічних звітів дозволив структурувати головні вектори досліджень науковців інституту з розроблення електровимірювальної техніки. Ці документи дають змогу встановити пріоритетність розробок вітчизняних фахівців, визначити тенденції до інтеграції науки, а також дослідити механізми впровадження наукових здобутків у серійне та масове виробництво. Матеріали про наукові зв'язки Інституту електродинаміки АН УРСР розкривають географію комунікацій колективу, зокрема А. Д. Нестеренка, та демонструють їхню роль як консультантів і експертів для важливих промислових підприємств. Всього опрацьовано 11 справ фонду Ф. 263.

З архіву Президії НАН України до джерельної бази дослідження залучено матеріали особових справ членів-кореспондентів АН УРСР К. Б. Карандєєва [265], А. Д. Нестеренка [266], Ф. Б. Гриневича [264] та С. Г. Таранова [263], які сприяють дослідженню історії науки крізь призму вивчення біографій науково-технічної спільноти. Кожна особова справа – це не просто біографічна довідка, а комплекс первинних документів, що відображає професійний шлях,

адміністративні процеси та наукові досягнення провідних учених. Документи містять автобіографії, подання, списки наукових праць, довідки про роботу, які є первинною основою для створення наукових біографій. Інформація про учнів та аспірантів дала змогу реконструювати процес формування наукових шкіл у сфері метрології та електровимірювальної техніки. Матеріали цих особових справ є взаємодоповнюваними, оскільки всі четверо вчених працювали у сфері електровимірювальної техніки, що створює підґрунтя для порівняння сфер їхніх наукових інтересів, кар'єрного зростання, дослідницьких пріоритетів та взаємовідносин у межах однієї професійної спільноти.

Цінним для дослідження стало залучення матеріалів з архіву Інституту кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України (архів ІК НАН України). Річні звіти з наукової та науково-організаційної діяльності інституту дозволяють встановити науковий доробок інституту, імена науковців, які забезпечували інноваційний розвиток електровимірювальної техніки в Україні та СРСР. Електровимірювальна техніка не була основним предметом наукових інтересів дослідників ІК АН УРСР. Водночас розвиток кібернетики та поява ЕОМ суттєво прискорили прогрес у сфері електричних вимірювань, зумовивши, зокрема, проектування автоматизованих інформаційно-вимірювальних систем. Звіт за темою «Разработка практических методов синтеза измерительных устройств с использованием ЦВМ» демонструє процес інтеграції обчислювальної техніки та кібернетичних методів у вимірювальні пристрої [280]. Проміжний звіт з теми ДЕ-0470.002 описує розроблення базових компонентів, без яких неможливе функціонування цифрової вимірювальної техніки, зокрема новітніх цифро-аналогових перетворювачів [309]. Реалізацію теоретичних досліджень в автоматизованих інформаційно-вимірювальних системах ілюструє робочий проект такої системи [302]. Аналіз документів архіву ІК АН УРСР дозволяє констатувати, що в Україні активно формувалася теоретична та прикладна база для створення новітньої комп'ютеризованої вимірювальної техніки.

Додаткову інформацію, яка підсилює конкретику досліджуваної теми, одержано в результаті опрацювання особових справ викладачів, професорів і

документів як особистого, так і офіційного характеру, які зосереджені в музеях НТУ «ХПІ», Інституту кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України, а також мемуарної літератури та рукописів, макетів устаткування, електровимірювальних приладів які зберігаються в музеї кафедри «Інформаційно-вимірювальні технології» (ІВТ, до 2025 р. – інформаційно-вимірювальних технологій і систем) НТУ «ХПІ». Особливу цінність має нарис з історії кафедри інформаційно-вимірювальних технологій і систем НТУ «ХПІ» за авторством колишнього завідувача кафедри професора С. І. Кондрашова, де окреслено основні етапи становлення науково-педагогічної школи кафедри [213].

Аналіз цієї групи джерел дозволив доповнити біографії вчених ХПІ маловідомими й новими фактами. Використання цих матеріалів у дисертації сприяє кращому розумінню особистості кожного науковця.

Важливою складовою джерельної бази є зображувальні документи. Колекція фотознімків візуалізує професійну траєкторію дослідника, фіксуючи його участь у міжнародних конференціях, наукових заходах, формальних і неформальних зустрічах із провідними фахівцями науки і техніки. Ці візуальні свідчення є незамінними для аналізу соціальних зв'язків науковця, визначення рівня інтеграції вітчизняних технічних розробок у тогочасний світовий науковий простір. У фондах музею кафедри ІВТ НТУ «ХПІ» зберігається значний масив фотографій, що відображають оснащення лабораторій, експериментальне устаткування та зразки електровимірювальної апаратури. Ці матеріали дають змогу простежити здобутки науково-дослідного колективу кафедри ІВТ та оцінити його внесок у розвиток електровимірювальної техніки.

Необхідною складовою джерельної бази виявилися наукові праці фахівців з електровимірювальної техніки. Опрацювання монографій та праць провідних науковців мало важливе значення для з'ясування головних етапів еволюції електротехнічної галузі на теренах України. Так, низку інноваційних технологій розглянуто у працях К. Б. Карандєєва. Зокрема, учений вперше обґрунтував принципи, що стали основою метрологічної класифікації методів електричних вимірювань, заснованої на фізичних, а не конструктивних ознаках. У цих

дослідженнях також сформульовано основні визначення мети та об'єкта вимірювання, вимірювального процесу, методу й виду вимірювання. Встановлено три основні класифікаційні ознаки за способом порівняння зі зразковою мірою, за способом проведення експерименту порівняння та за технікою вимірювання, а також їх подальший розподіл на групи. Отже, К. Б. Карандєєв узагальнив, систематизував і класифікував значний масив наукових знань, сформувавши базове теоретичне підґрунтя електровимірювальної техніки [192].

Розвиток мостових засобів вимірювання можна дослідити завдяки працям К. Б. Карандєєва, Ф. Б. Гриневича, А. Д. Нестеренка. Так, у своїй монографії, К. Б. Карандєєв запропонував загальну математичну теорію та методи розрахунку класичних мостових схем, закладаючи фундамент для проєктування точних електровимірювальних приладів [191]. У роботі за загальною редакцією К. Б. Карандєєва [124] описані мостові трансформаторні вимірювальні пристрої змінного струму, розглянуто питання загальної теорії мостових схем з індуктивним зв'язком, надано рекомендації щодо розробки елементів мостових пристроїв, наведено практичні схеми трансформаторних вимірювальних мостів. Огляд методів, схем та приладів для електричних вимірювань, основні характеристики схем та приладів урівноважування, похибки схем та приладів урівноважування, чутливість мостових схем, умови отримання максимальної чутливості розглянуто в роботі А. Д. Нестеренка [250].

Низка ґрунтовних праць професора К. І. Діденка з впровадження, перевірки й застосування агрегатного комплексу технічних засобів для локальних інформаційно-керуючих систем дають змогу визначити новий етап у розвитку інформаційно-вимірювальних систем [140; 141; 143]. У монографії науковця розглянуто питання створення, впровадження та застосування в автоматизованих системах управління технологічним процесом нового покоління технічних засобів автоматизації агрегатного комплексу КТЗ ЛІКС. Розроблений з використанням інтегральних мікросхем та мікропроцесорів комплекс КТЗ ЛІКС розглядається, як сучасна технічна база для локальних

інформаційно-керуючих систем та нижнього рівня промислових ієрархічних автоматизованих систем управління [142].

Фундаментальна праця П. П. Орнатського, присвячена систематизації теоретичних основ інформаційно-вимірювальної техніки та метрологічного забезпечення, стала підґрунтям для визначення меж наступного періоду в розвитку галузі [259].

Як складова джерельної бази використовувалися періодичні науково-технічні видання в галузі приладобудування, як-от: журнал «Електрика», який почав виходити ще у 1880 р., і на сторінках якого публікувалися відомі вчені України та зарубіжжя; фаховий науковий журнал «Технічна електродинаміка» ІЕД; науково-теоретичний журнал «Доповіді Академії наук Української РСР»; «Наукові записки» Інституту машинознавства та автоматики Академії наук УРСР і періодичні науково-технічні видання, а саме: «Доповіді Львівського політехнічного інституту», «Наукові записки» Львівського політехнічного інституту, «Контрольно-вимірювальна техніка: республіканський міжвідомчий науково-технічний збірник» (Львівський політехнічний інститут), збірники наукових праць «Вісник Львівського політехнічного інституту», «Вісник Харківського політехнічного інституту», «Вісник Київського політехнічного інституту. Серія приладобудування», які містять публікації про нові розробки в царині точного приладобудування, метрології, автоматизації та інтелектуалізації контрольно-вимірювальних пристроїв [190; 195].

Доповненням джерельної бази дослідження слугувала низка державних стандартів, що регламентують норми, правила та вимоги до різних видів електровимірювальної продукції [138]. Ці нормативні документи стали важливими для розуміння технічних характеристик електровимірювальних приладів, що використовувалися упродовж ХХ ст., дали змогу простежити еволюцію термінології у різні історичні періоди, провести порівняльний аналіз змін вимірювальної практики. Зокрема, згідно з ГОСТ 12997-67, Державна система промислових приладів та засобів автоматизації (ДСП) – це експлуатаційно, інформаційно, енергетично, метрологічно та конструктивно

організована сукупність засобів вимірювання, автоматизації й керуючої обчислювальної техніки, а також програмних засобів, призначених для побудови автоматичних і автоматизованих систем вимірювання, контролю, регулювання, діагностики та управління [112].

До джерельної бази залучені довідники [175; 246] та каталоги [173; 295], де узагальнена інформація з номенклатури електровимірювальної продукції.

Систематизація патентів та авторських свідоцтв сприяла виявленню етапів розвитку електровимірювальної техніки та встановленню значущості внеску вітчизняних учених у світовий розвиток цієї сфери. Так, закордонні патенти Франції (№ 2531540) та США (№ 4451783), отримані колективом авторів під керівництвом А. К. Шидловського та С. Г. Таранова, дозволили юридично закріпити світовий пріоритет у розробці методів та пристроїв для вимірювання симетричних складових напруги у багатофазних мережах. Ці рішення стали технологічним фундаментом для побудови систем контролю якості електроенергії, що відповідають міжнародним стандартам [350; 351]. Водночас, авторські свідоцтва СРСР, зокрема розробки Ф. Б. Гриневича (А.с. № 174261, № 230965) та його колег А. І. Новика і А. В. Чеботарьова (А.с. № 175126, № 331319), заклали теоретичну та апаратурну базу для створення прецизійних мостів змінного струму. Їхні винаходи щодо автоматичного зрівноважування цифрових екстремальних мостів та вимірювання комплексних опорів забезпечили перехід від ручних методів вимірювання до автоматизованих високоточних систем, що на десятиліття визначило вектор розвитку вітчизняного приладобудування [80; 82; 83].

Сучасний розвиток інформаційних технологій сприяв застосуванню таких джерел інформації, як офіційні веб-сайти науково-дослідних інститутів, закладів вищої освіти, кафедр, інформація з яких частково стосується розвитку електровимірювальної техніки та інформаційно-вимірювальних систем. Опубліковані документи, історичні довідки установ, звіти з науково-дослідних робіт було проаналізовано стосовно ролі вчених вищих технічних навчальних закладів у розвитку електровимірювальної техніки. Опрацьовано матеріали з

офіційних сайтів ІЕД НАН України [185], Інституту кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України [179], кафедри інформаційно-вимірювальних технологій НУ «Львівська політехніка» [187], кафедри інформаційно-вимірювальних технологій НТУУ «КПІ імені І. Сікорського» [243], кафедри інформаційно-вимірювальних технологій НТУ «ХПІ» [186].

Ще одним електронним ресурсом стали матеріали сайту «Oral-History: Japanese Engineers». Цікавим для розуміння тенденцій розвитку електровимірювальної техніки в світовому контексті та порівняння з досягненнями українських вчених є проєкт «Усна історія: японські інженери» Центр історії IEEE та Комітет історії IEEE Japan співпрацювали у проєкті із запису та редагування усних історичних інтерв'ю з видатними японськими інженерами-електриками та менеджерами. Інтерв'ю проводилися англійською в 1994 р. Вільямом Аспреєм [46].

Отже, сформована джерельна база дослідження, яка охоплює як історико-документальний масив, зокрема архівні фонди, рукописи та матеріали музейних колекцій, так і спеціалізований сегмент технічних джерел, а саме: фахові науково-технічні публікації, нормативні документи, довідкові видання, каталоги електровимірювальних приладів, авторські свідоцтва та патенти, дозволила комплексно висвітлити предмет дослідження. Системне поєднання цих різнопланових матеріалів забезпечило високий ступінь репрезентативності та об'єктивності аналізу. Такий підхід дав змогу не лише реконструювати хронологію подій, а й глибоко проаналізувати системну організацію електровимірювальної техніки в Україні як складного науково-виробничого процесу у визначений період.

1.3 Методологія дослідження

Дисертаційне дослідження базується на теоретико-методологічних засадах історизму, об'єктивності, системності, всебічності, наступності та конкретності. Комплексність вивчення особливостей формування й системної організації

науково-виробничого кластеру електровимірювальної техніки на теренах України другої половини ХХ ст. забезпечено органічним поєднанням загальнонаукових та спеціальних історичних методів.

Застосування принципу історизму щодо окресленої теми передбачає розгляд електровимірювальної техніки у динаміці, з урахуванням конкретно-історичних умов, що визначали зміст і напрями розвитку цієї сфери. Цей принцип дозволяє простежити еволюцію науково-технічних, організаційних та виробничих засад у межах науково-технічної політики СРСР та УРСР, а також у зв'язку зі змінами політичного, економічного й соціального контексту другої половини ХХ ст. Зокрема, це дає змогу встановити межі кожного етапу розвитку. Так, післявоєнна відбудова промисловості та розгортання електрифікації потребували налагодження масового виробництва таких приладів, як амперметри, вольтметри, омметри для енергетичної галузі; приладів точного контролю для оборонної та ракетно-космічної галузей, а також вимірювальних автоматизованих комплексів. Як наслідок, були організовані великі спеціалізовані підприємства у Харкові, Львові та Києві.

Принцип об'єктивності було застосовано протягом усієї роботи. Проведене дослідження базувалося на залученні достовірних даних науково-технічних звітів, статистичної інформації та показників діяльності спеціалізованих кафедр закладів вищої освіти. З'ясувати передумови формування вітчизняного приладобудівного комплексу дозволив аналіз джерел, які свідчать що значна залежність України до середини ХХ ст. від імпорту електровимірювальних приладів зумовила об'єктивну необхідність розвитку власної промислової бази.

Одним з основних орієнтирів історико-технічних розвідок є принцип системності. Його застосування дало змогу розглянути сферу електровимірювальної техніки не як нагромадження розрізнених фактів, а як цілісну структуру, що має внутрішні закономірності розвитку та взаємодіє з ширшим науково-технічним і соціально-економічним середовищем. У такому контексті ця сфера в Україні другої половини ХХ ст. постає як складна система, що

об'єднує науку, промисловість та освіту. Це підтверджується активізацією досліджень в установах АН УРСР, зокрема в Інституті електродинаміки та Інституті кібернетики, а також на профільних кафедрах технічних вишів і в конструкторських бюро, діяльність яких була нерозривно пов'язана з виробництвом. Крім того, здійснювалася планомірна підготовка інженерних кадрів та було створено державну систему стандартизації і метрології для забезпечення високої якості та уніфікації у приладобудуванні. Принцип системності охоплює аналіз зовнішніх факторів на розвиток наряду. Так, застосування принципу системності дозволило проаналізувати вплив зовнішніх чинників науково-технічної революції на розвиток приладобудування, де визначальним фактором став інтенсивний розвиток мікроелектроніки та поява мікропроцесорів. Завдяки розробці та запуску в серійне виробництво фахівцями НВО «Кристал» 8- та 16-розрядних мікропроцесорів вітчизняні науковці змогли подолати технологічний розрив і забезпечити інтелектуалізацію засобів вимірювання. Перехід до цифрових приладів із вбудованими мікропроцесорними системами зумовив трансформацію навчального процесу, системи підготовки як інженерних, так і наукових кадрів, зокрема на кафедрі ВІТ ХПІ було впроваджено низку нових дисциплін з мікропроцесорної схемотехніки та створено одну з перших у країні спеціалізованих лабораторій на базі навчально-обчислювального комплексу «МікроДАТ», що дозволило поєднати теоретичне навчання з практичним опануванням новітньої мікропроцесорної бази.

Принцип всебічності вимагає розгляду об'єкта дослідження через взаємодію технічних, економічних та освітніх чинників, що визначали вектор розвитку електровимірювальної техніки. Прикладом є перехід від лампової до напівпровідникової елементної бази наприкінці 1950-х рр., що зумовив не лише радикальне зменшення енергоспоживання та габаритів устаткування, а й зміну методів проєктування та компонування вузлів. Це мало безпосередній вплив на конструкторські рішення Львівського науково-дослідного радіотехнічного інституту, який саме в цей час освоював запровадження серійного випуску портативних приладів. Водночас згідно з принципом всебічності, стрімке

оновлення технологій розглядається в контексті адаптації системи підготовки кадрів: коригування навчальних планів та впровадження нових дисциплін. Логічним наслідком цього процесу стало видання К. С. Полуляхом першого в СРСР підручника, присвяченого фундаментальному аналізу електронних схем на основі напівпровідникових приладів, зокрема транзисторів, що забезпечило методичну базу для підготовки інженерів нового профілю.

Принцип наступності у дослідженні було застосовано при ідентифікації наукових вітчизняних шкіл у царині електровимірювальної техніки. Зокрема, встановлено, що Київська наукова школа з методів підвищення точності вимірювальних пристроїв, яка остаточно сформувалася в КПІ у 1970-х рр., ґрунтувалася на фундаментальних здобутках академіка А. Д. Нестеренка. Ще у 1930-ті рр. ним було закладено організаційне та теоретичне підґрунтя напряму, що включало створення підприємства на базі майстерень КПІ та розроблення широкого спектра продукції: приладів електродинамічної, електростатичної та феродинамічної систем, а також еталонних мір опору, ємності та індуктивності. Львівська наукова школа з теорії електричних вимірювань та вимірювальних інформаційних систем, відома своїми розробками у сфері мостових методів, засновувалася на діяльності К. Б. Карандєєва. Наступність цієї школи простежується через наукову діяльність його учня Ф. Б. Гриневича, який продовжив розвивати та вдосконалювати мостові методи вимірювань в Інституті електродинаміки АН УРСР. Наступність у Харківській науковій школі електровимірювального приладобудування пов'язана з діяльністю професора К. С. Полуляха в ХПІ. Започаткований ним інноваційний напрям цифрових вимірювальних приладів став теоретичним фундаментом для нових наукових пошуків. Зокрема, ці ідеї знайшли розвиток у працях С. М. Терентьєва з оптимізації систем цифрової передачі сигналів та К. І. Діденка щодо розроблення комплексних мікропроцесорних засобів диспетчеризації, автоматики й телемеханіки.

Принцип конкретності вимагає урахування конкретних подій як соціальних, так і економічних, новітніх технічних проєктів, параметрів,

нормативних документів, що визначали динаміку розвитку електровимірювальної техніки. Зокрема, важливим чинником став державний контроль за асортиментом продукції: у листі Міністерства електропромисловості СРСР від 1951 р. до керівництва заводу № 786 п/с 58 було визначено необхідність нарощування випуску астатичних приладів класів точності 0,2 та 0,5, мостів для вимірювання діелектричних втрат та контрольно-вимірювальних приладів. Конкретика цього розпорядження виявилася у встановленні стислих термінів збільшення обсягів випуску наявної продукції та підготовки виробництва мегомметрів і електростатичних вольтметрів, що дозволило розпочати їх серійне виготовлення вже у 1952 р. Організаційне розширення галузевої інфраструктури було закріплено наказом Міністерства електротехнічної промисловості СРСР 1956 р., який передбачав будівництво та визначення спеціалізації заводу «Електровимірювач» у м. Житомирі. Таким чином, аналіз архівних директив дозволяє реконструювати процес формування мережі приладобудівних підприємств та перехід до серійного виробництва складних типів вимірювальної техніки.

До методології дисертаційного дослідження залучені загальнонаукові методи такі як аналіз, синтез, індукція, дедукція, типологізація, абстрагування. Застосування методів аналізу і синтезу дало змогу послідовно сформулювати структуру дисертаційного дослідження, визначити та розкрити його тему, мету й завдання, а також забезпечити внутрішню узгодженість висновків.

Застосування взаємопов'язаних методів аналізу й синтезу дало змогу спочатку ґрунтовно дослідити основні складники предмета дослідження, що забезпечило системність, багатофакторність і наукову обґрунтованість дослідження, а надалі узагальнити розрізнені факти, події та відомості в єдину цілісну картину. Це дозволило з'ясувати особливості становлення електровимірювальної техніки як складової електротехніки, виявити підвалини, що були передумовами системних досліджень з електровимірювальної техніки наприкінці XIX ст. – першій половині XX ст. та закономірності формування науково-виробничого кластеру електровимірювальної техніки в контексті

загального розвитку науки, техніки й промисловості другої половини ХХ ст. Крім того, було з'ясовано роль лідерів у започаткуванні регіональних наукових шкіл. Так, системні дослідження А. Д. Нестеренка та П. П. Орнатського, яким належить пріоритет у розробленні цифрових вимірювальних приладів, що були впроваджені у масове виробництво на заводі «Точелектроприлад», стали основою для створення Київської наукової школи електричних вимірювань. Результати досліджень К. С. Полуляха стали підставою для започаткування нового наукового напрямку резонансних методів вимірювання електричних та неелектричних величин, який і став особливістю розвитку Харківської наукової школи. Об'єктивне оцінювання наукової спадщини фахівців у сфері електровимірювальної техніки відбулося на основі використання методу наукометричного аналізу.

Вивчення наукової спадщини провідних вітчизняних науковців, зокрема К. Б. Карандєєва, Ф. Б. Гриневича та інших, на основі аналізу наукових публікацій, навчально-методичних напрацювань, патентів, авторських свідоцтв дало змогу визначити лідерів наукових шкіл, виявити визначні осередки з розвитку теорії і практики електричних вимірювань, з'ясувати пріоритетні напрями наукових досліджень, вивчити еволюцію електровимірювальної техніки.

Метод синтезу надав змогу дослідити процес системної організації науково-виробничого кластеру електровимірювальної техніки, який сформував на різних рівнях розвитку наукової думки у межах Академії наук, технічних ВНЗ та галузевого сектору, сформував висновки до кожного підрозділу, розділу дисертаційного дослідження, а також загальні висновки.

У процесі дисертаційного дослідження важливу роль відігравали методи дедукції та індукції, які є складовими логічного методу і забезпечили системне осмислення досліджуваної проблеми та обґрунтованість отриманих висновків. На основі аналізу окремих подій, явищ, наукових фактів і персоніфікованих матеріалів формувалися загальні уявлення про закономірності розвитку науково-виробничого кластеру електровимірювальної техніки. Так, методу індукції дав

змогу на основі вивчення науково-технічних звітів виявити закономірності формування і розвитку науково-виробничого кластеру електровимірювальної техніки. А застосування методу дедукції дозволило визначити місце окремих наукових та навчальних осередків у структурі науково-виробничого кластеру.

Застосування методу типологізації дозволило класифікувати тогочасну номенклатуру електровимірювального устаткування за принципом обробки сигналу та функціональним призначенням. У результаті виокремлено три магістральні типи продукції: аналогові прилади (серійне виробництво стрілочних амперметрів і вольтметрів у Житомирі), цифрові засоби (розробки цифрових мостів і вольтметрів в ІЕД та КПП) та спеціалізовані системи (осцилографи спеціального призначення Львівського НДІ). Ідентифікація регіональних наукових шкіл за напрямками наукової тематики, методичними підходами до створення вимірювального устаткування, інженерними традиціями відбувалася на основі використання методу типологізації. Застосування методу дало змогу ідентифікувати регіональні наукові школи електровимірювальної техніки за характерними напрямками досліджень, методиками проектування вимірювального устаткування та сформованими інженерними традиціями. На цій основі вдалося чітко виокремити типологічні особливості харківської школи електричних і магнітних вимірювань та інформаційно-вимірювальних систем, київської школи методи підвищення точності вимірювальних пристроїв і львівської школи електричних вимірювань та вимірювальних інформаційних систем, з'ясувавши специфіку їхнього внеску в розвиток науково-виробничого кластеру електровимірювальної техніки.

Метод абстрагування допоміг виділити основні фактори, що впливали на виокремлення нових етапів у розвитку електровимірювальної техніки.

Крім того, були залучені спеціальні інструменти наукового аналізу, які дали змогу наочно представити процес розвитку електровимірювальних технологій в Україні. На основі використання табличного процесору Excel були побудовані діаграми які візуалізують магістральні напрями науково-дослідної діяльності кафедри електричних вимірювань, електроматеріалознавства та

світлотехніки КПП упродовж 1925–1947 рр.; динаміку випуску осцилографів науково-експериментально виробництва ХЕТІ у 1933 р.; структуру агрегатного комплексу засобів електровимірювальної техніки, динаміку публікаційної активності та тематичний розподіл праць К. Б. Карандєєва.

Дієвим інструментом дослідження став статистичний метод, який дав змогу візуалізувати процес розвитку науково-виробничого кластера електровимірювальної техніки у наочній кількісній формі. Статистична інформація, що міститься в матеріалах архівних фондів, довідниках та каталогах номенклатури електровимірювальної продукції, була узагальнена, систематизована й викладена у вигляді таблиць. У них відображено кількісно-якісні показники потреб промислового комплексу в електровимірювальній апаратурі та засобах автоматизації, виробничі потужності й масштаби виготовлення устаткування, розподіл науково-дослідницької та конструкторської тематики НДІ «Мікроприлад», а також результативність наукової діяльності спеціальних кафедр технічних ВНЗ.

До методології дисертаційного дослідження була залучена низка спеціальних історичних методів, таких як проблемно-хронологічний, історико-порівняльний, історико-генетичний, біографічний, метод історичної періодизації, контент-аналізу та бібліографічного, джерелознавчого аналізу.

Найважливішим під час розроблення структури дисертаційного дослідження виявився проблемно-хронологічний метод. Його застосування дозволило структурувати розвиток науково-виробничого кластеру як послідовність етапів, де кожен крок був відповіддю на технічні виклики часу. Так, наприкінці 1940-х – початку 1950-х рр. пріоритетним було подолання повоєнного дефіциту через відновлення підприємств та розв'язання кадрового питання шляхом відкриття спеціальності «Електровимірювальна техніка» у 1958 р. Проблема розпорошеності розробок у 1960-ті рр. зумовила перехід до програмно-цільового планування, що завершилося практичним впровадженням принципів Державної системи приладів наприкінці десятиліття. Це дозволило перейти від теоретичного проєктування до реальної уніфікації вітчизняного

обладнання та забезпечити його технічну сумісність. У 1970-ті рр. потреби промисловості та оборонного сектору зумовили масовий перехід до цифрової техніки й автоматизації ліній монтажу. Етап 1980-х рр. позначився модернізацією елементної бази через заміну дискретних компонентів мікропроцесорними системами, що забезпечило створення складних інформаційно-вимірювальних комплексів та інтеграцію вітчизняних науковців у світовий технічний простір.

Історико-порівняльний метод дав змогу зіставити особливості розвитку електровимірювальної техніки в різних періодах, установах або регіонах. Так, було проведено порівняльний аналіз переходу від аналогових приладів до цифрових систем вимірювання, який відбувався на теренах України і США. Особливу увагу приділено еволюції елементної бази, впровадженню інтегральних мікросхем, мікропроцесорних платформ, розвитку промислових стандартів.

Наукове забезпечення розвитку виробничого комплексу електровимірювальної техніки проводили наукові колективи кафедр, лабораторій, галузевих та навчальних осередків та академічних установ. Застосування історико-генетичного методу дозволило вивчити особливості формування фахової спільноти, інтелектуальні та матеріально-технічні умови, що забезпечували зародження, опрацювання й упровадження наукових і технічних рішень.

Вагоме значення в межах дослідження мав метод історичної періодизації. У розділі 2 представлено періодизацію основних етапів електровимірювальних технологій на тлі розвитку електротехнічної галузі, починаючи з введення терміна «електрика» та створення першої електростатичної машини до кінця XIX ст. Крім того, в 4 розділі, запропонована періодизація формування науково-виробничого кластеру електровимірювальної техніки на теренах України упродовж 1900–1991 рр., де виокремлено 3 основні етапи розвитку.

Застосування бібліографічного методу сприяло систематизації та класифікації наукової літератури за темою дисертаційного дослідження,

зокрема, еволюції електротехніки, історії створення наукових та навчальних осередків, галузевих центрів, підприємств, спеціальних кафедр. Такий підхід дав змогу окреслити інтелектуальний простір, у якому формувалася вітчизняна наукова школа електроприладобудування, визначити напрями її розвитку.

Метод контент-аналізу став у нагоді при опрацюванні та систематизації маловідомих або раніше неопублікованих матеріалів, що зберігаються у архівних фондах. Це дозволило розкрити особливості інституційного становлення сфери електровимірювальної техніки, реконструювати механізм співпраці між науковими установами, промисловістю та освітніми закладами, окреслити провідні центри науково-технічного розвитку, встановити кількісно-якісні показники. Використання методу джерелознавчого аналізу забезпечило критичне опрацювання всіх видів джерел, що сприяло створенню об'єктивних та достовірних висновків щодо функціонування наукових шкіл та установ, що займалися розробленням теоретичних та практичних засад електровимірювальних технологій.

Біографічний метод забезпечив вивчення особистісного виміру історії науки, зосереджуючись на внеску окремих науковців, які відіграли значну роль у становленні науково-виробничого кластеру електровимірювальної техніки на теренах України. Біографічний метод дав змогу провести реконструкцію науково-виробничого кластеру електровимірювальної крізь призму життя та діяльності конкретних особистостей. Спираючись на біографічний метод, було опрацьовано біографічні матеріали, документи особових справ П. В. Окулова, К. Б. Карандєєва, А. Д. Нестеренка, Ф. Б. Гриневича, С. Г. Таранова, що дало змогу розкрити особистісний вплив на формування наукових осередків електровимірювальних технологій. Застосування просопографічного методу сприяло вивченню спадкоємності та взаємозв'язку поколінь науковців у межах наукових шкіл, а також з'ясуванню колективних закономірностей формування кадрового потенціалу, що є визначальним для розуміння системної організації науково-виробничого кластеру електровимірювальної техніки.

Отже, комплексне застосування загальнонаукових, спеціальних

історичних методів дало змогу послідовно виконувати визначені завдання дисертаційного дослідження, завдяки чому стає можливим досягнення мети наукової розвідки.

Висновки до першого розділу

Результати історіографічного аналізу засвідчують відсутність комплексного наукового дослідження процесів становлення та розвитку науково-виробничого кластеру електровимірювальної техніки на теренах України в межах 1946–1991 рр. У більшості наукових робіт розвиток електровимірювальної техніки розглядається фрагментарно у контексті розвитку електротехніки. Критичний аналіз наявної наукової літератури першого хронологічного періоду свідчить про значну ідеологічну та методологічну обмеженість. Хоча в цих роботах і зафіксовано внесок українських учених у розвиток фізики та електротехніки, їхні здобутки подавалися переважно крізь призму досягнень наукових колективів СРСР. Крім того, більшість тогочасних досліджень мала узагальнювальний характер і зосереджувалася на еволюції світових процесів, залишаючи поза увагою системну організацію кластеру електровимірювальної техніки безпосередньо на українських теренах.

Історіографія періоду незалежної України, попри зміну концептуальних підходів та появу значної кількості досліджень з історії вітчизняної науки і техніки, також не має цілісного дослідження розвитку електровимірювальної техніки. Ювілейні видання, присвячені діяльності профільних кафедр, наукових осередків і підприємств, попри наявність у них цінного фактичного матеріалу, зазвичай не відзначаються достатнім рівнем глибокого критичного аналізу науково-виробничих взаємозв'язків. Дослідження цього періоду часто фокусуються на біографістиці або локальних успіхах окремих інституцій, не створюючи при цьому комплексної моделі розвитку електровимірювальної техніки упродовж 1946–1991 рр.

Отже, історіографічний аналіз наукової літератури з обраної проблематики засвідчив відсутність комплексного історико-наукового дослідження,

присвяченого вивченню розвитку науково-виробничого кластеру електровимірювальної техніки на теренах України в межах радянської науково-технічної системи. Це визначило наукову новизну роботи та дало змогу окреслити структуру дисертаційного дослідження.

Для реалізації поставленої мети була сформована джерельна база, що охоплює документи офіційного діловодства з архівних та музейних фондів, фахові науково-технічні праці, стандарти, авторські свідоцтва, патенти, довідкові видання, каталоги електровимірювальних приладів зображальні джерела, електронні ресурси. Було опрацьовано фонди ЦДАВО України, ДАК м. Києва, Архіву Президії НАН України, ІА НБУ імені В. І. Вернадського, Держархіву Харківської області, Держархіву Житомирської області, архіву Інституту кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України, архіву НТУ «ХП». У цілому опрацьовано 83 справи з 21 фонду 8-ми архівів.

Методологічне підґрунтя дослідження базується на принципах науковості, історизму, об'єктивності, всебічності, системності, наступності та конкретності та на комплексному застосуванні загальнонаукових, спеціальних наукових та історичних методів дослідження. Дотримання принципів забезпечило неупереджений аналіз еволюції науково-виробничого комплексу електровимірювальної техніки в контексті науково-технічної політики ХХ ст. До роботи було залучено загальнонаукові методи, такі як аналіз, синтез, індукція, дедукція, типологізація, абстрагування. Ефективність дослідження було підсилено використанням спеціальних інструментів кількісного аналізу, що дали змогу наочно представити динаміку розвитку електровимірювальних технологій в Україні. Окрім того, до методології було залучено низку спеціальних історичних методів: проблемно-хронологічний, історико-порівняльний, історико-генетичний, біографічний, метод історичної періодизації, контент-аналізу та бібліографічного і джерелознавчого аналізу, що дало змогу вивчити розвиток науково-виробничого кластеру електровимірювальної техніки на теренах України на тлі соціальних, економічних, науково-технічних і культурних процесів другої половини ХХ ст.

РОЗДІЛ 2

ПЕРЕДУМОВИ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НА ТЕРЕНАХ УКРАЇНИ (XVIII – середина XX ст.)2.1 Становлення електровимірювальної техніки в контексті еволюції
світових знань про електрику (XVIII–XIX ст.)

Важливим для розуміння формування електровимірювальної техніки як окремого напрямку є вивчення етапу накопичення знань у галузі електрики у XVIII ст. та XIX ст. Саме в цей період було закладено теоретичні та експериментальні основи електрики й магнетизму, сформовано перші уявлення про можливість кількісного вимірювання електричних явищ. Розвиток фізики, математики та природничих наук у XVIII ст., поява перших вимірювальних приладів і методик експериментальних досліджень створили наукове підґрунтя для становлення електровимірювальної техніки як окремого напрямку. Накопичення знань у цей період мало фундаментальний характер і забезпечило спадкоємність між ранніми теоретичними відкриттями та подальшим інституційним і технологічним розвитком електровимірювальної техніки у XX ст.

На основі опрацювання нормативних документів, зокрема стандартів України ДСТУ 2681-94 «Метрологія. Терміни та визначення», ДСТУ ІЕС 60050-300-312:2006. «Електротехнічний словник термінів». Електричні та електронні вимірювання і засоби вимірювальної техніки» та міжнародного стандарту ISO 10012:2003 «Measurement management systems – Requirements for measurement processes and measuring equipment» через базові поняття було сформульовано визначення та розкрито зміст електровимірювальної техніки. Так, електровимірювальна техніка (ЕВТ) – це сукупність засобів вимірювальної техніки, призначених для вимірювання електричних величин, а також методів і систем їх застосування, що мають нормовані метрологічні характеристики. ЕВТ

охоплює: теорію, методи та засоби вимірювання електричних і магнітних величин (наприклад, напруги, струму, опору, потужності, частоти, індуктивності, ємності тощо); розроблення, виробництво та експлуатацію спеціальних технічних засобів – електровимірювальних приладів, які призначені для отримання інформації про ці фізичні величини у формі, доступній для сприйняття спостерігачем або іншою технічною системою. До електровимірювальних приладів належать: щитові, лабораторні і переносні, стрілочні для вимірювання струму, напруги, опору, потужності, частоти, фази, цифрові прилади і аналого-цифрові перетворювачі; пристрої для вимірювання електричних і магнітних величин; самопишучі прилади; міри і еталонні прилади опору, ємності, індуктивності; осцилографи; вимірювачі, підсилювачі, перетворювачі, стабілізатори; електричні лічильники; засоби телемеханіки [29; 159; 161].

До початку XX ст. розвиток електровимірювальної техніки був тісно пов'язаний із прогресом у суміжних науках, зокрема в електротехніці, фізиці та хімії. Становлення методів електричних вимірювань у XVIII–XIX ст. можна описати як перехід від якісних спостережень до точних кількісних вимірювань, що зробило можливим розвиток сучасної електродинаміки. На початку XVIII ст. вивчення електрики зосереджувалося на статичних явищах. Вчені, такі як Шарль Дюфе та Бенджамін Франклін, використовували прості прилади, на кшталт електроскопів і електрометрів, для визначення наявності та «сили» електричного заряду. Хоч ці інструменти й мали скоріше якісний, ніж кількісний характер, вони заклали основу для подальших досліджень [162].

До відкриттів Шарля Огюстена Кулона електричний заряд був поняттям доволі розмитим. Його «вимірювали» суб'єктивно: за кольором іскор або навіть за силою відчуття при дотику. Це робило електростатику неточною, описовою наукою. Зміни стали можливими завдяки внеску французького військового інженера та дослідника Ш. Кулона. Він працював над проблемою добової магнітної девіації, вивчаючи властивості торсіонного підвісу – тонкої металевої

нитки, що закручувалася під дією сили. У процесі цих досліджень Ш. Кулон виявив, що сила, яка діє на нитку, прямо пропорційна куту її закручування. Це відкриття дозволило йому створити надзвичайно чутливий прилад – ваги Кулона. Ці ваги були досить точні (до 3×10^{-6} мг/град шкали), що дозволило Ш. Кулону у 1784 р. вперше встановити кількісний закон взаємодії електричних зарядів. Цей закон, відомий як закон Кулона, започаткував електростатику як точну науку. На знак визнання його внеску в науку, Ш. Кулона було обрано до Паризької Академії наук, а одиниця електричного заряду в системі SI отримала його ім'я – кулон [33, с. 41–48].

Початок XIX ст. став вирішальним періодом у розвитку електромагнетизму та, як наслідок, у становленні електровимірювальної техніки. Стрімкий прогрес, що розпочався з фундаментальних відкриттів, швидко виявив потребу в точних і надійних приладах для кількісного вимірювання електричних явищ.

Спочатку найбільша потреба виникала у безпосередньому вимірюванні величини струму, що протікав провідником. Першим кроком у цьому напрямку було створення стрілочних приладів, у яких синус або тангенс кута відхилення стрілки пропорційний величині струму. Такі прилади називалися відповідно синус-гальванометрами та тангенс-гальванометрами.

Наступний крок позначився винаходом гальванічної батареї Алессандро Вольта у 1800 р. Він встановив зв'язок між кількістю електрики, ємністю і напругою, винайшов перше хімічне джерело струму на мідно-цинковій парі («вольтів стовп», або «батарея Вольта») [33, с. 53–60]. Це дозволило створити сталий електричний струм та закласти підґрунтя електродинаміки. Відтепер науковці могли вимірювати не тільки заряди, а й струми та напруги.

Традиційно відкриття зв'язку між струмом і магнетизмом приписують Гансу Крістіану Ерстеду (1820 р.). Проте перші кроки у цьому напрямку зробив італійський юрист Джованні Доменіко Романьйозі ще у 1802 р. Він оприлюднив результати своїх спостережень у невеликій газеті у розділі «Магнетизм», але

через юридичний фах автора та маловідомість видання, фізики того часу не звернули на це уваги [38, с. 84–85]. Це стало основою для створення гальванометрів. Ці прилади, наприклад, тангенс-гальванометр, дозволяли вимірювати силу струму за кутом відхилення магнітної стрілки [76, с. 84–85].

У тому ж 1820 р., використовуючи торсіонні ваги Ш. Кулона та винахід Г. Ерстеда Андре-Марі Ампер сконструював перший прилад для вимірювання сили струму – гальванометр. За допомогою гальванометра А. Ампер сформулював закон взаємодії електричних струмів, що носить його ім'я. На знак визнання його внеску, одиниця сили струму була названа ампером і стала однією з чотирьох базових одиниць системи SI [3; 33, с. 67–74]. Однак недоліки першого гальванометра були очевидні: низька чутливість, вплив магнітного поля Землі (від чого провідник зі струмом необхідно було орієнтувати за магнітним меридіаном). Чутливість приладу була багатократно збільшена в тому ж 1820 р. в «мультиплікаторі» Йоганна Швейггера, який помістив магнітну стрілку всередину котушки з вимірюваним током. Щоб виключити вплив магнітного поля Землі, А. Ампер запропонував зробити прилад астатичним, тобто використати дві магнітні стрілки, розташовані паралельно на спільній осі, але з полюсами, оберненими у протилежні боки, це фактично усунуло вплив земного магнетизму [25, с. 309–341].

Через чотири роки, у 1825 р., італійський фізик Леопольдо Нобілі запропонував ідею, яка полягала у з'єднанні астатичної пари з мультиплікатором (багаторазовим намотуванням дроту). Це дало підстави для створення більш чутливого приладу [21].

Розвиток телеграфії в 1820-х рр. потребував приладів для вимірювання електричного опору. Цю задачу вирішив у 1826 р. німецький фізик Георг Ом. Він створив прилад на основі термоелектрорушійної сили та, провівши численні експерименти, встановив, що сила струму в провіднику обернено пропорційна його опору [335]. Закон Ома є фундаментальним для електротехніки. Попри те, що за життя Г. Ом не отримав визнання через «уявну простоту» свого відкриття. Сьогодні одиниця опору названа на його честь – ом, а прилади для його

вимірювання – омметрами [101].

Слід зазначити, що ці ранні пристрої, хоч і були чутливими індикаторами, все ще залишали низку невирішених проблем. Для впровадження теорії електрики у практику виникла нагальна потреба у приладах із безпосереднім відліком, які були б заздалегідь проградуйовані для вимірювання конкретних величин. Першим об'єктом для кількісного виміру стала сила струму.

Це призвело до створення так званих стрілочних приладів, чия конструкція передбачала пропорційність синуса або тангенса кута відхилення стрілки величині струму. Так народилися синус-гальванометри та тангенс-гальванометри. Останній, зокрема, тангенс-гальванометр професора Гельсінгфорського університету Йоганна Якова Нервандера, створений у 1833 р., набув широкого поширення у 30-х роках XIX ст. [73, с. 16–23].

Проте незважаючи на різноманіття типів, розмірів та конструкцій, результати вимірювань за допомогою різних гальванометрів виявлялися незрівнянними. Постійні гальванометра, тобто коефіцієнти, що зв'язують силу струму, яка проходить через обмотку гальванометра, з величиною кута відхилення рухомого магніту (або синуса, або тангенса цього кута), могли теоретично обчислюватися тільки для цілком певних конструкцій гальванометрів, тобто прилади вимагали градуювання (калібрування).

У 1839 р. Б. С. Якобі здійснив фундаментальне відкриття, що прискорило перехід від найпростіших індикаторів до повноцінних вимірювальних приладів. Включивши гальванометр послідовно в коло з вольтметром, учений зміг емпірично встановити залежність між хімічною дією струму (визначеною за допомогою електролізу) та механічним відхиленням стрілки гальванометра. Цей експеримент не лише дозволив сформулювати концепцію приладу, градуйованого на певну величину струму, а й започаткував метод градуювання, який став фундаментальним для електровимірювань [47, с. 140–146].

Паралельно з розвитком гальванометрії була впроваджена ще одна важлива інновація, яка суттєво розширила інструментальну базу. Це створення електромагніту Вільямом Стердженом у 1825 р. Починаючи з другої чверті

XIX ст., електромагніти стали невід'ємною частиною електричних приладів [47, с. 223–226].

Наявність у розпорядженні вчених та інженерів таких базових компонентів, як астатична пара, електромагніт, реле, дзеркальна шкала та пружини для створення протидіючого моменту, дозволила вже в першій половині XIX ст. перейти до конструювання досконаліших електровимірювальних пристроїв, зокрема точніших гальванометрів, електродинамометрів та електростатичних приладів.

Теоретичні та експериментальні успіхи сприяли відкриттю принципово нових методів вимірювань, що заклали основи сучасної метрології. Так, Емілій Християнович Ленц розробив балістичний метод вимірювань; Йоганн Християн Поггендорф представив компенсаційний метод, що забезпечував високу точність; Чарльз Уитстон популяризував місткову вимірювальну схему, яка стала класичною для вимірювання опору [31].

Отже, упродовж 1820–1849 рр. було закладено підґрунтя для подальшого розвитку електроприладобудування. Завдяки працям А. Ампера, Л. Нобілі, Б. Якобі та ін., було закладено не лише основи конструкції вимірювальних приладів, а й базові метрологічні принципи, без яких неможливий був би подальший розвиток електротехніки. У цей час відбулася стандартизація термінології у галузі електрики: електричний опір, електрорушійна сила, сила струму, кількість електрики.

Розвиток телеграфії та інших напрямів електротехніки вимагав уніфікації вимірювань. У 1861 р. у рамках Британської асоціації з розвитку науки було засновано спеціальний Комітет з розроблення питань еталонів одиниці електричного опору, який займався питаннями стандартизації. Завдяки роботі Джеймса Клерка Максвелла і Вільяма Томсона (лорда Кельвіна) було розроблено систему практичних одиниць, що стала основою сучасної системи СІ [30].

У 1873 р. члени Комітету запропонували проєкт, який рекомендував використовувати абсолютну електромагнітну систему одиниць. Зокрема, було визначено назви для основних практичних одиниць: «ом» для опору, «вольт» для

електрорушійної сили та «фарада» для електричної ємності. Ця пропозиція, хоча й була новаторською, мала лише рекомендаційний характер, переважно для Англії, і не вирішувала проблему в глобальному масштабі [52, с. 222–225].

Ситуація змінилася у 1881 р. на Міжнародному конгресі електриків, що відбувся в Парижі під час першої міжнародної виставки з електрики. Нагальною потребою було створення єдиної Міжнародної системи електричних одиниць. В результаті роботи спеціальної комісії було вирішено (рис. В.1, додаток В), що електричні одиниці мають базуватися на метричній системі (сантиметр, грам, секунда), для вимірювань слід використовувати абсолютну електромагнітну систему, хоча електростатична система також могла застосовуватися. Рішення конгресу значною мірою спиралися на попередні напрацювання британських фахівців із Комітету з електричних еталонів. Вагому роль у цьому процесі відіграла британська професійна спільнота інженерів-електриків, яка на той час функціонувала як Товариство інженерів телеграфії (з 1888 р. перейменоване на Інститут інженерів-електриків – ІЕЕ), чий члени спільно з Британською асоціацією сприяння розвитку науки ще у 1860–1870-х рр. обґрунтували базові параметри для практичних вимірювань. Також були схвалені запропоновані британцями одиниці: «ом», «вольт» та «фарада». Комісія вперше офіційно встановила назви для одиниць сили струму та кількості електрики, назвавши їх «ампер» та «кулон» відповідно [12].

Цей конгрес став поворотним етапом, оскільки його рішення здобули визнання на міжнародному рівні, що поклало початок стандартизації електричних величин і створило умови для подальшого поступу електротехніки та поглиблення наукових досліджень.

Створення електричних лічильників у XIX ст. є прикладом того, як наукові відкриття у сфері електромагнетизму швидко трансформувалися в інженерні рішення, що стали основою для комерціалізації електрики. Розвиток електролічильників став прямим наслідком фундаментальних відкриттів,

зроблених у першій половині XIX століття (Фарадей, Ампер) та подальшого розвитку систем генерації та розподілу електроенергії [136, с. 21–35].

Електрифікація, яка почалася наприкінці XIX ст., була обумовлена розвитком виробництва, передаванням та розподілом електроенергії. Все це потребувало розроблення мобільних, щитових, стрілочних приладів, у тому числі для вимірювання в ланцюгах змінного струму та високої напруги. Також виявилися потреби у вимірюванні спожитої електроенергії як наслідок розповсюдження електричного освітлення. Після вдосконалення лампи розжарювання електрика перетворилася на продукт масового попиту [26, с. 45–50]. Постачальникам електроенергії були потрібні точні засоби визначення плати для споживачів. На ранньому етапі винахідники створювали пристрої, які вимірювали переважно ампер-години (кількість пропущеного струму), а не потужність та енергію (як сучасні кіловат-години). Одним із перших комерційних пристроїв став лічильник Едісона (Edison Chemical Meter, 1881 р.). Він ґрунтувався на електролізі: сила струму визначалася за швидкістю осадження металу [28].

З появою систем змінного струму почали з'являтися більш складні прилади. Ці індукційні лічильники використовували магнітні поля для обертання алюмінієвого диска зі швидкістю, пропорційною споживаній потужності, реєструючи таким чином загальну спожиту енергію [34].

Впровадження електролічильників було дуже важливим для електрифікації великих міст на території сучасної України (Київ, Одеса, Харків) наприкінці XIX ст. – на початку XX ст. Поява лічильників, здебільшого імпортованих, була необхідним елементом інфраструктури для запуску комерційних поставок електроенергії, тобто перетворення електроенергії на масовий товар [353, с. 78–85].

Наприкінці XIX ст. електрика перестала бути експериментальним явищем і стала основою промислової революції. Розвиток електродвигунів, освітлення та передавання енергії потребував точних і надійних вимірювальних приладів для вирішення інженерних завдань. Розвиток електровимірювальних приладів у

період з 1880-х рр. був надзвичайно інтенсивним, що зумовлено широким впровадженням електрики. У цей час відбувся перехід від чутливих, але громіздких лабораторних гальванометрів до промислових, практичних амперметрів, вольтметрів, ватметрів та інших приладів.

Основні етапи становлення електровимірювальної техніки в контексті еволюції світових знань про електрику узагальнено в табл. Г.1 (додаток Г).

Отже, поступове накопичення експериментальних знань у царині фізики та необхідність точного контролю і керування електричними процесами сприяли виокремленню електровимірювальної техніки з електротехніки в самостійний науково-практичний напрям наприкінці XIX ст. Цей процес позначився переходом від суб'єктивного спостереження за статичними зарядами до створення системи еталонів та промислових приладів, що зробило електричні явища кількісно визначеними.

2.2 Започаткування перших досліджень електровимірювальних технологій на теренах України (перша половина XX ст.)

На межі XIX–XX ст. у Харківському технологічному інституті (ХТІ), Київському політехнічному інституті (КПІ) було створено перші лабораторії, оснащені електровимірювальним обладнанням. Це заклало фундамент для проведення фахових наукових досліджень. Між тим, що викладання дисципліни «Електричні вимірювання», зокрема в ХТІ для студентів-електриків, розпочалося ще до інституціоналізації відповідних кафедр, що свідчить про випереджальний розвиток практичної та навчальної складової над організаційною структурою закладів [322, с. 71–72].

У ХТІ за ініціативи професора Павла Петровича Копняєва були проведені роботи з організації електровимірювального кабінету. Лабораторні макети кабінету були укомплектовані новітніми для того часу вимірювальними приладами: амперметрами, вольтметрами, ватметрами, які подарували П. П. Копняєву представники товариств «Сименс і Гальске», «Вестінгауз» та

Загальної електричної компанії. Електровимірювальний кабінет було відкрито у 1910 р. [216]. Слід зазначити, що на початку ХХ ст. П. П. Копняєв був єдиним лектором в Україні, який підготував лекційні курси і лабораторний практикум з питань електричних вимірювань. В цих посібниках були узагальнені теоретичні та практичні питання з електричних і магнітних вимірювань: система одиниць, методи вимірювань різних величин, класифікація вимірювальних приладів, окремий розділ присвячений теорії похибок [217; 218].

На початку ХХ ст. електровимірювальна лабораторія ХТІ, створена на базі кабінету П. П. Копняєва, була єдиним на теренах України центром прикладної метрології. В лабораторії виконували калібрування та випробування електровимірювальних приладів для всіх промислових регіонів, включаючи Донбас, Криворіжжя та Придніпров'я. Згодом, завдяки проєкту П. П. Копняєва, при Українській головній палаті мір та ваги було засновано електровимірювальну лабораторію для перевірки та калібрування приладів постійного і змінного струму. Під його керівництвом ця лабораторія, окрім навчально-наукової діяльності, також стала важливим осередком наукових досліджень у сфері вимірювальної техніки та методів вимірювань, сприяючи розвитку метрологічного забезпечення в Україні [226].

Окрему увагу П. П. Копняєв приділяв реформуванню метрологічних стандартів. У 1927 р. він обґрунтував перехід до нової системи одиниць, що мала на меті систематизувати зв'язок між основними фізичними величинами шляхом вирівнювання числових значень одиниць сили та ваги. Це давало змогу уніфікувати тогочасні механічні стандарти (метр, кілограм, секунда (МКС) і метр, кілограм-сила, секунда (МКГСС)) у єдину, більш зручну для практичних вимірювань структуру. Попри те, що технічні обмеження тієї епохи завадили реалізації проєкту, доповідь П. П. Копняєва на засіданні Загальноукраїнської асоціації інженерів зафіксувала за вітчизняною наукою пріоритет у розв'язанні таких фундаментальних завдань. Його пошуки «досконалої системи» не лише заклали підґрунтя для майбутніх стандартів, а й визначили вектор досліджень для наступних поколінь метрологів [96].

Становлення метрологічного напрямку в КПІ розпочалося з діяльності професора Георгія Де-Метца, який ще у період розбудови інституту (1898–1902 рр.) створив та оснастив передовим європейським обладнанням загальну електротехнічну лабораторію, що стала головним технічним фундаментом для майбутніх досліджень (табл. 2.1) [299].

Таблиця 2.1 – Обладнання лабораторії електричних вимірювань КПІ, 1902 р.*

Вимірювана величина	Прилади
Вимірювання сили струму (в абсолютних одиницях)	Гальванометри: систем Siemens-Halske; G. Weber. Вольтметри Hartmann-Braun
Порівняння електрозбуджуючих сил за способом компенсацій	Міст Hartmann-Braun. Аперіодичний гальваноскоп Weston
	Електрометр Branly. Вольтаметр Siemens-Halske
Порівняння ємності провідників балістичним способом	Гальванометри системи Siemens-Halske
Вимірювання опорів	Міст Wheatstone Аперіодичний гальванометр Siemens-Halske

*Таблицю складено автором за матеріалами [299, с. 33–35].

Викладання електричних вимірювань як окремої навчальної дисципліни на електротехнічному факультеті (ЕТФ) КПІ було започатковано у 1918 р. Практична частина курсу реалізовувалася на базі електровимірювальної лабораторії [352, с. 159–168].

У 1925 р. в КПІ було створено кафедру електричних вимірювань, електроматеріалознавства та світлотехніки. Засновником і завідувачем кафедри був Петро Володимирович Окулов. Кар'єра викладача в КПІ розпочалася у 1920 р. на механічному та електротехнічному факультетах. Його діяльність зосереджувалася на проведенні практичних і лабораторних занять з фотометрії та електричних вимірювань. Для методичного забезпечення курсів учений підготував серію посібників, які охоплювали магістральні питання електроприладобудування від технології матеріалів до методів вимірювання неелектричних величин, таких як «Технология электротехнических материалов» (1927 р., 1930 р.), «Методы электрических и магнитных измерений» (1928 р.),

«Электрические измерения» (1939 р.), «Электрические методы измерения неэлектрических величин» (1945 р., 1952 р.). Особливу увагу дослідник приділяв удосконаленню методики викладання. Зокрема, П. В. Окулов зазначав, що за наявності понад 100 слухачів лекційна демонстрація обладнання перестає бути результативною. Для підвищення якості освіти він вважав за необхідне перейти до лабораторних занять, збільшивши кількість відведених на них годин [262, арк. 8–10].

У 1930 р. відповідно до реформування технічних ВНЗ на основі КПІ було створено вісім інститутів, а вже у 1934 р. Київський машинобудівний, енергетичний (КЕІ) та хіміко-технологічний інститути стали Київським індустріальним інститутом (КІІ). З 1948 р. Київський індустріальний інститут отримав стару назву – КПІ [328, с. 148]. У 1930 р. сталося значне поповнення лабораторії електричних вимірювань кафедри, як за рахунок Київського електротехнікуму, так і за рахунок отримання лабораторного обладнання з-за кордону. На цей час було закінчено будівництво електротехнічного крила інституту, в якому кафедра отримала два додаткові приміщення. В одному з них було розміщено лабораторні робочі місця для студентів з електричних вимірювань, а в другому розміщено лабораторію електроматеріалознавства. Загальна площа лабораторій кафедри становила 600 кв. м. Діяльність кафедри охоплювала підготовку студентів не лише електротехнічного, а й радіотехнічного факультетів. З 1930 р. до активної дослідницької роботи долучилися й перші аспіранти. Станом на кінець 1930-х рр. кафедра володіла високотехнологічним лабораторним фондом, що давало змогу забезпечувати понад 25 навчальних робіт із електричних вимірювань, стільки ж із електроматеріалознавства та ще 15 зі світлотехніки [219, арк. 2].

У період Другої світової війни підрозділ евакуювали до Ташкента, де науково-дослідна діяльність і навчання були продовжені. Після повернення з евакуації кафедра була змушена розміститися в тимчасових приміщеннях, оскільки її попередня база була знищена пожежею. У 1947 р. штат кафедри складався з шести осіб. Викладацький склад був представлений завідувачем,

професором П. В. Окуловим та асистентами Л. В. Свічковим і П. Д. Завірухіним. Технічну підтримку забезпечували лаборанти С. Р. Вейтко, М. А. Кухарський та препаратор Т. В. Трапова. Попри невелику чисельність колективу, під керівництвом П. В. Окулова постійно велася активна науково-дослідна робота, основні вектори якої за період 1925–1947 рр. систематизовано в табл. 2.2 та рис. 2.1.

Таблиця 2.2 – Науково-дослідна робота кафедри електричних вимірювань, електроматеріалознавства та світлотехніки КПІ (КЕІ у 1930–1934 рр., КП у 1934–1948 рр.) упродовж 1925–1947 рр.

Рік	Назва науково-дослідної роботи
В галузі електричних вимірювань	
1925	Метод визначення струму витоку в електрохімічних виробництвах
1937	Активно-реактивний метод вимірювання потужності та енергії
1938	Генріметр
1939	Вимірювання втрат у залізі компенсаційним методом
1939	Вимірювання втрат у залізі на малих зразках
1939	Вимірювання ємності електростатичним вольтметром
1940	Вимірювання малих потужностей
1943	Похибки при вимірюванні втрат у залізі
1944	Похибки вимірювання кривих намагнічування
1947	Шляхи вимірювання струму в лініях передач постійної напруги
1947	Методи вимірювання постійної напруги за допомогою електронних ламп
В галузі вимірювання неелектричних величин	
1940	Методи вимірювання поверхневої деформації в металі електричним методом
1941	Вимірювання неелектричних величин
1945	Електричні методи вимірювання неелектричних величин
1946	Фотоелектричне планіметрування
1946	Похибки планіметрування
1947	Розроблення методу вимірювання сил натискання при роботі на токарному верстаті
1947	Розроблення фотоелектричних приладів для дослідження вібрації приводного ремня
В галузі електроприладобудування	
1938	Розроблення нової конструкції електромагнітного приладу
1942	Розроблення конструкції електровимірювальних приладів для електромеханічних майстерень
1942	Розроблення конструкції верстата для різання агатового каміння
1942	Розроблення конструкції верстата для висвердлювання каміння
1942	Розроблення конструкції верстата для шліфування кратерів у підшипниковому камені

Продовження таблиці 2.2

Рік	Назва науково-дослідної роботи
В галузі електроматеріалів	
1927	Високовольтні ізолятори
1930	Нагрів паперово-олійних конденсаторів
1930	Перегрів паперових конденсаторів з масляним наповненням
1939	Методи випробувань електроматеріалів
1940	Методи видалення електростатичних зарядів із виробництва
1946	Розроблення конструкції апарату для визначення матеріалу реостатного дроту
В галузі світлотехніки	
1933	Метод визначення фотографічного коефіцієнта відображення
1940	Дослідження форми сигнальних ліхтарів річкового флоту в умовах маскування
1942	Розроблення технологічного процесу регенерування ламп розжарюванням
1947	Розроблення та здійснення мілілюксметра для червоного світла

*Таблицю складено автором за матеріалами [219, арк. 3–6].

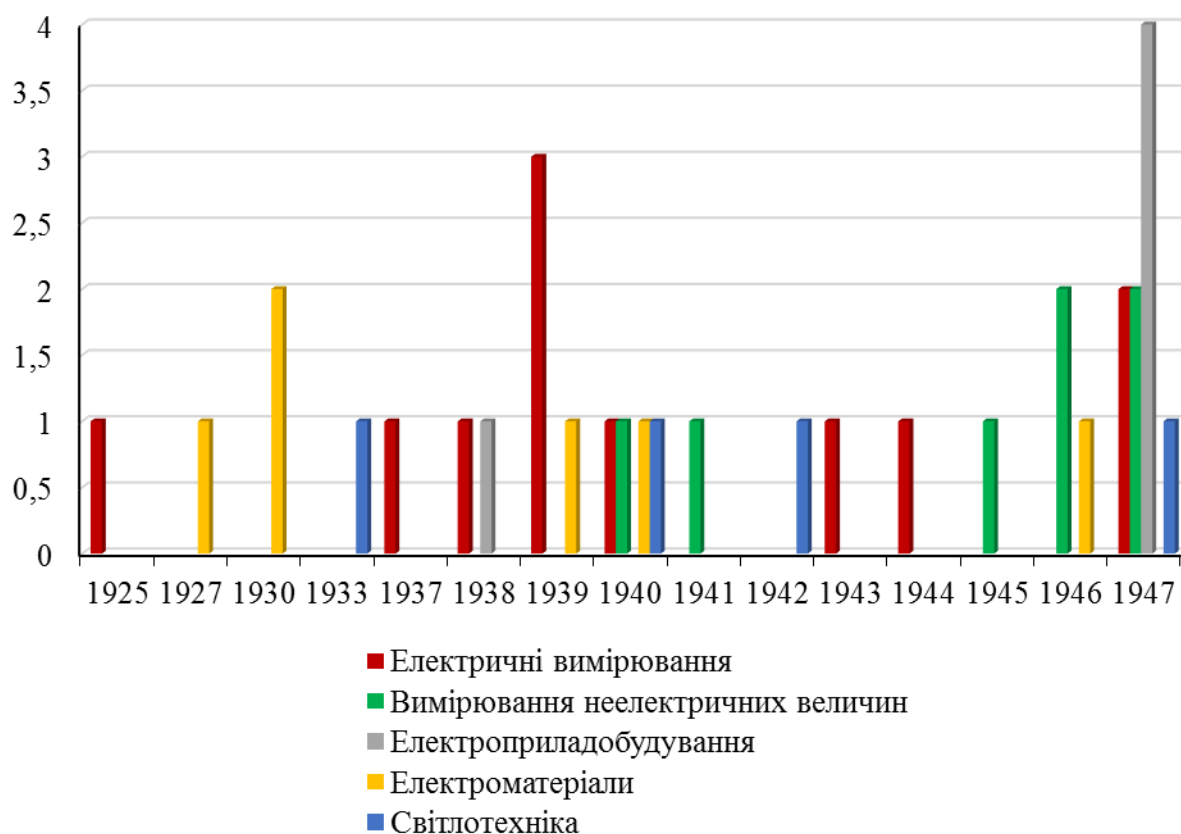


Рисунок 2.1 – Напрями НДР кафедри електричних вимірювань, електроматеріалознавства та світлотехніки КПІ (КЕІ у 1930–1934 рр., КП у 1934–1948 рр.) упродовж 1925–1947 рр. [219, арк. 3–6]

Аналізуючи архівні матеріали ДАК, можна стверджувати що науково-дослідна діяльність кафедри у період з 1925 р. по 1947 р. мала вагоме значення для промислового розвитку країни, оскільки запропоновані розробки безпосередньо впроваджувалися у виробничі процеси та енергетичну інфраструктуру, зокрема у Київському заводі електротехнічної апаратури [219, арк. 6].

До 1939 р. м. Львів не був частиною УРСР, між тим, в Політехнічній школі міста було сформовано значну базу для метрологічних досліджень та розвитку електровимірювальних технологій. Діяльність науковців електротехнічних кафедр заклала методичні основи, що вплинули на розвиток електровимірювальної техніки на теренах України після Другої світової війни.

Технічна академія Львова отримала статус вищої у 1872 р. Вже у 1877 р. академію було перейменовано на Цісарсько-королівську Вищу технічну школу, з 1894 р. Цісарсько-королівську політехнічну школу, а з 1921 р. – Львівська політехніка [228, с. 35]. Витоки наукових досліджень у сфері електричних вимірювань сходять до 1892 р., коли в на базі першої електротехнічної кафедри Цісарсько-королівську Вищу технічну школу (завідувач професор Роман Дзесьєлевський) було організовано електротехнічну лабораторію, яка була обладнана найсучаснішою електровимірювальною апаратурою. Із самого початку існування цієї кафедри її важливою складовою було практичне спрямування, пов'язане з електричними вимірюваннями. Як самостійна одиниця кафедра «Електричні вимірювання» з'явилась у 1919 р. Її очолив професор Казимир Ідашевський [200, с. 9].

На той час кафедра зосереджувала свою наукову роботу на таких напрямках електротехнічних вимірювань: перевірка електролічильників; дослідження компенсаторів змінного струму; вимірювання ізоляції та високих напруг; вдосконалення приладів; точне вимірювання електричного опору та ЕРС (електрорушійної сили) [219].

Упродовж 1930–1941 рр. кафедрою керував професор Влодзімеж Круковський, відомий фахівець у галузі вимірювань, який мав досвід роботи у фірмі «SIEMENS». У Львівській політехніці він організував одну з

найсучасніших і найточніших електromетрoлoгiчних лабораторій у Європі на той час. Там В. Круковський проводив новаторські експериментальні дослідження, що стосувалися вимірювальних систем найвищої точності, створення еталонів та випробування лічильників електроенергії. Науковець зробив вагомий внесок у підготовку кількох поколінь інженерів, забезпечивши їх ґрунтовними знаннями в галузі техніки електричних вимірювань. Під його керівництвом кафедра набула статусу державного наукового та метрoлoгiчного центру [75, с. 144–145].

У 1931 р. тут було введено в експлуатацію першу потенціометричну установку, призначену для державної атестації електровимірювальних приладів. Крім того, на основі патенту професора В. Круковського було виготовлено 50 установок для перевірки державного еталону ЕРС, які передали різним організаціям. Науковцями кафедри були розроблені еталони опору, які потім зберігалися в лабораторії кафедри. Це дало можливість брати участь у міжнародній співпраці, яка була запропонована Міжнародним бюро мір і ваг. Так, у 1933 р. були проведені повірочні роботи, тобто порівняння устаткування кафедри з міжнародними зразками електрорушійної сили та опору. Отримані значення одиниць відповідали міжнародним вимогам. Еталонні елементи, виготовлені у Львові, імпортувалися до лабораторій Швейцарії та компанії Siemens-Halske у Берліні. Важливою подією стала публікація В. Круковським у 1935 р. праці «Точність компенсаторів постійного струму та шляхи їх підвищення», яка зберегла свою наукову цінність дотепер [75, с. 149–150].

Таким чином, створення кафедри у Львівській політехніці сприяло модернізації навчального процесу. Завдяки зусиллям Романа Дзесьлевського та пізніше Казимира Ідашевського студенти вперше отримали доступ до лабораторій, обладнаних сучасним на той час устаткуванням. Це не просто давало знання, а й формувало професійні практичні навички «точності», без яких неможливий розвиток приладобудування. Особливий внесок Влодзімежа Круковського у залученні до освітнього процесу досвіду корпорації «SIEMENS». Це сприяло інтеграції європейських стандартів якості безпосередньо в систему

підготовки.

Важливим для розвитку напряму електровимірювальної техніки було створення науково-дослідних лабораторій та майстерень, що спеціалізувалися на розробленні та випуску електровимірювальних приладів.

Так, у 1931 р. при Українському НДІ зерна створюються експериментальні виробничі майстерні з метою розроблення приладів і електроапаратури для хіміко-технологічного контролю і автоматизації виробничих процесів на підприємствах Наркомату заготівель СРСР. Майстерні розміщалися на вулиці Набережно-Хрещатицькій, м. Київ. У 1935 р. завершилося створення виробничо-технічної бази майстерень. 7 жовтня 1935 р. майстерні Українського НДІ зерна Постановою Комітету заготівлі сільськогосподарських продуктів при РНК СРСР № 3942 було переведено на самостійний баланс, і вони стали самостійним промисловим підприємством. Майстерні Українського НДІ зерна, а в подальшому – Київський завод «Електроприлад», виготовляли і ремонтували вологоміри, амперметри, вольтметри та інші електроприлади, розширюючи їх виробництво, вдосконалюючи конструкцію та технологію їх виготовлення [110, арк. 20–23].

У 1932 р. розроблення електровимірювальних приладів на кафедрі електричних вимірювань, електроматеріалознавства та світлотехніки КЕІ було переведено з кафедри в майстерні при науково-дослідному секторі (НДС) інституту, бюджет на той час досягнув кілька десятків тисяч рублів [219, арк. 2]. Групою електровимірювальної техніки НДС упродовж 1932–1936 рр. керував Анатолій Дмитрович Нестеренко. Ще навчаючись в КПІ, який закінчив у 1926 р., він працював електромонтером в електротехнічних лабораторіях. Упродовж 1926–1928 рр. ним, під керівництвом П. В. Окулова, було організовано лабораторію електричних вимірювань [253, арк. 24].

В 1938 р. за активної участі А. Д. Нестеренка, на базі науково-дослідних майстерень КПІ було створено Київський завод електротехнічної апаратури (КЗЕТА), надалі відомий як «Точелектроприлад», де він працював головним конструктором [148]. Підприємство випускало велику кількість різноманітної

приладової продукції високого класу точності електродинамічної, електростатичної, електромагнітної, феродинамічної систем – амперметри, вольтметри, ватметри постійного і змінного струму, фазометри, магазини і міри – опорів, ємності, індуктивності, взаємної індуктивності та апаратуру для їх повірки [206]. З 1945 р. А. Д. Нестеренко очолив новоутворену кафедру «Електроприладобудування» КП [326, арк. 2–3].

Створення у 1933 р. при Харківському електротехнічному інституті (ХЕТІ) науково-експериментальних прецизійних майстерень, що базувалися на вимірювальній та еталонній лабораторіях професора П. П. Копняєва, сприяло розвитку електровимірювальної техніки. Ці майстерні почали виробництво вітчизняних високоточних приладів, зокрема осцилографів для реєстрації швидкозмінливих процесів, а також приладів для повірки лічильників, трансформаторів, вольтметрів, амперметрів, ватметрів. Це дозволило значно зменшити залежність інституту від імпорту німецької вимірювальної апаратури. Напередодні Другої світової війни обсяги виробництва осцилографів, а випуск реєструючої апаратури значно збільшився (рис. 2.2), виконуючи замовлення для електростанцій та великих заводів (наприклад, Харківського тракторного заводу) [317].

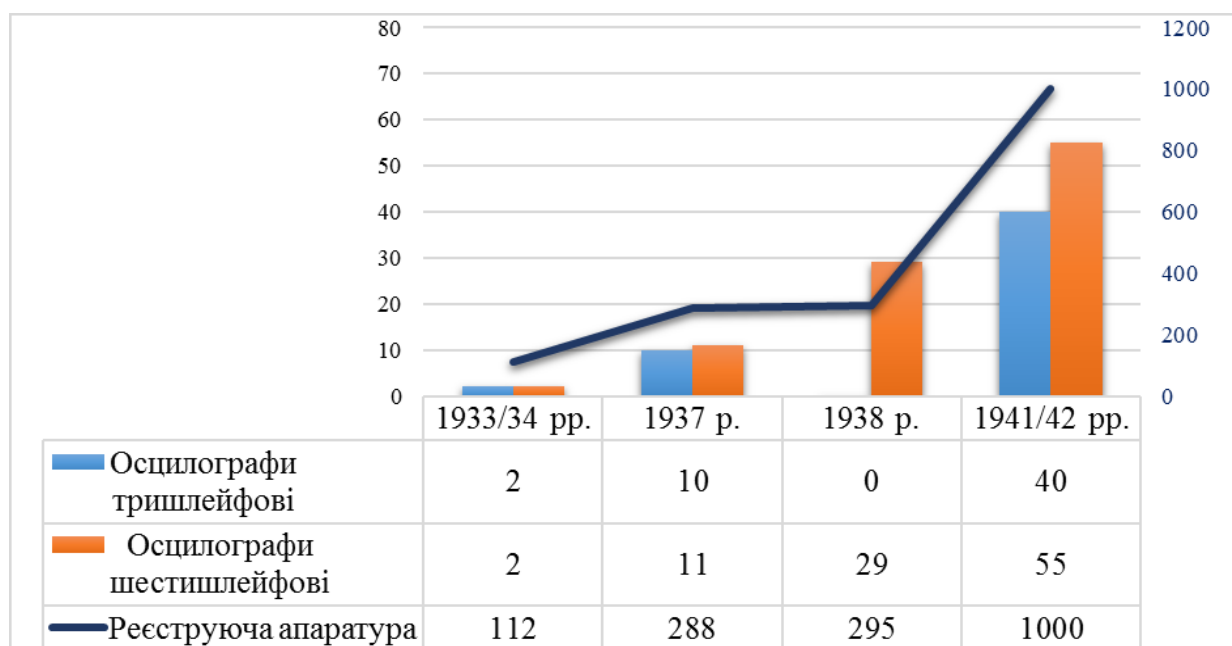


Рисунок 2.2 – Випуск вимірювальних приладів науково-експериментальним виробництвом ХЕТІ (1933–1942 рр.) [317]

Однак попри розвиток мережі науково-дослідних лабораторій та експериментальних майстерень, реальний рівень задоволення потреб промисловості в електровимірювальній апаратурі й засобах автоматизації наприкінці 1930-х рр. залишався критично низьким. Невідповідність можливостей приладобудування запитам економіки створила технологічний розрив, який суттєво гальмував модернізацію промислового сектору країни. Найбільш забезпечений на той час електровимірювальними приладами був енергетичний сектор. Тоді як металургійна, хімічна, харчова та інші галузі опинилися зовсім без забезпечення необхідним устаткуванням. Стан електроприладобудування суттєво гальмував розвиток інших галузей промисловості. Для ілюстрації обсягів дефіциту наведемо розрахункові показники потреб промисловості на період 1939–1942 рр. (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Розрахункові дані потреб промисловості в електро-вимірювальній апаратурі і засобах автоматизації на період 1939–1942 рр. [327, с. 12]

Назва	Кількість
Щитові прилади різних типів	4 023 000 шт.
Електричні лічильники	1 307 000 шт.
Теплотехнічні вимірювальні прилади	понад 3 000 000 шт.
Лабораторне обладнання та прилади	понад 100 000 шт.
Апаратура релейного захисту та пускові пристрої	близько 2 000 000 шт.
Пристрої автоматики та телемеханіки	понад 200 000 комплектів
Щити та пульти керування	12 000 комплектів

Загальна вартість необхідної апаратури (у цінах 1926/1927 рр.) становила 4 832 млн руб. Середня річна потреба народного господарства (без урахування оборонного сектору) оцінювалася в один мільярд рублів, проте фактичне покриття цього запиту не перевищувало 15–20 % [327].

Відсутність організованої та технічно оснащеної промисловості з виробництва приладів теплового й електричного контролю негативно

позначалася не лише на функціонуванні діючих промислових об'єктів, а й на проєктуванні нових. Через дефіцит апаратури інженери були змушені спрощувати технічні рішення, що знижувало рівень організації технологічних процесів. Саме це системне відставання вітчизняного приладобудування від потреб народного господарства викликало необхідність створення та подальшого розвитку спеціалізованого електроприладобудування як фундаменту для майбутньої автоматизації виробництва [327, с. 14].

Отже, використання імпоротної електровиміральної апаратури на початку XX ст. було домінуючою ознакою. Закордонні прилади застосовувалися при створенні навчально-наукових лабораторій та на підприємствах. Практично повна відсутність вітчизняного виробництва стимулювала розгортання робіт у галузі електровимірального приладобудування. Поступово почали формуватися наукові школи на базі технічних навчальних установ, де проводилися підготовка інженерів і науковців та дослідні роботи.

Висновки до другого розділу

Отже, становлення електровиміральної техніки у XVIII–XIX ст. відбувалося в тісному взаємозв'язку з еволюцією наукових знань про електрику та магнетизм і мало поступальний характер, ознакою якого був перехід від емпіричних спостережень до формування точних кількісних методів дослідження. Основні здобутки цього періоду відбилися у створенні перших електровиміральних приладів, зокрема електроскопів, електрометрів, гальванометрів, розробленні фундаментальних законів електрики та магнетизму, а також формуванні основ метрології, зокрема принципів градуювання, калібрування та стандартизації вимірювань.

Подальший розвиток електротехніки, телеграфії та електроенергетики у другій половині XIX ст. зумовив необхідність уніфікації одиниць вимірювання та створення міжнародної системи стандартів, що забезпечило уніфікацію результатів і стало передумовою масового виробництва електровиміральних приладів. Перехід від лабораторних експериментів до промислового

застосування електрики сприяв появі практичних засобів вимірювання, орієнтованих на потреби виробництва та енергетики. Оформлення наукових засад електровимірювальної техніки відбувалося під впливом різноманітних асоціацій інженерів-електриків. Так у Великій Британії вагому роль відіграло Товариство інженерів телеграфії. Спільно з Британською асоціацією представники організацій займалися міжнародною стандартизацією базових одиниць.

Таким чином, упродовж XVIII–XIX ст. було сформовано теоретичні, методичні та технічні основи електровимірювальної техніки, що забезпечили її виокремлення наприкінці XIX ст. в самостійний науково-технічний напрям і створили підґрунтя для подальшого інституційного та технологічного розвитку цієї сфери у XX ст. Цей етап, який став методологічним, науково-технічним підґрунтям формування вітчизняної наукової школи електровимірювальної техніки і має вагоме значення у становленні електровимірювальних технологій на теренах України у XX ст.

У першій половині XX ст. на теренах України було закладено організаційні, наукові та виробничі передумови становлення науково-виробничого кластеру електровимірювальної техніки у подальші роки. Визначальним чинником інституціоналізації стала організація спеціальних кафедр у технічних ВНЗ Харкова та Києва та створення перших спеціалізованих лабораторій: електричних вимірювань у КПІ під керівництвом П. В. Окулова та електровимірювальної в ХТІ за ініціативи П. П. Копняєва. Це дало змогу розпочати наукові дослідження з електричних вимірювань, метрології, стандартизації та організувати підготовку фахівців. Поодинокі дослідження окремих учених дали змогу організувати виробництво українського електровимірювального устаткування і частково подолати залежність від імпорту. Так, виробничі майстерні КПІ стали основою для організації Київського заводу електротехнічної апаратури завдяки плідній праці А. Д. Нестеренка. Розширенням напрямку електричних вимірювань в ХТІ стало створення прецизійних майстерень, де було також налагоджено випуск високоточних

приладів. У 1930-ті рр. було розширено мережу профільних кафедр, спеціальних лабораторій та систему підготовки фахівців з електричних вимірювань.

Визначальне значення для становлення наукового підґрунтя науково-виробничого кластеру на теренах України у другій половині ХХ ст. мала діяльність професора Р. Дзесьлевського, очільника електротехнічної кафедри Цісарсько-королівської Вищої технічної школи Львова. Подальші дослідження професора В. Круковського у Львівській політехніці стали основою для поглиблення наукових досліджень та створення нових наукових напрямів. Дослідники експериментальної лабораторії № 1 розробляли вимірювальні прилади, які були впроваджені у серійне виробництво. Крім того, розвитку набули дослідження у галузі метрології і стандартизації. Розроблення та наступне впровадження стандартів сприяло створенню нових типів вимірювальних приладів для потреб промисловості. Незважаючи на те, що до 1939 р. Львів не був частиною України, діяльність наукової школи Львівської політехніки на початковому етапі потрібно враховувати.

РОЗДІЛ 3

ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ
В УКРАЇНІ (1946 р. – кінець 1960-х рр.)

3.1 Організація науково-виробничого кластеру електровимірювальної техніки

Повоєнна відбудова промислового комплексу, оборонної промисловості та енергетики після завершення Другої світової війни вимагала впровадження нових технологій та устаткування, що відбилося на складності електротехнічних систем і зумовило підвищення вимог до точності, надійності та уніфікації вимірювань. Відбудова народного господарства вимагала відновлення та розширення енергетики, зокрема будівництва нових електростанцій та мережі ліній електропередачі. Це потребувало великої кількості контрольно-вимірювальних приладів. Електричні вимірювання ставали невід'ємною частиною технологічних процесів, а електровимірювальна техніка – рушійною силою науково-технічного прогресу, основою для розвитку радіоелектроніки, обчислювальної техніки та автоматизованих систем управління.

У 1946 р. було створено Головне управління заводами точних електровимірювальних приладів, яке виконувало координаційні та організаційні функції і спрямувало розвиток електроприладобудування у межах централізованої державної політики [303, с. 263]. Розширення упродовж 1950-х рр. мережі спеціалізованих підприємств, конструкторських бюро, науково-дослідних підрозділів, профільних кафедр у технічних ВНЗ стало основою для інституційного оформлення цього науково-технічного напрямку та формування науково-виробничого кластеру, що став важливою складовою повоєнної модернізації сфери електровимірювальної техніки. Цей кластер сформувався як результат поєднання наукових досліджень, освітньої підготовки кадрів і промислового виробництва в умовах централізованої системи управління.

Вагомі наукові дослідження проводилися вченими в Інституті електротехніки АН УРСР (ІЕ АН УРСР), де у 1947 р. було створено лабораторію електричних і магнітних вимірювань, керівник А. Д. Нестеренко [294, арк. 108–109]. Вони враховували світові досягнення, зокрема винахід германієвого транзистора, який став важливим чинником у подальшому розвитку вимірювальної техніки. Численні дослідження науковців різних країн заклали основу для експериментального створення точкових і площинних транзисторів. Вирішальний крок було зроблено у 1947 р. дослідницькою групою лабораторії «Bell Telephone Laboratories» у складі Джона Бардіна, Волтера Браттейна та Вільяма Шоклі, які використали для отримання «транзисторного ефекту» голчасті електроди на поверхні германію [6]. Дату 16 грудня 1947 р., коли цей твердотільний підсилювач продемонстрував стабільну роботу, вважають днем народження першого транзистора [54].

Наукова новизна винаходу транзистора полягала у використанні властивостей напівпровідників, що базуються на одночасному існуванні та взаємодії негативних носіїв заряду (електронів) і позитивних (дірок). Це дало змогу вперше створити триелектродний підсилювальний пристрій на твердотільній основі. Навіть перші зразки точкових транзисторів, попри їхню технологічну недосконалість, продемонстрували суттєві переваги над електронними лампами. З цього моменту до вивчення потенціалу напівпровідникової техніки почали залучати широке коло фахівців – радіофізиків та електриків. Інтенсифікувалися науково-дослідні, конструкторські та технологічні роботи зі створення пристроїв, принцип дії яких базувався на використанні електронно-діркового (p-n) переходу [56].

У 1951 р. В. Шоклі створив і запатентував більш технологічну конструкцію площинного біполярного транзистора [7]. У наступне десятиліття той же В. Шоклі та інші винахідники, переважно з США, отримали ряд патентів на польові транзистори різних типів. Одночасно з науковою та винахідницькою діяльністю в США розпочала бурхливий розвиток нова високотехнологічна галузь техніки. На початку 1960-х рр. розробленням та виробництвом

напівпровідникових приладів займалися вже понад 60 фірм. У 1961 р. обсяг виробництва напівпровідникових приладів у США вже значно перевищував обсяг виробництва електронних ламп [64]. Цей процес ще більше посилювався з розвитком мікроелектроніки та появою інтегральних схем. У 1950-х рр. було розроблено перші гібридні інтегральні схеми, а на початку 1960-х рр. – монолітні інтегральні схеми. На їх основі стало можливим проєктування пристроїв нового функціонального призначення. Так, вже у 1959 р. американська фірма «Бур-Браун» («Burr-Brown») продавала перші операційні підсилювачі на німецьких транзисторах [339].

Над створенням перших в СРСР точкових транзисторів працювали науковці Інституту фізики АН УРСР під керівництвом В. Є. Лашкарьова. Аналіз публікацій та цитування наукових праць вченого підтверджує, що видатний український фізик є фактичним першовідкривачем р-n-переходу в напівпровідниках та піонером у розробці елементної бази для вітчизняних електронних обчислювальних машин (ЕОМ) [310].

Ще у 1941 р. В. Є. Лашкарьов експериментально відкрив фізичне явище електронно-діркової дифузії в мідно-закисних випрямлячах. Це відкриття стало фундаментом для подальшої роботи, завдяки якій під його керівництвом на початку 1950-х рр. в Україні було створено перші напівпровідникові тріоди – транзистори. Хоча наукове досягнення В. Є. Лашкарьова за рівнем відповідало Нобелівській премії, світове визнання його пріоритету у створенні першого напівпровідникового діода утверджується в науковій спільноті саме в останні десятиліття [231, с. 10–11; 348].

Здобутки у галузі напівпровідникової електроніки стали технологічною базою для нових теоретичних обґрунтувань та практичних рішень у сфері електровимірювань, що активно розроблялися науковцями ІЕ АН УРСР. У лабораторії електричних та магнітних вимірювань під керівництвом А. Д. Нестеренка здійснювалися фундаментальні дослідження методів вимірювання електричних величин.

Науковий шлях А. Д. Нестеренка тісно пов'язаний із розвитком

електровимірювальної техніки, тому його біографію варто розглянути окремо (додаток Д). А. Д. Нестеренко – провідний український вчений, електротехнік, доктор технічних наук, професор, член-кореспондент АН УРСР. Він народився 6.04.1899 р. у с. Благодатне (нині – Миколаївська обл.) у родині сільського вчителя. Після закінчення Златопільської гімназії упродовж 1917–1926 рр. навчався в КПІ. Тут же розпочалася його трудова діяльність: працював електромонтером при електротехнічних лабораторіях інституту, далі працював викладачем в КПІ, потім в КЕІ та КІІ. Упродовж 1945–1956 рр. був завідувачем кафедри електроприладобудування КПІ [151, арк. 1–12].

Викладацьку діяльність А. Д. Нестеренко органічно поєднував з науково-організаційною роботою. Він був засновником та керівником низки лабораторій електричних вимірювань: у КПІ (1926–1928 рр.), на Київському кабельному заводі (1928–1930 рр.), у Енергетичному інституті АН СРСР (м. Москва, 1936–1938 рр.) [147, арк. 1] був консультантом і керівником робіт з електричних вимірювань у Київській філії Всесоюзного НДІ променергетики (1931–1934 рр.). У передвоєнний період та у роки Другої світової війни вчений долучився до розбудови електроприладобудівної промисловості на посадах головного конструктора Київського заводу електротехнічної апаратури (1938–1941 рр.), головного конструктора заводу п/с 86 та заводу № 634 (м. Омськ, 1941–1944 рр.). У 1943–1945 рр. він був членом Радянської закупівельної комісії у США [266, арк. 111–112].

А. Д. Нестеренко ініціював низку дослідних проєктів для потреб промисловості. Зокрема, відбувалася плідна співпраця з лабораторією електровимірювальних мостів заводу «Точелектроприлад» (керівник лабораторії – О. А. Будницька). Розроблена апаратура для перевірки вимірювальних трансформаторів струму і напруги, потенціометри змінного струму (Р56 та ін.), однофазні і трифазні фазометри (Д-510), низка мостів змінного струму та інші прилади були впроваджені у серійне виробництво [266, арк. 139–140].

Понад 30 років А. Д. Нестеренко працював в АН УРСР: в Інституті енергетики (1944–1947 рр.), Інституті електротехніки (1947–1963 рр.), де

упродовж 1952–1959 рр. був директором, Інституті електродинаміки (1963–1975 рр.) [261, арк. 5–7]. Вчений став розробником нових оригінальних методів створення електровимірювальних приладів та їх конструкції. За роботу з перевірки вимірювальних трансформаторів у 1935 р. отримав премію імені Д. І. Менделєєва. Відзначений державними нагородами, Лауреат Державної премії СРСР (1951 р.) та Державної премії УРСР (1978 р.). Науковий керівник 19 кандидатів наук та 4 докторів наук. А. Д. Нестеренко автор понад 80 наукових праць, присвячених теоретичним основам електротехніки, електричним та магнітним вимірюванням, розробці теорії фазометрів та систем автоматичного врівноважування [222, с. 127].

Наукові дослідження фахівців лабораторії електричних вимірювань ІЕ АН УРСР були зосереджені на розробленні методів і апаратури для випробування феромагнітних матеріалів у постійному магнітному полі [169, арк. 3–6], а також на розвиненні загальної теорії вимірювальних електричних та електронних кіл. На основі цих теоретичних положень колективом учених під керівництвом А. Д. Нестеренка та майбутнього академіка Ф. Б. Гриневича було обґрунтовано нові принципи побудови різних типів надвисокоточних приладів для електричних та магнітних вимірювань, створено новий клас цифрових вимірювальних мостів і розроблено низку еталонів. Саме у цей період в інституті розпочалося формування наукової школи з електричних і магнітних вимірювань, представниками якої стали Є. О. Андрієвський, А. Д. Ніженський, А. І. Новік, М. М. Сурду, С. Г. Таранов та З. Я. Монастирський [85].

Отже, створення лабораторії електричних вимірювань в ІЕ АН УРСР під керівництвом А. Д. Нестеренка мало фундаментальне значення для становлення вітчизняної наукової школи електроприладобудування. Завдяки діяльності лабораторії вдалося забезпечити перехід до якісно нових принципів побудови вимірювальних систем, що дозволило значно підвищити точність і надійність контролю параметрів складних технічних об'єктів.

Створення профільних кафедр та спеціалізованих лабораторій пожвавило науково-дослідну діяльність представників технічних ВНЗ. Значного розвитку

набули дослідження в галузі електроприладобудування в ЛПІ. З 1945 р. кафедру «Електричні вимірювання та прилади» очолював один із засновників наукової школи з теорії електричних вимірювань та вимірювальних інформаційних систем, професор Костянтин Борисович Карандєєв (Додаток Е).

Його внесок в організацію електротехнічних та радіотехнічних спеціальностей Львівської політехніки та розвиток наукових досліджень на теренах України дуже вагомий. Науковець мав досвід наукової та організаційної роботи, накопичений під час діяльності на посаді заступника директора Всесоюзного науково-дослідного інституту імені Менделєєва, заступника директора з наукової роботи Державного інституту мір і вимірювальних приладів, завідувача кафедри, декана і проректора ЛПІ, завідувача відділу автоматизації машинобудівної промисловості Інституту машинознавства та автоматики АН УРСР [265, арк. 6–9].

В ЛПІ талановитий вчений-електротехнік, академік АН СРСР та АН УРСР О. О. Харкевич разом з К. Б. Карандєєвим створили експериментальну лабораторію № 1. В цій лабораторії були створені і впроваджені у серійне виробництво десятки засобів електровимірювальної техніки [15, с. 169]. Зокрема, наприкінці 1945 р. було укладено з Фізичним інститутом АН СРСР перший господарський договір, який передбачав розроблення та виготовлення зразків спеціальних приладів, (науковий керівник – О. О. Харкевич, відповідальний виконавець – К. Б. Карандєєв). Другий договір було укладено з львівським заводом № 87, підпорядкованим Міністерству авіаційної промисловості СРСР. У межах цієї угоди група фахівців під керівництвом К. Б. Карандєєва здійснювала комплекс робіт: проєктування, монтаж, налагодження зразків контрольно-вимірювальної апаратури [98].

Слід зазначити, що завод № 87 (в подальшому завод «Львівприлад») був побудований на початку 1945 р. на місці кустарних майстерень. Обладнання привезли з Німеччини в рахунок репарацій, а працівників – з росії. Спочатку підприємство мало назву «поштова скринька № 49 і спеціалізувалося на виробництві стрілочних електровимірювальних приладів для авіапрому [240, с. 70].

Наукові інтереси К. Б. Карандєєва, окрім фундаментальних питань електричних вимірювань, охоплювали актуальні проблеми приладобудівної електроавтоматики, геофізичного приладобудування, метрології (див. рис. 3.1). Йому було притаманне особливе наукове передбачення, що дозволило визначити перспективні напрями розвитку цієї сфери, зокрема впровадження напівпровідникових елементів. К. Б. Карандєєв автор першої в СРСР монографії, присвяченої напівпровідниковим приладам, у якій основна увага приділялася їхньому застосуванню у вимірювальній техніці [193].

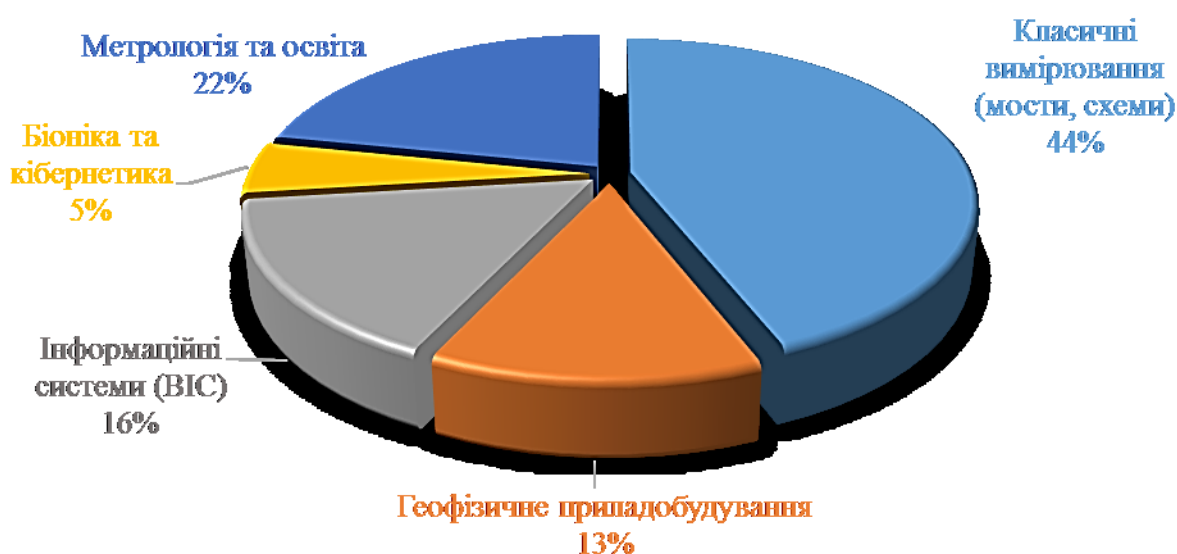


Рисунок 3.1 – Тематичний розподіл праць К. Б. Карандєєва [265, арк. 33–45]

Напрями наукових пошуків К. Б. Карандєєва були спрямовані на розроблення нових методів та засобів автоматичних електричних вимірювань (електрометрія), мостових методів вимірювань у науці та техніці. Прогнозуючи світовий розвиток мостових методів вимірювання К. Б. Карандєєв залучав до спільної роботи своїх учнів: Ф. Б. Гриневича (у подальші роки доктор технічних наук, професор, член-кореспондент АН УРСР, академік НАН України, почесний академік міжнародної інженерної академії.), Б. І. Швецького (у подальші роки доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електронно-обчислювальної техніки інституту НУ «Львівська політехніка») та ін. [146, с. 2].

Варто відзначити, що мостові методи вимірювань набули надзвичайно широкого застосування, зокрема в дослідженнях властивостей діелектриків,

провідників та напівпровідників, а також у науковому вивченні характеристик електролітів, діелектричних рідин та в кондуктометрії. Ці методи стали незамінними для вимірювання рівня рідин у резервуарах, у тому числі в ракетних установках, а також для реєстрації мікропереміщень і вібрацій з високою роздільною здатністю [191].

Упродовж 1950-х рр. на кафедрі «Електричні вимірювання та прилади» ЛПІ було розроблено теоретичні основи побудови та технічні рішення для цифрових мостів і потенціометрів декількох типів. На базі цих досліджень було виготовлено діючі експериментальні макети, а також створено перший в СРСР цифровий електромеханічний вольтметр. Авторами цієї розробки стали К. Б. Карандеєв, А. Я. Шрамков, С. С. Обозовський та М. В. Кіріанакі [304, с. 1]. Поступово науково-дослідна робота кафедри сформувалася у новий напрям: дослідження цифрових електровимірювальних приладів, започаткований К. Б. Карандеєвим і А. Я. Шрамковим. Теоретичні дослідження ґрунтувалися на практичній реалізації, а розроблені наукові рішення були захищені авторськими свідоцтвами [78; 79].

За ініціативи К. Б. Карандеєва з 1955 р. у Львові почали проводитися Всесоюзні наукові конференції з електричних вимірювань і приладобудування. Окрім обговорення перспективної наукової тематики, на цих форумах порушувалися гострі питання розбудови вітчизняної галузі, зокрема наголошувалося на майже повній відсутності координації науково-дослідних робіт у сфері електричних вимірювань. На той час функції стратегічного управління та планування належали виключно загальносоюзним організаціям, що часто не враховували специфіку регіональних наукових осередків [188].

В 1956 р. розпочалися науково-пошукові і дослідницькі роботи за темою 62/56 на замовлення СКБ Ленінградського заводу «Вібратор» з метою створення теоретичних і практичних основ розроблення цифрових електромеханічних вимірювальних приладів. В той час ці питання у вітчизняній літературі практично не висвітлювалися. Основна увага була зосереджена на автоматизації

процесів вимірювання та вдосконаленні аналогових електровимірювальних приладів [265, арк. 178].

В 1957–1958 рр. був розроблений перший в Союзі макет переносного автоматичного чотирьохдекадного цифрового вольтамперметра постійного струму і з п'ятьма діапазонами вимірювань, зокрема 100 мВ, з кроком квантування 0,01 мВ і з автоматичним вибором полярності. Випробування отримали позитивні результати, що дало підстави для отримання патенту. Підсумки дослідної роботи зі створення цифрового вольтамперметра доповідалися на конференції ЛПІ у 1958 р. та на Всесоюзній конференції з автоматичного контролю і методів електричних вимірювань у Новосибірську (1959 р.). За період від початку роботи над приладом до 1960 р. було подано заявки та отримано десять авторських свідоцтв на винаходи [265, арк. 179–180].

У 1958 р. К. Б. Карандєєва було запрошено на посаду директора Інституту автоматики та електрометрії АН СРСР. Його переїзд зі Львова до Новосибірська відбувся разом із групою наукових співробітників, до складу якої входили: Ф. Б. Гриневич, Б. С. Сініцин, Г. А. Штамбергер, І. Ф. Клісторін. Пізніше доєднався д.т.н. В. П. Сігорський. Крім того, було запрошено ще понад 30 співробітників ЛПІ та Інституту машинобудування та автоматики АН УРСР, а також 10 випускників 1958 р. із ЛПІ. У 1967 р. К. Б. Карандєєв повернувся до ЛПІ і працював професором-консультантом на кафедрі електричних вимірювань. К. Б. Карандєєв є засновником наукової школи з теорії електричних вимірювань та вимірювальних інформаційних систем [146, с. 2]. Професор К. Б. Карандєєв – автор п'ятнадцяти монографій та навчальних посібників, а також понад 250 наукових статей та авторських свідоцтв на винаходи (рис. 3.2, 3.3).

Ретроспективний аналіз наукового доробку К. Б. Карандєєва дозволив встановити, що його фундаментальний внесок полягав у створенні методологічного та алгоритмічного підґрунтя автоматизації вимірювань, яке стало інтелектуальним базисом для успішного впровадження мікроелектроніки та переходу до прецизійних цифрових інформаційно-вимірювальних систем.

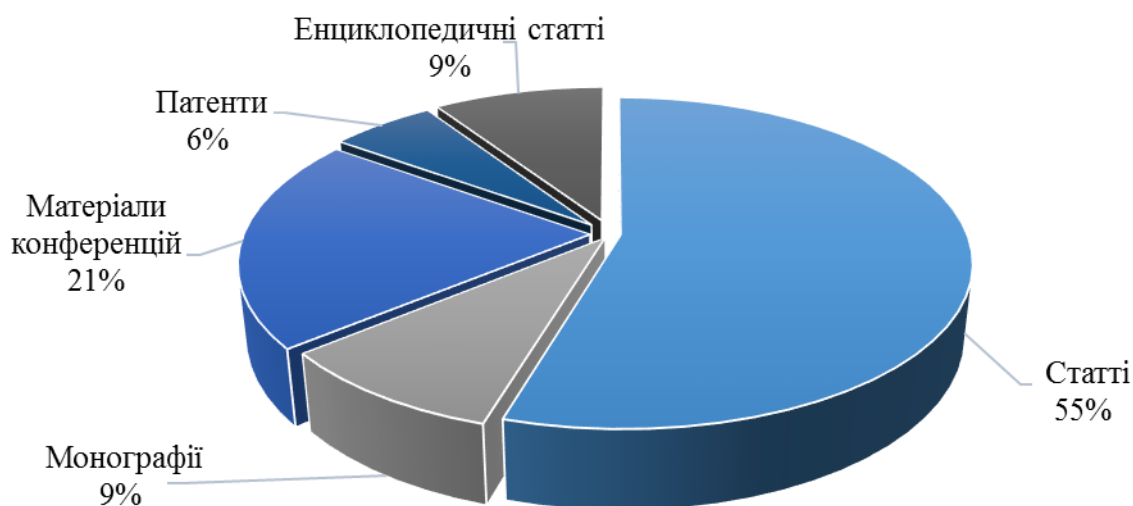


Рисунок 3.2 – Типологія видань К. Б. Карандєєва [265, арк. 33–45]

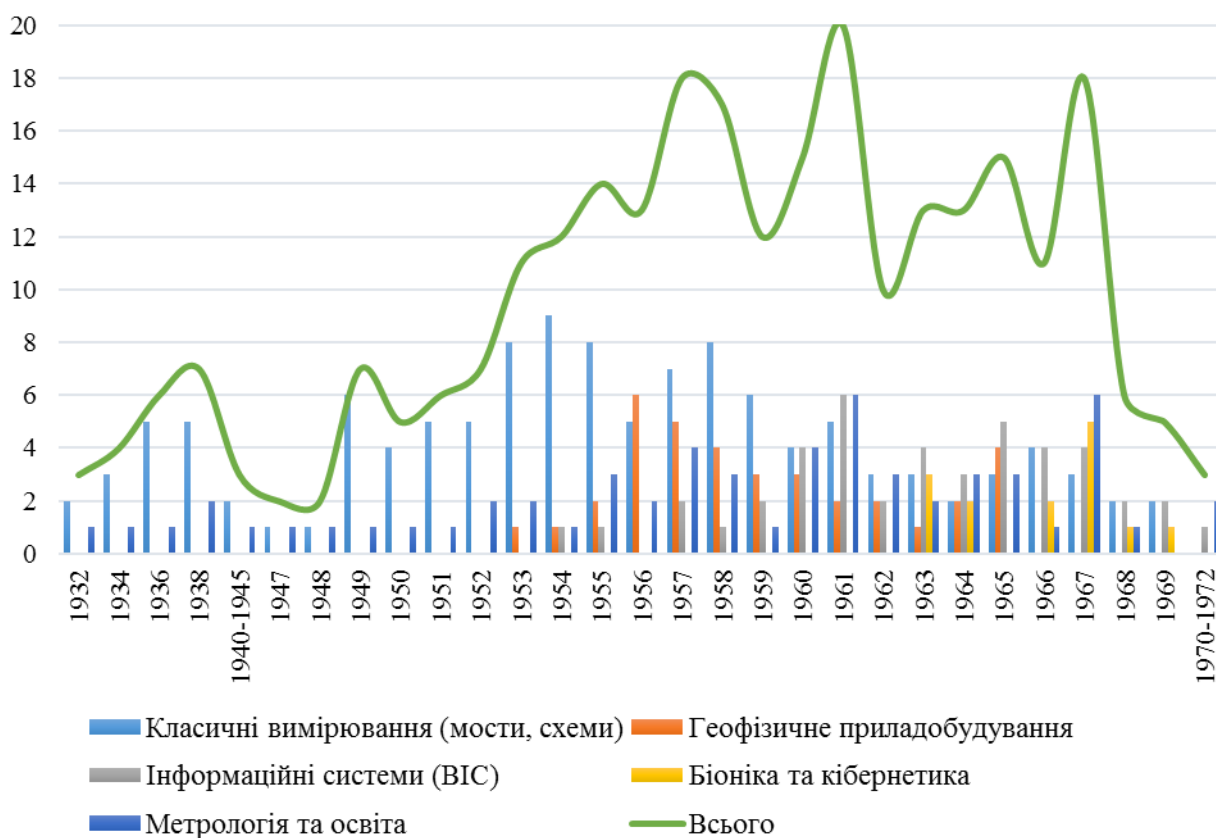


Рисунок 3.3 – Динаміка публікаційної активності К. Б. Карандєєва [265, арк. 33–45]

З 1958 р. кафедру очолив один із учнів К. Б. Карандєєва доцент А. Я. Шрамков, талановитий винахідник, який отримав 26 авторських свідоцтв. За його керівництвом розвивалися дослідження та розроблення приладів з квадратичною характеристикою випрямлення, вимірювання опору і термометрії.

Для аспірантів і співробітників кафедри А. Я. Шрамков ініціював створення науково-технічної бібліотеки, де частина фондів була представлена технічною літературою німецькою та англійською мовами [158, с. 10].

У цей час при кафедрі створено науково-дослідну лабораторію, першими керівниками науково-дослідних робіт її стали доценти В. О. Кочан та Є. І. Шморгун. За ініціативи А. Я. Шрамкова подальшого розвитку набули дослідження та розроблення приладів з квадратичною характеристикою випрямлення, вимірювання опору і термометрії [158, с. 10–11].

Характерною ознакою розвитку наукових досліджень та навчального ЛПП була комплексність. Так, при кафедрах діяли науково-дослідні лабораторії й виробничі майстерні, в яких виконувалися держбюджетні та госпдоговірні роботи [149]. Результати наукових досліджень використовувалися як вагома складова лекційних матеріалів. Поєднання теоретичних основ і результатів практичних експериментів робило лекції актуальними і цікавими. Це сприяло залученню до наукових досліджень талановитих молодих науковців. Так, у Першій експериментальній лабораторії № 1 та науково-дослідному секторі НДС-1 (1961–1973 рр. – Відділ електронного вимірювального приладобудування (ВЕВП), далі 1973–1988 рр. – Особливе конструкторське бюро (ОКБ), з 1988 р. – Науково-дослідний конструкторський інститут електронної вимірювальної та обчислювальної техніки (НДКІ ЕЛВІТ)) створених ще у 1945 р. О. О. Харкевичем, працювали Б. Й. Швецький, Р. С. Кравцов, І. М. Вишенчук, Г. О. Асаєвич, М. Т. Фучила. З 1958 р. експериментальну лабораторію № 1 та НДС-1 очолював Б. Й. Швецький. Зростання штату лабораторії спиралося на суворий добір перспективної молоді зі студентського середовища. Вимоги включали не тільки високий рівень знань, а й наявність практичних навичок [349, с. 4–5]. Логічним завершенням будь-якої науково-дослідної роботи Б. Й. Швецький вважав обов'язкове створення діючого зразка, який згодом мав бути впроваджений у серійне виробництво. Таким чином, для кожної своєї розробки науковець одночасно формував необхідну інструментально-технологічну базу [308].

Вже наприкінці 1950-х рр. експериментальна лабораторія № 1 мала монтажний, слюсарний відділи, верстатний цех, конструкторське бюро, керівництво якими Б. Й. Швецький доручив науковим співробітникам М. Д. Марченку, В. І. Видоняку та І. Г. Грибку. Важче було знайти фахівця зі спеціальної хімії, зокрема літографії панелей приладів та друкованих плат. Б. Й. Швецький прийняв нестандартне рішення. Він доручив цю частину роботи студенту радіотехнічного факультету Г. О. Асаєвичу, розраховуючи на його працездатність і відповідальність. За короткий термін було створено сучасну хімічну лабораторію без закупівлі закордонного обладнання. Ця лабораторія працює і сьогодні [349, с. 5].

В експериментальній лабораторії було виготовлено низку вимірювальних приладів: вимірювальний підсилювач, осцилограф постійного струму, генератор інфранизьких частот, частотомір, фазометр, міст змінного струму та багато спеціалізованих систем. Всі вони характеризувалися оригінальними підходами у вирішенні математичного підґрунтя, схемотехнічних принципів, технології виготовлення і дизайну [197]. Результати наукових досліджень були впроваджені у масове виробництво і були імпортовані в багатьох країнах світу. Крім того, вимірювальні прилади, розроблені у лабораторії, відзначалися преміями на закордонних (Канада, Франція, Німеччина тощо) та всесоюзних виставках. Близько двадцяти науковців отримали золоті, срібні та бронзові медалі ВДНГ [281, арк. 7–9]. Здобутки наукової школи професора Б. Й. Швецького були визнані вітчизняною науково-технічною спільнотою та за кордоном.

Б. Й. Швецький був ініціатором розгортання на теренах України інноваційних науково-дослідних робіт з дослідження та проєктування електронних цифрових вимірювальних приладів. Значна складова дослідних робіт охоплювала питання досліджень систем збору інформації від первинних перетворювачів різноманітних фізичних параметрів, включаючи параметри, необхідні для дослідження світового океану та об'єктів навколишнього середовища. У 1954 р. з'явилися перші публікації, присвячені створенню цифрових вимірювальних приладів на електромагнітних елементах за кордоном.

Ознайомлення з цими науковими дослідженнями підтвердило думку Б. Й. Швецького про перспективність електронних приладів. Під його керівництвом в ВЕВП розробили перший в Україні електронний цифровий вольтметр В7-8, який було упроваджено в серійне виробництво у 1961 р. [98].

Важливе місце у розвитку електровимірювальної техніки належить кафедрі електроприладобудування КПІ. Заснована у 1945 р. за ініціативи А. Д. Нестеренка, який і став першим завідувачем. Відразу у 1944 р. відбувся перший набір студентів. Колектив кафедри був невеликий: А. Д. Нестеренко, аспірант П. П. Орнатський (далі провідний фахівець в галузі електроприладобудування, доктор технічних наук, професор) та старший лаборант А. Н. Саратов. Розпочалися роботи зі створення необхідної матеріально-технічної бази для організації науково-дослідної роботи. У 1955 р., через велике навантаження А. Д. Нестеренка на основній роботі, керівництво кафедрою перебрав П. П. Орнатський [171, с. 422].

Доцільно зосередити увагу на біографії провідного фахівця з електровимірювальної техніки та метрології П. П. Орнатського. Петро Павлович Орнатський народився у Києві у родині викладача КПІ. Виявивши здібності до точних наук, у 1933 р. він вступив до Київської політехніки, а 1938 р. закінчив електротехнічний факультет, отримавши диплом інженера-електрика з відзнакою. Упродовж 1938–1941 рр. служив у лавах армії, брав участь у будівництві електрозагороджувальних споруд на Карельському перешийку. Далі отримав призначення на посаду командира електротехнічного взводу у складі 43-го окремого саперного батальйону 8-ї спеціальної експедиційної бригади. Після демобілізації з лютого до червня 1941 р. П. П. Орнатський працював інженером-конструктором на заводі «Точелектроприлад» у м. Києві [144, с. 69–71]. Після закінчення Другої світової війни, П. П. Орнатський упродовж 1945–1949 рр. навчався в аспірантурі КПІ. У червні 1949 р. під керівництвом А. Д. Нестеренка він захистив кандидатську дисертацію, присвячену дослідженню електронних ватметрів та детекторних фазометрів [233].

Працював доцентом кафедри електроприладобудування, а з вересня 1955 р. очолив цю кафедру, яка згодом стала кафедрою інформаційно-вимірювальної техніки. У 1956 р. П. П. Орнатський отримав вчене звання професора, а у 1967 р. захистив дисертацію та отримав вчений ступінь доктора технічних наук [354, с. 7].

За ініціативи П. П. Орнатського було значно розширено напрями наукової діяльності та розвинено спеціальності кафедри. Це сприяло формуванню системної підготовки фахівців у галузі метрології та приладобудування. Результати наукових досліджень професорсько-викладацького складу кафедри були впроваджені у засобах вимірювальної техніки, що серійно випускалися вітчизняною промисловістю. Зокрема, виконувалися науково-дослідні роботи на замовлення приладобудівних заводів Києва, Житомира, Таллінна та Омська. Результатом цієї співпраці стало впровадження у серійне виробництво понад десяти типів цифрових і аналогових вимірювальних приладів та перетворювачів [354, с. 7].

У 1958 р. П. П. Орнатський у співавторстві з А. Д. Нестеренком видав фундаментальний навчальний посібник, присвячений конструюванню вузлів та деталей вимірювальних пристроїв. Ця робота стала базовою методичною основою для підготовки інженерів-конструкторів приладобудівного профілю багато років. Цей посібник упродовж 1958–1966 рр. перевидавався декілька разів [252].

Подальшим етапом наукової діяльності вченого стало теоретичне узагальнення принципів роботи автоматичних засобів вимірювань. На основі розробленого ним структурного підходу П. П. Орнатський представив єдину теорію побудови аналогових перетворювачів та цифрових пристроїв, запропонував розгорнуту класифікацію автоматичних вимірювальних приладів [257]. За вагомий внесок у розвиток вищої освіти та створення підручника (після виходу його третього видання) П. П. Орнатський у 1973 р. був удостоєний Державної премії УРСР у галузі науки і техніки. У 1983 р. вийшла друком

фундаментальна праця П. П. Орнатського, у якій автор узагальнив та систематизував базові теоретичні визначення інформаційно-вимірювальної техніки. Структурованість викладу матеріалу та охоплення методологічних основ профільної спеціальності забезпечили виданню надзвичайну популярність у навчальному процесі та серед фахівців галузі [259].

Значний внесок зробив професор П. П. Орнатський у підготовку наукових кадрів. Під його науковим керівництвом було захищено понад 50 кандидатських та 6 докторських дисертацій, розроблено й впроваджено науково-дослідні розробки світового рівня [354]. Все це дає підстави вважати професора П. П. Орнатського фундатором вітчизняної школи метрологів і приладобудівників.

Важливим аспектом професійного шляху П. П. Орнатського стала його активна науково-громадська діяльність. Вчений брав участь у численних науково-технічних форумах різного рівня, з 1967 р. був членом підкомітету з вищої освіти у галузі вимірювальної техніки Міжнародного конгресу з вимірювань (ІМЕКО). Головував на засіданнях Технічного комітету ІМЕКО з питань вищої освіти та був постійним доповідачем з різних проблем метрології та особливостей підготовки фахівців з метрології та вимірювальної техніки [144, с. 70].

Крім того, професор П. П. Орнатський разом із колегами долучився до створення галузевої енциклопедії з питань вимірювань і контролю, а також російсько-українського словника метрологічної термінології. Робота над цими виданнями дозволила об'єднати мовні, термінологічні та методологічні підходи до основних понять метрології, що формувалися у професійному середовищі протягом чверті століття. Основні результати цього синтезу, зокрема зв'язок метрології з методами наукового пізнання та експериментальною інформатикою, П. П. Орнатський пізніше узагальнив у своєму посібнику, присвяченому методологічним основам науки про вимірювання [258]. Із здобуттям Україною незалежності розпочався процес розбудови національної системи стандартизації.

У межах цієї роботи П. П. Орнатський очолив авторський колектив із розроблення засадничого державного стандарту ДСТУ 2681-94, який закріпив базові поняття та терміносистему вітчизняної метрології [159]. Крім того, під його керівництвом було сформовано термінологічну базу для електронних засобів вимірювання електричних і магнітних величин [160]. Ці документи заклали фундамент для уніфікації науково-технічної мови та методології вимірювань.

Друга половина 1950-х рр. для кафедри електроприладобудування КПІ під керівництвом П. П. Орнатського позначилася інтенсифікацією науково-виробничої співпраці з провідними промисловими підприємствами. Було створено першу в СРСР термоелектричну вимірювальну установку для перевірки приладів до 200 Гц; розроблено та впроваджено у серійне виробництво на заводі «Точелектроприлад» установки для перевірки фазометрів ЕЛФ1 [232, арк. 4]; спроектовано серію низькочастотних приладів для потреб Ленінградського заводу «Електросила» [316, арк. 8–10].

Відбувалося й поживавлення дослідної роботи аспірантів і студентів. Аспірантом Ю. А. Скрипником розроблено високоточну установку для індикації 90°-ного зсуву фаз; студенти В. Дем'яненко та В. С. Гнатюк отримали золоті медалі за оригінальні феродинамічні електромагнітні вольтметри на Всесвітній виставці у Брюсселі в 1958 р. [273, арк. 63–64]; студенти Ю. М. Туз і В. Д. Ціделко створили перспективні конструкції електромагнітних приладів для «Точелектроприладу» [274, арк. 74–78]. У подальшому аспірантом Ю. М. Тузом (далі доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизації експериментальних досліджень) було розроблено високоточний електронний вольтметр змінного струму з широким діапазоном частот, що 10 років поспіль серійно випускав завод «Радіоприлад» під маркою ВЗ-20 [275, арк. 33–34].

Спеціальну кафедру у КПІ було створено пізніше, але з 1948 р. на електроенергетичному факультеті ХЕТІ на кафедрі «Прилади автоматики і телемеханіки» (далі «Автоматичні і вимірювальні пристрої») були розпочаті дослідні роботи у сфері електровимірювальної техніки та підготовка фахівців за

новою спеціалізацією «Електровимірювальна техніка». Підготовка інженерів відбувалася за прискореною навчальною програмою та звичайним графіком навчання. Перший випуск інженерів за цією спеціалізацією (26 осіб) відбувся в 1954 р. [198, арк. 3].

У цей період в ХПІ поступово розгорталася науково-дослідна та дослідно-конструкторська діяльність з проєктування електровимірювальних приладів. Впродовж 1953–1955 рр. кафедрами інституту, зокрема теоретичних основ електротехніки, автоматичних і вимірювальних пристроїв, електричних апаратів, було виконано понад десять спільних робіт на замовлення Харківського електромеханічного заводу. Дослідження, що проводилися за бюджетною та госпдоговірною тематикою, охоплювали модернізацію методів розрахунку вимірювальних систем, а також розроблення нових типів апаратів і пристроїв автоматики на основі аналітичного та експериментального вивчення процесів. До наукової роботи активно залучався провідний викладацький склад, зокрема К. С. Полулях, О. П. Сукачов, Ф. А. Ступель, О. В. Федоров, Б. Ф. Вашура та інші [91, арк. 2–4].

Таким чином, характерною рисою становлення електроприладобудування упродовж 1946–1950-х рр. стало утвердження традицій наукових шкіл в академічних та університетських центрах, діяльність яких сприяла накопиченню теоретичних знань та удосконаленню методик вимірювань.

Центральне місце у науково-виробничому кластері належало промисловим підприємствам, на базі яких відбувалася практична інтеграція наукових, освітніх та виробничих компонентів у єдину систему. Така взаємодія забезпечувала поступальний розвиток сфери електровимірювальної техніки.

Наприкінці 1940-х рр. підприємства електровимірювального спрямування не задовольняли зростаючого попиту, оскільки більшість із них орієнтувалася на вузькі внутрішні потреби та підпорядковувалася різним міністерствам, що гальмувало системний розвиток виробництва. Так, Київський електроремонтний механічний завод тресту «Союзенергоремонт» належав до Міністерства електростанцій СРСР [203, арк. 1], завод № 786 – до Головного управління

«Головелектроточприлад» Міністерства електропромисловості СРСР [202, арк. 1], Київський завод «Електроприлад» – до Міністерства сільського господарства [201, арк. 1], Київський завод електровимірювальної апаратури треста «Арммережа» Головелектромережбуду – до Міністерства електростанцій СРСР [205, арк. 1], Київський завод контрольно-вимірювальних приладів «КВП» – до Головного управління харчової промисловості Міністерства харчової промисловості СРСР [204, арк. 1–2], Київський завод «Газапарат» № 7 – до Міністерства машинобудування та приладобудування СРСР [164, арк. 1]. Безумовно, це заважало цілісному формуванню цього сектору приладобудівної галузі.

Для ліквідації дефіциту в електровимірювальних приладах ЦК КППС та Рада Міністрів Союзу Радянських Соціалістичних Республік (РМ СРСР) запропонували заходи для покращення ситуації. Було ухвалено рішення щодо нарощування обсягів виробництва приладів, як за рахунок реконструкції існуючих заводів, так і будівництва нових. У листі № 04-4-5/3979 від 9 серпня 1951 р. від Міністерства електропромисловості СРСР директору заводу № 786 п/с 58 (з 1954 р. Київський завод «Точелектроприлад») директору заводу С. Г. Волику запропоновано збільшити виробництво електровимірювальних приладів, дозволених до перевиконання (астатичних приладів класу 0,2 та 0,5, приладів КВП, мостів для діелектричних втрат) (табл. 3.1), та терміново приступити до підготовки виробництва мегомметрів та електростатичних вольтметрів для забезпечення випуску їх у 1952 р., крім того у 3 кварталі завод повинен зосередити свою увагу на закінченні будівництва лабораторного корпусу та ввести його в експлуатацію [285, арк. 27].

Варто відзначити, що навіть унікальні та малосерійні прилади (вольтметри ЕЛВ, ватметри ЭДВ, фазометри ЭЛФ, гальванометри ВГ, трансформатори УТТ-6, апарати АТТ та ін.) у 1951 р. підлягали обов'язковій державній повірці на загальних підставах і не підпадали під спрощені умови (лист Уповноваженого Комітету у справах мір та вимірювальних приладів при Київському облвиконкомі від 25 лютого 1951 р.) [285, арк. 9].

Таблиця 3.1 – Номенклатура виробів у 1951 р., заводу № 786*

№	Найменування	Тип
1.	Амперметри і вольтметри класу 0,5	Усіх типів
2.	Амперметри і вольтметри класу 0,2	Усіх типів
3.	Комплекти вимірювальних приладів	КІП
4.	Магазини ємності	МЕ-3, МЕ-4, МЕ-5
5.	Магазини індуктивності	МІ
6.	Мости подвійні	МД
7.	Мости для вимірювання діелектричних втрат	МДП
8.	Трансформатори струму	УТТ-5, УТТ-6
9.	Ватметри лабораторні	АСТ-Д
10.	Ватметри лабораторні	ЭДВ
11.	Апарати для повірки трансформаторів струму	АТТ-6
12.	Кнопочні вимикачі	Н-9

*Таблицю складено автором за матеріалами [285, арк. 17].

За підсумками II кварталу 1951 р. завод виконав і перевиконав основні планові показники: валова продукція – 110,3 %, товарна – 111,3 %, зниження собівартості порівнянної продукції – 15,8 % при плані 13,9 % [285, арк. 30].

Водночас «Головелектроточприлад» чітко вказав на системні недоліки:

- повну відсутність аналізу відхилень собівартості по елементах витрат;
- наднормативні залишки матеріалів і готової продукції (затоварення складів магазинами ємності МЕ-4 на суму понад 500 тис. руб.;
- зрив строків введення 95-квартирного житлового будинку та лабораторного корпусу;
- невиконання плану прибутку, через що фонд директора за I півріччя був повністю анульований (сторнування 36 тис. руб.).

Як наслідок, директору С. Г. Волику було наказано негайно припинити понадплановий випуск МЕ-4, терміново готувати виробництво мегомметрів та електростатичних вольтметрів вищого класу точності до випуску в 1952 р., а також розширити ділянку ширспоживу (електробритви та кнопкові вимикачі) лише в межах додаткового урядового завдання [285, арк. 31–32].

Найважливішим документом другої половини 1951 р. стало затверджене Міністерством електропромисловості СРСР «Нове планове завдання» заводу на 1952 р. із загальним обсягом товарної продукції 120 млн руб. (у цінах 1951 р.). У плановому завданні, складеному відповідно до постанови РМ СРСР від 11 жовтня 1951 р., для заводу № 786 було передбачено будівництво додаткового виробничого корпусу загальною площею 10 000 м². Номенклатура виробів планового завдання включала як перелік устаткування, яке вже випускалося заводом № 786, так і нові прилади, що підлягали освоєнню та серійному випуску відповідно до постанови уряду та наказу Головного управління заводів точних електровимірювальних приладів від 16 листопада 1951 р [285, арк. 45–47].

Структура програми свідчить про остаточний відхід від будь-якої «змішаної» номенклатури та концентрацію на високотехнологічних приладах спеціального призначення:

- прилади класу точності 0,2 та 0,1 – 17,5 млн руб. (14,6 % програми);
- частотоміри лабораторні кл. 0,2 – 7,5 млн руб.;
- мости для вимірювання діелектричних втрат – 7,3 млн руб.;
- магазини ємності – 7,2 млн руб. (4000 шт.);
- мегомметри – 6,3 млн руб. (15000 шт.);
- електростатичні вольтметри – 5,25 млн руб. (3000 шт.);
- терраомметри – 5 млн руб. (1000 шт.);
- векторметри, апарати для вимірювання магнітних властивостей матеріалів та «спеціальні вироби» – ще 11,6 млн руб.

Частка традиційних щитових приладів класу 0,5 та комплектів КІП становить лише близько 20 %, тоді як понад 70 % вартості програми припадає на прилади класів точності 0,2–0,1 – мости, магазини, електростатичну та високочастотну апаратуру – тобто на продукцію, що прямо використовувалася в радіолокації, ракетобудуванні, ядерних дослідженнях та авіаційному приладобудуванні.

Ширспожив (електробритви, кнопкові вимикачі) залишений у плані лише на 4 млн руб. (3,3 %), що фактично переводить його в розряд другорядних завдань [285, арк. 46].

Таким чином, до початку 1952 р. Київський завод № 786 п/с 58 завершив перетворення з повоєнного багатопрофільного підприємства на спеціалізований завод союзного значення. Він був повністю інтегрований у реалізацію пріоритетних державних програм оборонного спрямування. Затверджена на 1952 р. програма стала матеріальною основою для зростання підприємства у другій половині 1950-х рр.

На той час певні підприємства вже налагодили випуск багатофункціональних електровимірювальних приладів на базі магнітоелектричного вимірювача та напівпровідникового випрямляча (АВО-5М, ТТ-2, ТЛ-4, Ц315, Ц20). Універсальність цих пристроїв дозволяла замінити одним екземпляром десятків традиційних одно- чи двомерних моделей. Це суттєво підвищувало інтерес фахівців до такої техніки в контексті забезпечення дефіцитних потреб країни.

Було проведено комплексний аналіз наявних виробничих потужностей, орієнтованих на серійне виготовлення випрямних багатомерних приладів, а також оцінено науково-технічні перспективи їх застосування. За підсумками перевірки зроблено висновки про необхідність розширення виробництва цього унікального устаткування, що давало змогу максимально швидко та ефективно задовольнити запити народного господарства. Відповідно до постанови ЦК КПРС і РМ СРСР від 25 липня 1956 р. № 1009 щодо розвитку електроприладобудування, Міністерство електротехнічної промисловості СРСР (Мінелектротехпром СРСР) прийняло рішення про будівництво нового спеціалізованого заводу. Увагу фахівців привернуло м. Житомир з досі не відновленими після 1941–1945 рр. спорудами. У центрі міста вздовж і в глибині від вулиці Котовського (напроти церкви) знаходилися зруйновані дві будівлі колишньої (до революції 1917 р.) Волинської духовної семінарії в оточенні

інших напівзруйнованих будівель на практично відокремленій території в 9 гектарів. Відповідно до чинних екологічних норм не було виявлено протипоказань щодо розміщення приладобудівного заводу [248, с. 4–5].

Наказом Мінелектротехпрому СРСР від 2 серпня 1956 року № 291 було намічено будівництво заводу «Електровимірювач» у місті Житомирі. Документ також визначав спеціалізацію нового підприємства – виробництво універсальних переносних приладів випрямної системи. Фахівці Київського заводу «Точелектроприлад» та Мінелектротехпрому СРСР запропонували розпочати роботу новоствореного заводу з освоєння малогабаритного кнопкового вимикача Н9, масове виробництво якого вже було налагоджено на заводі «Точелектроприлад». У 1957 р. заводом «Електровимірювач» було випущено близько 0,5 мільйона кнопкових вимикачів Н9 на суму 3013 тис. руб. План виробництва було виконано на 100,8 % [283, арк. 70–72].

Із 1958 р. розпочалося освоєння виробництва першого комбінованого (універсального) електровимірювального приладу Ц20. Того ж року планом було передбачено випуск восьми тисяч штук цих приладів. Завод все ще був у стадії становлення. Для забезпечення його роботи щодня потрібно було спеціалістам вирішувати питання організаційного, конструкторсько-технологічного характеру, матеріально-технічного постачання, будівництва, підготовки робітничих кадрів. Роботи з освоєння приладу Ц20 очолили головний конструктор М. М. Бабогло та начальник лабораторії О. Г. Назарчук – випускники КІП. Начальником складального цеху був М. І. Невмержицький – випускник ЛІП. У межах конкретної розробки взаємодіяли дві провідні наукові школи електроприладобудування – київська та львівська. Плани освоєння та виробництва приладу Ц20 були успішно виконані [248, с. 9].

У тому ж 1958 р. було розпочато конструкторську та технологічну підготовку виробництва комбінованих приладів Ц55, Ц56, Ц57, розроблених науковцями спеціального конструкторського бюро (СКБ) Київського заводу

«Точелектроприлад» (новизна цих приладів – рухома частина магніто-електричного вимірювача на розтяжках, усередині рамковий магніт, підвищені технічні параметри). Освоєння цих приладів проходило з великими труднощами і зі зривами планів-графіків. Головна причина гальмування це відсутність кваліфікованих інженерно-технічних працівників і робочих. У 1959 р. була випущена перша промислова партія приладу Ц56 у кількості 5 шт., а у 1960 р. завод зміг випустити Ц56 – 5365 шт., Ц55 – 71 шт., Ц57 – 40 шт., а Ц20 – 62900 шт. [288]. Таким чином, переглядалася проєктна спеціалізація заводу – переносні комбіновані електровимірювальні прилади.

Як вже відзначалося, на розвиток електровимірювальних технологій у світі й, зокрема, на теренах України визначальний вплив мали досягнення в галузі електроніки. На початку 1950-х рр. розпочалося активне оновлення елементної бази: напівпровідникові прилади поступово витісняли електронні лампи, що дало змогу зменшити габарити пристроїв, знизити енергоспоживання та покращити метрологічні характеристики аналогових засобів вимірювань.

Практичним втіленням цих новацій стала модернізація підсилювальної апаратури для мостів змінного струму. Якщо у першій половині ХХ ст. для підвищення чутливості вимірювальних схем використовували лампові підсилювачі з автономним батарейним живленням, то вже у 1947 р. науковці кафедри радіоприймальних пристроїв КПП запропонували прогресивніше рішення. Для устаткування з вимірювання діелектричних втрат та ємності, яке виготовляв завод «Точелектроприлад», було розроблено підсилювач типу Ф-50 із живленням безпосередньо від мережі змінного струму. У поєднанні з вібраційним гальванометром (ВГ) цей пристрій мав забезпечувати чутливість не менше 0,35 мкВ на 1 мм шкали [269, арк. 45–46].

Реалізація таких параметрів за умови живлення підсилювача від тієї ж мережі, що й самого моста, створювала низку конструкційних складнощів, зокрема, потребувала надійного електростатичного та магнітного екранування. За своєю структурою Ф-50 (Додаток Ж, рис. Ж.1, а) був класичним

низькочастотним двокаскадним підсилювачем на резисторах із ємнісним зв'язком та трансформаторним входом (коефіцієнт трансформації 1:26). Вхідний трансформатор забезпечував симетрію входу та піднімав рівень корисного сигналу над порогом власних шумів. Попри відповідність технічним вимогам, аналіз конструкції вказував на значний потенціал для оптимізації. У жовтні 1953 р. фахівці експериментального цеху заводу «Точелектроприлад» під керівництвом М. О. Борисенка розробили вдосконалену модель – Ф-50-1 (Додаток Ж, рис. Ж.1, б) [307, арк. 46].

Під час модернізації принципову схему було суттєво переглянуто. Основну увагу розробники зосередили на уніфікації та скороченні кількості комплектуючих без втрати функціональності. Зокрема, було впроваджено ефективнішу схему виходу для низькоомного навантаження гальванометра. Оптимізація режимів роботи ламп дозволила знизити споживання постійного струму, завдяки чому складний триланковий П-подібний фільтр випрямляча замінили на простіший одноланковий. Такі підходи дозволили мінімізувати кількість недротяних резисторів та електролітичних конденсаторів. Крім того, важку систему подвійного сталевого екранування (стінки 4–5 мм) замінили одним екраном завтовшки 1,5 мм. Результати випробувань підтвердили, що оновлена конструкція Ф-50-1 не лише відповідала технічним умовам, а й перевершила попередню модель: вага пристрою зменшилася понад у п'ять разів, а об'єм – більш ніж утричі [307, арк. 38–42].

Нова конструкція підсилювача типу Ф-50-1 дала змогу знизити вагу в порівнянні зі старою більш ніж у п'ять разів та об'єм конструкції більш ніж утричі, із дотриманням установлених вимог до якості. Порівняльні дані підсилювачів типу Ф-50 та Ф-50-1 наведені в табл. 3.2. Перехід на серійне виготовлення підсилювачів нової конструкції дозволив заводу заощадити 25 тис. руб. на рік [307, арк. 43].

Таблиця 3.2 – Порівняльні характеристики підсилювачів [307, арк. 44]

Параметр	Ф-50	Ф-50-1
Коефіцієнт підсилення	≈ 60	
Чутливість підсилювача на вході	не нижче 0,35 мкВ на 1 мм шкали гальванометра	
Власні шуми підсилювача	менші за еквівалентну напругу на вході в 0,3 мкВ	
Опір входу	$\approx 800 \text{ Ом}$	
Живлення	127 В	127 В, 220 В
Габарити, мм	280×370×225	150×271×167
Вага	25 кг	4,5 кг

Отже, спільні досягнення науковців КПІ та конструкторів київського заводу «Точелектроприлад» у межах функціонування регіонального науково-виробничого кластеру дозволили радикально вдосконалити конструкцію підсилювача типу Ф-50 для устаткування з вимірювання діелектричних втрат та ємності. Завдяки оптимізації принципової схеми було досягнуто значного скорочення кількості комплектуючих, а також п'ятикратного зниження ваги та трикратного зменшення об'єму пристрою без погіршення метрологічних вимог. Такі результати суттєво розширили можливості мобільного використання устаткування під час технічного обслуговування, ремонту та випробувань об'єктів енергетичної інфраструктури, підтвердивши ефективність безпосередньої взаємодії наукових та виробничих ланок у межах єдиного економічного району.

Окреме місце у структурі наука-освіта-виробництва займали конструкторські бюро. Вони виступали з'єднувальною ланкою, що забезпечувала перехід від теоретичних розробок до їхнього втілення у серійне виробництво. Крім того, ці осередки виконували координаційні функції, підтримуючи зв'язок між науковими закладами, технічними ВНЗ та підприємствами. У межах науково-виробничого кластеру електровимірювальної техніки на теренах України такі завдання виконувалися багатoproфільним науковим центром прикладного спрямування – Львівським науково-дослідним радіотехнічним інститутом. Інститут був створений у 1956 р. як спеціальне

конструкторське бюро (СКБ, з 1966 р. – Львівське конструкторське бюро (ЛКБ), з 1969 р. – Львівський науково-дослідний радіотехнічний інститут (ЛНДРТІ)) при заводі п/с № 125 (згодом – Львівський завод «Вимірювач», нині – ЛОРТА) [225].

У 1950-х рр. в інженерній практиці почали широко застосовуватися візуальні методи контролю характеристик радіотехнічних пристроїв. Вони базувалися на використанні панорамних індикаторів, які дозволяли максимально автоматизувати процес аналізу параметрів електронних вузлів. Зокрема, застосування таких приладів при вимірюванні амплітудно-частотних, фазо-частотних та перехідних характеристик давало змогу за кілька хвилин виконати операції, які при використанні традиційного інструментарію (генераторів, вольтметрів тощо) тривали б від десятків хвилин до кількох годин. Завдання впровадження у серійне виробництво таких приладів, їх модернізації та розроблення нових зразків апаратури було отримано науковцями Львівського СКБ.

Особливо вагомими серед розробок СКБ були універсальні електронно-променеві осцилографи реального часу. На відміну від стробоскопічних моделей, у цих приладах зображення сигналу на екрані електронно-променевої трубки виникає практично одночасно з дією сигналу на вході. Саме універсальні осцилографи згодом стали найбільш масовим видом вимірювальної техніки. Важливим етапом у діяльності бюро стало розроблення першого телевізійного осцилографа ЕО-58 (С1-9), яке тривало з 1957 р. по 1958 р. У 1959 р. прилад було успішно впроваджено у серійне виробництво на заводі п/с № 125. Осцилограф С1-9 був універсальним пристроєм високого класу і призначався для вимірювання та контролю телевізійного сигналу, що містить інформацію про зображення та звук, а також для дослідження амплітудних і часових параметрів періодичних сигналів. Прилад активно використовувався для налагодження імпульсної апаратури, налаштування телевізійних центрів, а також обслуговування міжміських телевізійних каналів на кабельних і радіорелейних

лініях зв'язку. Паралельно з цією розробкою, у 1959 р. було налагоджено випуск осцилографа С1-13 (ЭО-60) [13, с. 306–318].

Діяльність Львівського СКБ при заводі п/с № 125 мала вагоме значення у прискоренні перехідного періоду у вітчизняному приладобудуванні від копіювання до самостійного проектування складної радіовиміральної техніки. Створення перших універсальних осцилографів реального часу (С1-9, С1-13) забезпечило інструментарій для розвитку телебачення, зв'язку та імпульсної апаратури. Завдяки ефективній кооперації науки з виробництвом, СКБ не лише налагодило серійний випуск висококласних приладів, а й сформувало у Львові провідний науково-технічний центр, що визначав стандарти галузі на загальнодержавному рівні.

Важливим етапом системної організації науково-виробничого кластеру електровиміральної техніки став перехід від галузевого до територіального принципу управління. Після ліквідації міністерств у лютому 1957 р. було сформовано економічні адміністративні райони (раднаргоспи). Така децентралізація мала на меті подолання відомчих бар'єрів та стимулювання господарської ініціативи на місцях. Для забезпечення єдиної технічної політики в межах регіону та координації діяльності підприємств електротехнічного профілю основні важелі контролю зосередили в раднаргоспах. Так, до складу Київського раднаргоспу було інтегровано провідні приладобудівні потужності, серед яких київські заводи «Радіовимірвач», «Точелектроприлад», «Електроприлад», «Київприлад», а також житомирський «Електровимірвач». Створення такого регіонального кластеру сприяло кооперації та інтенсифікації наукових розробок у сфері виміральної техніки за рахунок наближення управління до виробництва та усунення відомчих бар'єрів, притаманних міністерській системі. Діяльність раднаргоспів забезпечила спрощення адміністративного апарату, оперативне впровадження інновацій та поглиблення спеціалізації підприємств задля прискореного зростання економіки [172].

Вагому роль у формуванні науково-виробничого кластеру відіграла міжнародна співпраця. У 1958 р. була заснована Міжнародна конфедерація з

вимірювальної техніки та приладобудування (ІМЕКО), мета якої полягала у сприянні міжнародному обміну науковою та технічною інформацією у сфері вимірювальної техніки. У межах діяльності конфедерації організовувалися та проводилися конгреси, створювалися науково-технічні комітети, які забезпечували публікацію фахових матеріалів. Організація опікувалася питаннями забезпечення єдності вимірювань, розробленням системи фізичних величин та їхніх одиниць, теорією створення природних еталонів і шкал фізичних величин [152, арк. 13–16].

Потрібно зазначити, що одним із співорганізаторів ІМЕКО було Всесоюзне наукове та інженерно-технічне товариство приладобудівників (ВНІТТПрилад), яке було створено у 1947 р. і об'єднувало близько 15 відділень та секцій у різних містах СРСР. З 1952 р. до нього входили також відділення у Харкові, Одесі, Києві та Львові. У розбудову мережі вітчизняних філій ВНІТТПрилад вагомий внесок зробили відомі фахівці – К. Б. Карандеєв, А. Д. Нестеренко, П. П. Орнатський [152, арк. 33].

Створення такої міжгалузевої громадської організації було дуже важливим кроком у формуванні кластеру електровимірювальної техніки, тому що об'єднувало фахівців з вимірювань, приладобудування, систем та засобів автоматизації, стандартизації. До Товариства входили представники з понад 20 міністерств та відомств. Крім участі в обговоренні перспективних проєктів з впровадження нової техніки та інноваційних технологій, проводилися заходи з підвищення кваліфікації інженерно-технічних працівників, попереднє обговорення дисертаційних робіт, монографій та збірників праць. Участь у роботі секцій фахівців оборонних галузей дозволяла передавати накопичений там досвід та технології до загальнопромислового приладобудування [227, с. 86–87].

У 1958 р. спеціальність «Автоматичні, телемеханічні та електровимірювальні прилади та пристрої» була поділена на дві: 0606 «Автоматика та телемеханіка» та 0626 «Електровимірювальна техніка». Створення окремої спеціальності, яка була спрямована на цільову підготовку фахівців власне для

наукових осередків та промислових підприємств, що входили до науково-виробничого кластеру електровимірювальної техніки, було зумовлена розвитком електровимірювального приладобудування і метрологічного забезпечення [244, с. 47].

Отже, упродовж 1946–1950-х рр. розпочався етап системного формування науково-виробничого кластеру, що об'єднав промислові потужності Києва (завод «Точелектроприлад»), Харкова (Харківський електромеханічний завод) та Львова (завод «Вимірювач») із науковим потенціалом політехнічних інститутів.

Слід зазначити, що ВНЗ Міністерства вищої і середньої спеціальної освіти УРСР наприкінці 1950-х рр. виконали значний обсяг науково-дослідних робіт у різних галузях науки й техніки та суттєво розширили зв'язки з виробництвом. Це підтверджується зростанням фінансування, адже якщо у 1958 р. сума виконаних госпдоговірних робіт становила 89,8 млн крб, то у 1959 р. обсяг такої тематики сягнув майже 100 млн крб. Такі ВНЗ, як Харківський, Київський та Львівський політехнічні інститути, перетворилися на науково-дослідні центри з розроблення проблемних питань технічного прогресу [150, арк. 9, 20].

Вирішальну роль у цій структурі відіграли новостворені СКБ, які виступали самостійними розробниками новітньої техніки, перетворюючи теоретичні концепції академічних шкіл на реальні промислові зразки. Реформа Раднаргоспів 1957 р. забезпечила єдине регіональне управління цими процесами, що дозволило синхронізувати підготовку профільних кадрів в технічних ВНЗ із розробницьким потенціалом бюро та виробничими планами заводів. Плідна співпраця сприяла налагодженню масового виробництва вимірювальних приладів.

3.2 Формування цифрових технологій в електровимірювальній техніці

Розвиток електровимірювальної техніки у 1960-ті рр. позначився глибокою трансформацією цієї науково-технічної сфери, вдосконаленням приладів у поєднанні з активним впровадженням цифрових технологій. Цей період

характеризувався підвищенням якості апаратури, зокрема зниженням похибок до рівня 0,01 %; зростанням швидкодії та надійності при одночасному зменшенні габаритів, а також значним розширенням сфери застосування вимірювальних засобів.

Визначальною рисою стало використання методів логічного та математичного оброблення інформації безпосередньо у процесі вимірювання. Це зумовило формування цифрового сегмента, який охопив як електричні параметри, так і суміжні напрями, серед яких цифрова термометрія, манометрія, складні газоаналізатори та віброметри. Водночас актуальність аналогових засобів зберігалася, що створювало підґрунтя для їхнього подальшого паралельного розвитку. Проте найбільш значущим методологічним зрушенням став перехід до уніфікації та комплексності. Саме тоді в колах дослідників почали замислюватися над впровадженням агрегативання як основоположного принципу побудови електровимірювальної техніки. Цей підхід став стратегічним вектором, оскільки забезпечив поступовий перехід від використання розрізнених аналогових приладів до проектування складних цифрових та мережевих систем [329].

У 1960-х рр., відповідно до розвитку наукових досліджень, зросла потреба у створенні прецизійних осцилографічних засобів вимірювань. Світовим лідером осцилографії на той час була фірма Tektronix. На підприємствах компанії, які були розташовані у п'яти країнах світу, працювало понад 70 тис. осіб. Сім із кожних десяти осцилографів, що вироблялися у світі, випускалися фірмою Tektronix [45].

З 1960-х рр. розпочався процес поступового витіснення аналогових електромеханічних та електронних вимірювальних приладів цифровими. Упродовж 1963–1965 рр. у США створено перші монолітні інтегральні схеми операційних підсилювачів (моделі 702 і 709), що стали базою для створення багатьох вузлів аналогових та цифрових засобів вимірювань [36, с. 476]. Вже до 1970 р. в США частка цифрових вольтметрів складала 75 % всього обсягу випуску приладів для вимірювання напруги, а частка цифрових частотомірів –

95 %. Були розроблені цифрові мости постійного та змінного струму, фазометри, ватметри, термометри, ваги та багато інших цифрових вимірювальних приладів. Поступово відбувалося витіснення аналогових електровимірювальних приладів цифровими, відповідно до оновлення мікроелектронної елементної бази [321].

Потрібно зазначити роль мікроелектронних технологій у створенні цифрових засобів вимірювань. На початку 1960-х рр. фахівці у галузі вимірювань самостійно розробляли всі вузли приладів, включаючи аналого-цифрові (АЦП) та цифро-аналогові перетворювачі (ЦАП) на дискретних компонентах, але стрімке зростання напівпровідникової індустрії швидко змінило ці практики.

Важливим стимулом для розвитку електровимірювальних технологій стало формування закону Мура у 1965 р., згідно з яким кількість компонентів на кристалі інтегральної схеми мала подвоюватися кожні вісімнадцять місяців [43, с. 114–117]. Це дало підстави для усвідомлення швидкого морального застарівання продукції без переходу на нову елементну базу. Відповідно до вимог оборонної та космічної галузі, зокрема програм Apollo та Minuteman, було розроблено спочатку мікросхеми окремих вузлів, а згодом і функціонально повні мікросхеми АЦП та ЦАП. Поява багатоканальних перетворювачів та перших мікроконтролерів призвела до того, що розроблення засобів цифрової вимірювальної техніки дедалі більше зводилося до системної інтеграції. У таких умовах основні зусилля інженерів перемістилися з проектування схемотехніки окремих деталей на складання вимірювальних каналів із готових стандартних вузлів та створення спеціалізованих програмних модулів [16].

Наукові завдання вітчизняних дослідників також були переорієнтовані відповідно до аналізу конкретних вимірювальних задач, методичного забезпечення та метрологічного оцінювання результатів вимірювань. Дослідні роботи зі створення цифрових вимірювальних приладів здійснювалися у Відділі електронного вимірювального приладобудування ЛПІ під керівництвом професора Б. Й. Швецького. Вагомий внесок у ці розробки зробив Ігор Михайлович Вишенчук, який був учнем К. Б. Карандєєва та Б. Й. Швецького, а згодом став провідним фахівцем у галузі радіотехніки та кібернетики. Науковий

шлях дослідника розпочався ще у 1952 р. в експериментальній приладобудівній лабораторії № 1, де за його безпосередньою участю було спроектовано низку вимірювальних засобів, згодом впроваджених у серійне виробництво. Зокрема, під час роботи над фазометром Ф2-1 автор запропонував інноваційний метод вимірювання фази, обґрунтування якого стало основою його кандидатської дисертації, захищеної у 1962 р. [178, с. 5].

Під час наукового стажування 1963–1964 рр. на кафедрі обчислювальної техніки Манчестерського університету в Англії І. М. Вишенчук розробив і реалізував на базі фірми DATA LAB проєкт швидкісного АЦП, побудованого на перспективній на той час елементній базі – планарних та польових транзисторах. Отриманий досвід було успішно застосовано у ВЕВП, де вже у 1967 р. за участю дослідника на вітчизняній компонентній базі створено перший у країні серійний АЦП К2-7, що вирізнявся високою для того періоду швидкодією у 100 тисяч перетворень за секунду [284].

Під керівництвом І. М. Вишенчука також реалізовано проєкт першого в СРСР серійного цифрового вимірювального приладу інтегровального типу ВК2–20. У цей плідний період науковий колектив ВЕВП розробив цілу низку унікальних засобів вимірювальної техніки, серед яких перші щитові цифрові інтегровальні прилади серії Ф2000–Ф2003 та цифровий універсальний вольтметр Щ48000, що мав найвищі у світовій практиці показники завадозахищеності та порогу чутливості [97, с. 158–160; 166, арк. 255].

Важливими здобутками стали створення малогабаритного цифрового тестера В7–35 з автономним живленням і повною автоматизацією процесу за всіма видами вимірювань, а також першого інтегровального АЦП малих рівнів сигналів БПН-10, призначеного для систем внутрішньореакторного контролю атомних електростанцій. Завершують цей перелік універсальні цифрові вольтметри моделей Щ68000 та Щ68001, що підтвердили високий науково-технічний потенціал розробок відділу [247].

Отже, реалізація проєктів науковців Львівської політехніки створила підґрунтя для переходу вітчизняного приладобудування на нову елементну базу

та сучасні методи цифрового опрацювання інформації. Створення прецизійних вольтметрів та швидкісних перетворювачів забезпечило технологічну автономність стратегічних галузей, зокрема атомної енергетики, та визначило подальший вектор розвитку автоматизованих вимірювальних систем.

В ІЕ АН УРСР, після реорганізації з 1963 р. – Інститут електродинаміки АН УРСР (ІЕД АН УРСР), продовжив роботу відділ електричних і магнітних вимірювань. У відділі були започатковані науково-технічні роботи зі створення теоретичних та методологічних основ розроблення пристроїв з використанням модуляційних методів підвищення точності і чутливості вимірювання імпедансів та інформативних параметрів сигналів змінного струму. У дослідженнях брали участь Ф. Б. Гриневич, Ю. О. Скрипник, Є. О. Андрієвський. Крім того, у відділі було розпочато створення високоточних завадостійких автоматичних цифрових мостів змінного струму [80–83]. З 1966 р. відділ електричних та магнітних вимірювань в ІЕД АН УРСР очолював Ф. Б. Гриневич [264, арк. 4].

Біографія Ф. Б. Гриневича потребує окремого розгляду з огляду на значення здобутків науковця для становлення напряму електровимірювальної техніки на теренах України. Феодосій Борисович Гриневич народився 01.11.1922 р. у селищі Ріпна Хмельницької області. До Другої світової війни працював вчителем. Був учасником подій Другої світової. У 1948 р. вступає до ЛПІ, який з відзнакою закінчив у 1953 р., за спеціальністю електромеханічні прилади. Далі працював на Ростовському нафтопереробному заводі. За підтримки К. Б. Карандєєва вступає до аспірантури Інституту машинознавства та автоматики АН УРСР. У 1954 р., після успішного захисту дисертації (науковий керівник К. Б. Карандєєв) продовжив свою наукову кар'єру в Інституті машинознавства та автоматики АН УРСР, де працював до 1958 р. [264, арк. 3].

У травні 1958 р. Ф. Б. Гриневич разом із К. Б. Карандєєвим взяли участь у перших загальних зборах Сибірського відділення Академії наук СРСР у Новосибірську. Під безпосереднім керівництвом К. Б. Карандєєва було розпочато інтенсивну організаційну роботу із заснування Інституту автоматики

та електрометрії, який згодом перетворився на провідний науковий осередок регіону. У межах формування структури нової установи Ф. Б. Гриневич виступив організатором та очолив лабораторію мостових методів вимірювань. Спільна діяльність науковців дозволила за короткий термін закласти фундаментальну базу для досліджень у галузі автоматизації вимірювань та забезпечити високу ефективність розроблення новітніх вимірювальних систем [121, с. 178–179].

У 1963 р. Ф. Б. Гриневич успішно захистив докторську дисертацію, присвячену проблемам побудови та вдосконалення автоматичних мостів змінного струму [94]. У 1965 рр. під його керівництвом було розроблено перший в СРСР цифровий екстремальний міст, де застосування екстремального режиму для врівноваження мостів було інноваційним [81].

Результати цієї перспективної дослідної роботи були успішно апробовані та представлені Ф. Б. Гриневичем науковій спільноті. Після обговорення на розширеній вченій раді інституту отримали високу оцінку від колег, зокрема К. Б. Карандєєва. Цифровий екстремальний міст змінного струму (додаток И, рис. И.1) призначений для вимірювання ємності та тангенсу кута втрат конденсаторів. Автоматичне врівноважування моста здійснюється шляхом пошуку екстремуму (мінімуму) вихідної напруги мостового ланцюга. Для формування керуючих впливів використовуються тільки амплітудні зміни вихідної напруги вимірювального ланцюга, що виникають в результаті модуляції імпульсних регульованих параметрів [129].

У 1961 р. Ф. Б. Гриневич за рекомендацією К. Б. Карандєєва та на прохання Президента Академії наук Киргизької РСР був відряджений до Інституту автоматики АН Киргизької РСР (м. Фрунзе). Там він працював на посаді завідувача нової лабораторії спеціальних методів вимірювань. У 1966 р. Ф. Б. Гриневич, був обраний до Академії наук Української РСР та переїхав на постійну роботу до Києва, де продовжив дослідження з автоматичних цифрових мостів змінного струму [264, арк. 97].

Повернення Ф. Б. Гриневича до ІЕД АН УРСР, де він очолив відділ електричних і магнітних вимірювань, надало новий імпульс у розробленні теоретичних основ модуляційних екстремальних систем зрівноважування та прецизійних мостових кіл для вимірювання параметрів комплексних опорів, а також експериментальні роботи в цьому напрямку. Ефективна співпраця з заводом «Точелектроприлад» дозволила перевести теоретичні розробки відділу у практичну площину. Зокрема, на основі створеного науковцями експериментального макета у 1967 р. було розпочато серійне виробництво першого цифрового автоматичного моста моделі Р570 [278, арк. 3].

Цей прилад забезпечував високу точність вимірювання ємності в діапазоні від 0,005 пФ до 10 мкФ та тангенса кута втрат конденсаторів у межах від 10^{-4} до 0,1. Клас точності моста – 0,1. Прилад мав такі особливості: використання однієї нерегульованої міри ємності (1000 пФ), подвійне трансформаторне мостове коло з тісним індуктивним зв'язком та дискретне зрівноважування за двома параметрами шляхом перемикання витків індуктивних плечей. Паразитні ємності обмоток і проводів практично не впливали на точність. Система зрівноважування ґрунтувалася на аналізі амплітудних змін сигналу нерівноваги при модульованих впливах, що знімало чутливість до фазових спотворень і дозволяло застосовувати селективний підсилювач для роботи з малими сигналами на фоні значних завад [254].

Починаючи з 1969 р., було освоєно серійне виробництво цифрового екстремального моста (ЦЕМ) Р589, який став вдосконаленою моделлю та згодом замінив у виробничій програмі прилад Р570 [123]. Паралельно йшли дослідження зі створення цифрових екстремальних мостів для вимірювання інших параметрів комплексних опорів [125–127]. Вдалося подолати труднощі із забезпеченням розв'язання контурів регулювання, зі створенням високостабільної взірцевої міри індуктивності, прецизійних фазообертачів на базі операційних підсилювачів. Необхідно було також розробити досконалішу за Р570 систему автоматичного вибору піддіапазону вимірювання. Результати цих досліджень дозволили створити цифровий екстремальний міст для вимірювання

параметрів котушок індуктивностей, який з 1970 р. випускався заводом «Точелектроприлад» під маркою Р591 (діапазон вимірювання індуктивності 1 мкГн–10 Гн, тангенса кута втрат 0,001–0,9, що відповідає добротності від 1000 до 1,1, клас точності 0,2) [122].

Розвиток мостових методів та проектування нових типів цифрових мостів відіграли фундаментальну роль у становленні сучасної системи метрологічного забезпечення промисловості. Впровадження цих засобів дозволило автоматизувати процеси прецизійних вимірювань та суттєво підвищити достовірність контролю параметрів електротехнічних об'єктів у динамічних режимах роботи. Створення приладів такого класу забезпечило технологічну базу для переходу від одиничних лабораторних досліджень до масового високоточного виробництва складних електронних компонентів та енергетичного устаткування, що підтвердило життєздатність запропонованих методів автоматизації мостових вимірювальних кіл [128].

Вагомі дослідження в галузі інформаційних вимірювальних технологій проводилися в Інституті кібернетики АН УРСР (ІК АН УРСР), де ще у 1960-ті рр. було створено лабораторію, а потім і відділ перетворювачів форми інформації, який очолив професор А. І. Кондалев. Науковий пошук був спрямований на розроблення складових агрегатного комплексу засобів електровимірювальної техніки – перетворювачів форми інформації (ПФІ), зокрема аналого-цифрових та цифро-аналогових перетворювачів. З цього часу дослідження в галузі ПФІ на теренах України набули комплексного характеру. Приділялася увага науковій класифікації АЦП та ЦАП, аналізу та синтезу структур, схемотехнічному проектуванню, вивченню залежності технічних та метрологічних характеристик від алгоритмів кодування та декодування і параметрів елементної бази тощо. У 1965 р. професор А. І. Кондалев опублікував першу в Україні монографію, присвячену проблемі створення перетворювачів форми інформації [209].

Паралельно з цим в ІЕД АН УРСР у 1968 р. із групи релейного захисту відокремилась група струмовимірювальних пристроїв, де під керівництвом кандидата технічних наук Б. С. Стогнія (академіка НАН України у подальші

часи) були розпочаті і виконані ґрунтовні наукові дослідження високовольтних вимірювальних перетворювачів струму та напруги – основних джерел вимірювальної інформації про режими роботи електроенергетичних об'єктів. Підсумком проведених досліджень стало розроблення теоретичного та методологічного підґрунтя, методів випробування вимірювальних перетворювачів струму. Реалізація цих наукових напрямів дозволила вперше в межах республіканської галузевої практики забезпечити нормовані метрологічні параметри для високовольтних вимірювань струму в ustalених і перехідних режимах роботи енергосистем. Вагомим практичним результатом цих робіт стала організація на базі виробничого об'єднання «Запоріжтрансформатор» серійного виробництва каскадних триступеневих трансформаторів струму для першої у світі лінії електропередачі напругою 1150 кВ Екібастуз-Урал [208].

Таким чином, реалізація цих наукових напрямів сприяла якісній трансформації електровимірювальної техніки, оскільки поєднання новітніх методів перетворення інформації з передовими розробками у сфері високовольтної техніки заклало підвалини для системної цифровізації та підвищення технологічної надійності енергетичного комплексу.

Наукові розробки, пов'язані з розробленням дискретних і цифрових методів вимірювання, набули розвитку в ХПІ. Створення у червні 1961 р. кафедри електровимірювальної техніки стало початком формування напряму науково-педагогічної школи ХПІ з резонансних методів вимірювання електричних та неелектричних величин. Очолив підрозділ фахівець у царині електромагнітних вимірювань професор О. В. Федоров, а до першого складу викладачів увійшли О. А. Ушаков, В. І. Дякін та К. С. Полулях (Додаток К) [91, арк. 264].

Значний внесок у становлення напряму цифрових методів вимірювання зробив Костянтин Степанович Полулях. Його науковий шлях розпочався з глибоких досліджень у галузі високочастотних компонентів: у 1953 р. він успішно захистив кандидатську дисертацію у Ленінградському електротехнічному інституті, присвячену методам випробувань

високостабільних конденсаторів [289]. Того ж року він розпочав роботу в ХПІ на кафедрі «Автоматичні і вимірювальні пристрої», де застосував отриманий досвід для розроблення нових типів прецизійних приладів. Наукові пошуки К. С. Полуляха у сфері стабільності та частотних характеристик елементів заклали підґрунтя для його подальших розробок у галузі резонансних методів вимірювань. Саме за його ініціативи у межах спеціалізації «Електровимірювальні прилади» було оновлено навчальні плани інноваційними дисциплінами з питань електрорадіовимірювань. Створення К. С. Полуляхом спеціалізованих навчальних лабораторій «Конструювання електровимірювальних приладів» і «Електронні вимірювальні прилади» дозволило поєднати теоретичну підготовку з практичними дослідженнями гетеродинних частотомірів, вимірювачів параметрів компонентів та осцилографічної техніки. Таке поєднання розроблення новітніх приладів із формуванням сучасної методики підготовки інженерних кадрів визначило новий етап розвитку наукової та освітньої діяльності кафедри [323].

Особливе значення для розвитку вітчизняного приладобудування мала праця К. С. Полуляха, присвячена формуванню узагальненої теорії резонансних (автогенераторних) методів вимірювань [292]. У ній автором було розроблено методологічні основи резонансних систем, запропоновано методики розрахунків та принципи проектування приладів із глибоким аналізом похибок.

У 1963 р. вийшов друком підручник К. С. Полуляха, який отримав гриф Міністерства вищої і середньої спеціальної освіти УРСР (Мінвуз УРСР) та став базовим для студентів спеціальності «Електровимірювальна техніка» [291]. Продовженням цієї роботи стало фундаментальне видання 1966 р. – перший на теренах тогочасного СРСР підручник, присвячений як аналоговим, так і цифровим електронним вимірювальним приладам [290]. У цій праці автор не лише систематизував теорію проектування та розрахунку засобів вимірювальної техніки, а й уперше здійснив детальний аналіз електронних схем на основі напівпровідникових приладів (транзисторів). Важливою особливістю видання став огляд номенклатури приладів провідних підприємств галузі, зокрема заводів

«Пунане РЭТ» (м. Талінн) та «Точелектроприлад» (м. Київ). Завдяки високому науковому рівню посібник використовувався у навчальному процесі всіх профільних кафедр СРСР і донині вважається одним із найкращих методичних джерел у галузі приладобудування.

За ініціативи К. С. Полуляха на кафедрі набув розвитку науковий напрям дослідження цифрових вимірювальних приладів. Науковою групою у складі співробітників кафедри П. І. Татарського, Є. М. Гончарова, Ю. І. Роздовського, В. І. Пісклярова, Л. Г. Темника (керівник К. С. Полулях), були проведені дослідні роботи зі створення підсилювача постійного струму. За розробкою було отримано 3 авторські свідоцтва. Крім того, була створена розгалужена мережа баз виробничої та наукової практики студентів: завод «Вібратор» (м. Ленінград), завод «Точелектроприлад» (м. Київ), завод «Вимірювальні прилади» (ЗІП) (м. Краснодар). Так, студент П. І. Татарський, який підготував дипломний проєкт на підприємстві «Вібратор» (м. Ленінград) і захистив диплом у 1967 р., згодом став досвідченим викладачем у галузі аналогових і цифрових вимірювальних приладів [313].

Ці теоретичні напрацювання стали підґрунтям для створення високоточних засобів вимірювальної техніки в межах науково-виробничого кластеру.

У 1962 р. у структурі Харківського інституту гірничого машинобудування, автоматики й обчислювальної техніки (ХІГМАОТ) (з 1966 р. – Харківський інституту радіоелектроніки (ХІРЕ)) було створено метрологічну службу для систематизації та обслуговування вимірювальної апаратури, а вже у жовтні 1964 р. на його радіотехнічному факультеті організували випускову кафедру «Радіовимірювання» (в подальшому «Інформаційно-вимірювальні технології») під керівництвом доцента В. Д. Кукуша. Попри відсутність окремої метрологічної спеціальності в загальносоюзному переліку до 1988 р., кафедра домоглася дозволу Мінвузу УРСР на цільову спеціалізацію груп у межах напрямів «Радіотехніка» та «Радіофізика», що дозволило системно забезпечувати кадрами Харківський державний науково-дослідний інститут

метрології (ХДНДІМ) та Харківський центр стандартизації. Тісна наукова інтеграція підтверджувалася участю колективу ХІРЕ у фундаментальних розробках і захистом дисертацій провідними фахівцями, зокрема Г. С. Сидоренком та Ю. Ф. Павленком, що остаточно закріпило за інститутом роль стратегічного освітнього центру в межах українського вимірювального кластеру [199].

Період 1960–1970-х рр. виявився результативним для наукових колективів ЛНДРТІ, який входив до складу Міністерства радіопромисловості СРСР. Було розроблено декілька десятків типів вимірювальних і контрольно-вимірювальних приладів. Серед них перший польовий електронно-лічильний частотомір ЧЗ-12, малогабаритний напівпровідниковий осцилограф С1-35, перший в СРСР польовий перетворювач частоти Ч4-22, широкосмуговий атенюатор ХПШ-56, прилад для настройки телевізійних каналів ПНТ-59, калібратор частоти КЧ-1, перший в СРСР багатофункціональний осцилограф С1-13, автоматизований осцилограф С1-43, універсальний осцилограф С1-64, транзисторний осцилограф з смугою частот до 500 МГц С1-104. В цей час було розроблено і ряд універсальних електронно-обчислювальних частотомірів (ЧЗ-30, ЧЗ-32, ЧЗ-33, ЧЗ-34, ЧЗ-35) і вольтметрів зі характеристиками, які відповідали аналогічним світовим взірцям. Потреби розвитку ракетно-космічної техніки з початку 1960-х рр. обумовили розгортання в ЛНДРТІ низки науково-дослідних робіт зі створення командно-телеметричних комплексів і засобів. Були налагоджені творчі науково-технічні зв'язки з провідними науковими організаціями СРСР, зокрема з особливим конструкторським бюро московського енергетичного інституту (ОКБ МЕІ), науково-виробничим об'єднанням «Енергія» (НПО «Енергія»), центральним науково-дослідним інститутом «Комета» (ЦНДІ «Комета») та ін. [137, с. 5–6].

Розвитку електровимірювальної техніки 1960-х рр. притаманні такі риси, як перехід від проектування окремих приладів до розроблення складних інформаційно-вимірювальних систем. До складу інформаційно-вимірювальних систем увійшли різноманітні цифрові обчислювальні пристрої, що сприяло

підвищенню можливостей обробки великих масивів вимірювальних даних. Цей період характеризувався інтенсивним розвитком кібернетики та теорії інформації, що зумовило появу необхідності вдосконалення методів оброблення даних.

Отже, упродовж 1960-х рр. остаточно сформувалися наукові школи з електровимірювальної техніки у провідних наукових центрах підрадянської України – Харкові, Києві та Львові. Розвиток кібернетики, обчислювальної техніки сприяв створенню інформаційно-вимірювальних систем.

Висновки до третього розділу

Отже, період 1946 р. – кінець 1960-х рр. став визначальним у формуванні науково-технічного напрямку електровимірювальної техніки на теренах України. У цей період закладено організаційні, наукові та виробничі засади науково-виробничого кластеру, який функціонував як інтегрована система, перш за все у Харкові, Києві та Львові, де було зосереджено науковий потенціал та виробничі можливості для освоєння серійного випуску номенклатури вимірювальної продукції. Наприкінці 1950-х рр. на теренах України діяла мережа крупних спеціалізованих підприємств, спрямованих на серійний випуск вимірювального устаткування. У 1960-ті рр. акцент вітчизняних фахівців змістився від дослідження класичних аналогових приладів до створення складних електронних та перших цифрових систем. Використання методології кібернетики та інформатики призвело до створення інформаційно-вимірювальних систем.

Основою науково-виробничого кластеру були спеціалізовані кафедри у галузі електроприладобудування, електричних вимірювань технічних ВНЗ Львова, Києва та Харкова. На кафедрах проводили підготовку наукових та інженерних кадрів і здійснювали комплексні наукові дослідження на замовлення промисловості. Під керівництвом А. Д. Нестеренка, П. П. Орнатського на кафедрі електроприладобудування КПІ було розроблено низку електродинамічних вимірювальних приладів, які були впроваджені у серійне

виробництво, та створено перше в СРСР термоелектричне вимірювальне устаткування. Здобутки науковців ЛПІ, очолюваних К. Б. Карандєєвим, стали основою для розвитку наукової школи електронної вимірювальної техніки Б. Й. Шведського у подальші роки. Першим завідувачем профільної кафедри у ХПІ став О. В. Федоров, а подальший розвиток напряму електричних вимірювань в інституті пов'язаний із науковою діяльністю К. С. Полуляха.

Значна дослідна робота проводилася в академічних інститутах. В ІЕ АН УРСР сформувалася наукова школа з електричних і магнітних вимірювань. Крім теоретичних досліджень були створені й впроваджені у серійне виробництво високоточні прилади, розроблено новий клас цифрових вимірювальних мостів та еталонів.

Плідні дослідження проводилися у галузевих наукових установах. Діяльність ЛНДРТІ була спрямована на створення спеціальних осцилографів. Колектив інституту розробив низку унікальних вимірювальних приладів спеціального призначення.

РОЗДІЛ 4

РОЗВИТОК ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА СТАНДАРТИЗАЦІЯ ВИМІРЮВАНЬ

(початок 1970-х рр. – 1991 р.)

4.1 Інтеграція мікроелектроніки та вплив технологій на розвиток електровимірювальної техніки

На початку 1970-х рр. розвиток електровимірювальної техніки значною мірою був зумовлений ускладненням об'єктів вимірювання та потребою комплексного аналізу їхніх взаємозв'язків з іншими приладами й навколишнім середовищем. Впровадження мікроелектроніки дало змогу застосовувати перспективніші алгоритми вимірювання. Зменшення розмірів напівпровідникових структур монолітних інтегральних мікросхем сприяло поліпшенню технічних характеристик мікроелектронних пристроїв, зокрема зниженню енергоспоживання, підвищенню швидкодії, зменшенню вартості та вдосконаленню інших параметрів. Мініатюризація напівпровідникової елементної бази стала однією з провідних світових тенденцій у виробництві різноманітних електронних пристроїв. Так, у 1970-х рр. інтегральні мікросхеми виготовляли з роздільною здатністю від 3 до 1,5 мкм, а у 1980-х рр. цей показник зменшився до 0,8–0,5 мкм [92, с. 3–16].

Мініатюризація напівпровідникової елементної бази та вдосконалення перетворювачів форми інформації сприяли інтенсивному розвитку електровимірювальної техніки. Одним із важливих складників цього процесу стало створення складнішого обладнання, зокрема інформаційно-вимірювальних систем.

Варто зазначити, що науковцем, який теоретично обґрунтував ці зміни на теренах України, був К. Б. Карандєєв. Ще у 1961 р. він заклав підґрунтя для формування вимірювальних інформаційних систем, запропонувавши поєднати обчислювальні та вимірювальні компоненти в єдиний комплекс [189]. Саме він

ініціював зміну назви спеціальності з «Електровимірювальна техніка» на «Інформаційно-вимірювальна техніка», щоб узгодити підготовку фахівців із вимогами науково-технічного прогресу. Попри передчасну кончину вченого у 1969 р., запропонована ним наукова концепція була повною мірою реалізована у 1970–1971 рр. під час системної реорганізації кафедр у закладах вищої освіти Києва, Львова, Харкова, а також створення нових підрозділів в Івано-Франківську та Вінниці.

Для забезпечення різних галузей народного господарства СРСР технічними засобами інформаційно-вимірювальних систем було запроваджено Державну систему промислових приладів і засобів автоматизації (ДСП) [196].

ДСП становила комплекс виробів, поєднаних за експлуатаційними, інформаційними, енергетичними, метрологічними та конструктивними ознаками. Ці вироби призначалися для використання в автоматичних і автоматизованих системах контролю, вимірювання та регулювання технологічних процесів, а також в інформаційно-вимірювальних системах. У розробленні ДСП активно брали участь наукові колективи країн-членів Ради економічної взаємодопомоги. Основними принципами розроблення та вдосконалення ДСП були стандартизація й оптимізація функцій автоматичного контролю, регулювання та управління; блочно-модульна побудова приладів і пристроїв; скорочення номенклатури технічних засобів; агрегатний принцип створення систем управління на основі уніфікованих компонентів; забезпечення сумісності між приладами та пристроями. Розроблення державного стандарту ГОСТ 12997-67 надалі визначило структуру та склад ДСП [112]. Створення й розвиток ДСП, а також широке впровадження її принципів і вимог стали основою технічної політики на наступні роки. Під час створення нового покоління ДСП формувалися нормативні документи, що забезпечували програмно-технічну сумісність засобів автоматизації відповідно до міжнародних стандартів. Це дало змогу зменшити витрати на автоматизацію об'єктів на 10–15 % [311, с. 4–7].

Створення і виробництво типових програмно-технічних засобів (ПТЗ) дали

можливість проєктувати гнучкі автоматичні та автоматизовані виробництва.

Агрегатні комплекси (АК) – це спеціалізовані системи технічних засобів, структуровані у вигляді функціонально-параметричних серій. Вони забезпечували необхідні діапазони вимірювання за різних умов експлуатації та виконували всі передбачені функції в межах визначеного класу завдань. Найбільшого поширення набув агрегатний комплекс засобів електровимірювальної техніки (АЗЕТ). Цей комплекс об'єднував низку функціонально завершених пристроїв (Додаток Л, рис. Л.1), згрупованих за номенклатурними ознаками. Вони були подібними за функціональним призначенням, але відрізнялися базовими характеристиками. Пристрої поділялися на чотири основні групи: системи збирання та перетворення інформації, зокрема первинні й вторинні вимірювальні перетворювачі, датчики електричних і магнітних величин, комутатори тощо; пристрої для вимірювання та подання інформації; системи керування і блоки зв'язку; допоміжне обладнання [340].

Впровадження засобів АЗЕТ у виробництво суттєво підвищило продуктивність праці, дало змогу збільшити обсяги випуску пристроїв і водночас зменшити витрати на їхнє проєктування [92].

Таким чином, ускладнення технологій виробництва, розвиток наукових досліджень призвели до необхідності вимірювання та контролю кількох тисяч параметрів одночасно. Це зумовило розроблення нового покоління інформаційно-вимірювальної техніки – вимірювальних інформаційних систем, які здійснювали збирання, оброблення, передавання, зберігання, відображення та вплив інформації на об'єкт дослідження. Темпи створення засобів цифрової електровимірювальної техніки визначалися передусім розвитком радіоелектронної елементної бази.

Базисом для технічних досягнень став ґрунтовний теоретичний доробок. Він охоплював розвиток теорій лінійних, нелінійних та імпульсних систем, методів модуляції й кодування, а також принципів аналізу та синтезу логічних схем та систем передавання сигналів. Фундаментальні дослідження

інформаційно-вимірювальних технологій сприяли становленню нового науково-практичного напрямку – віртуальних та інтелектуальних вимірювальних засобів. На основі аналізу джерельної бази виокремлено п'ять етапів еволюції таких систем, детальну характеристику яких наведено в табл. М.1 (Додаток М.1) [67, 95, 131, 174, 221, 325, 347].

На теренах України дослідження в галузі інформаційно-вимірювальних систем у 1970-ті–1980-ті рр. проводили науково-дослідні колективи ІЕД АН УРСР. Значний доробок науковцям інституту належить у створенні інформаційно-вимірювальних систем для електроенергетичної галузі. Було розроблено нове покоління цифрових вимірювальних мостів, зокрема цифрових екстремальних мостів для вимірювання параметрів комплексних опорів, а також створено низку еталонів для забезпечення єдності вимірювань. Для забезпечення роботи контурів регулювання було запропоновано високостабільну зразкову міру індуктивності, прецизійні фазообертачі на основі операційних підсилювачів, а також удосконалену систему автоматичного вибору піддіапазону вимірювання [131, с. 4].

У 1975 р. розпочалося масове виробництво цифрового моста Р5016, створеного на основі першого універсального макета екстремального типу. Цей прилад забезпечував прецизійне вимірювання параметрів комплексного опору за будь-якого співвідношення активної та реактивної складових. У 1976 р. групу науковців відділу електричних і магнітних вимірювань спільно зі співробітниками заводу «Точелектроприлад» було нагороджено Державною премією СРСР «За розробку теоретичних основ і принципів побудови автоматичних вимірювачів комплексних електричних величин, створення на цій базі і впровадження у виробництво цифрових автоматичних мостів змінного струму». Серед лауреатів були Ф. Б. Гриневич, А. Е. Новік, М. М. Сурду та інші [264, арк. 68; 312].

Таким чином, вчені ІЕД НАН України брали активну участь на всіх етапах розвитку електровимірювальної техніки в Україні. Наукові дослідження Ф. Б. Гриневича, Є. О. Андрієвського, А. Д. Ніженського, А. І. Новіка,

М. М. Сурду, С. Г. Таранова та З. Я. Монастирського, стали підґрунтям для подальшого розвитку інформаційно-вимірювальних технологій, систем для електроенергетики, орієнтованих на підвищення точності вимірювань, автоматизацію процесів та створення державних еталонів.

В ЛНДРТІ продовжував розвиватися напрям зі створення спеціалізованої осцилографічної техніки. Зокрема, у 1971 р. було розроблено модель С1-63 із робочою смугою пропускання до 25 МГц. Цей бортовий прилад, розрахований на експлуатацію в авіаційній техніці, дозволяв не лише візуально аналізувати форму та параметри електричних сигналів на екрані ЕПТ, а й здійснювати їхню фотореєстрацію. Особливістю розроблення стала висока стійкість до декомпресії: осцилограф зберігав працездатність та метрологічні характеристики в умовах зниженого атмосферного тиску, зокрема в негерметичних відсіках літальних апаратів та за значних температурних коливань. Над створенням С1-63 працював авторський колектив у складі: В. І. Гудика, Д. І. Грицака, І. І. Халавки, М. В. Юшина та В. Кошуленка [13, с. 341].

У 1973 р. науковці ЛНДРТІ розробили перший у країні універсальний напівпровідниковий осцилограф С1-71 із широкою смугою пропускання 0–100 МГц. Прилад вирізнявся високою чутливістю, низькою похибкою вимірювання, універсальною системою живлення та економічним споживанням енергії. На замовлення авіаційної галузі було також створено сервісний осцилограф С1-73 зі смугою пропускання 0–5 МГц, призначений для дослідження сигналів з амплітудою 10 мВ–350 В. Завдяки вазі лише 4,5 кг (що було нижче встановленої норми у 5 кг), пристрій став першим у своєму класі в СРСР і здобув значну популярність. Розроблені в інституті осцилографи знайшли широке застосування в оборонному комплексі та різних галузях народного господарства, а також активно експортувалися до понад 40 країн світу [13, с. 348–351].

У 1970-х рр. на базі ЛНДРТІ склалася провідна науково-конструкторська школа осцилографії. Це дозволило забезпечити військово-промисловий комплекс, авіацію та народне господарство надійними вимірювальними

приладами, що поєднували точність, компактність і витривалість.

Початок 1970-х рр. ознаменувався появою першого чотирирозрядного мікрокомп'ютерного набору Intel 4004. Варто зауважити, що термін «мікропроцесор» увійшов у загальний вжиток лише у 1972 р. Цей пристрій було виготовлено за р-канальною МОП-технологією з кремнієвими затворами на кристалі розміром $3,8 \times 2,8$ мм. Його продуктивність досягала 60 тис. операцій на секунду, що на той час вважалося видатним досягненням. Згодом компанія Intel представила перший 8-розрядний мікропроцесор 8008 у 18-контактному корпусі з розміром кристала близько $3,18 \times 4,31$ мм. Пробні зразки цієї моделі надійшли у продаж у 1972 р. за ціною 200 дол. Вже у 1981 р. сімейство процесорів Intel поповнилося новою 16-розрядною моделлю 8086 та 8-розрядною 8088. Ці рішення виявилися надзвичайно успішними та всього за один рік отримали близько 2500 нагород [70].

На теренах України розробленням мікропроцесорів займалися науковці Науково-дослідного інституту (НДІ) «Мікроприлад», зокрема С. О. Моральов, К. М. Кролевець, Ю. А. Петін, О. І. Корнєв, В. Г. Табірний, А. І. Молчанов, А. В. Кобилинський. НДІ «Мікроприлад» було засновано у 1966 р. на основі Київського конструкторського бюро мікроелектроніки КБ-3. Інститут виконував функції провідної наукової установи науково-виробничого об'єднання «Кристал», до структури якого входили Київський завод напівпровідникових приладів і дослідний завод «Мікроприлад» [231, с. 74–76].

Розроблення мікроелектронних пристроїв у конструкторському бюро КБ-3 розпочалося у 1963 р. зі створення гібридних інтегральних схем, а вже у 1968 р. ці розробки було впроваджено у серійне виробництво. Завдяки новій технології виготовлення тонкоплівкових резистивних і ємнісних мікросхем на основі танталу продуктивність випуску гібридних схем зросла у 5–10 разів, при цьому вихід придатних виробів досяг 90 %. Упродовж 1972–1973 рр. в НДІ «Мікроприлад» на базі БЕСМ-6 було розгорнуто систему автоматизованого проектування. Це дозволило створювати великі інтегральні схеми (ВІС) з високим ступенем інтеграції, що суттєво скоротило терміни робіт до 50–70 днів.

Створений складний програмний комплекс забезпечував повний цикл формування архітектури ВІС [279, арк. 183–184].

Організація безперервного циклу робіт, тобто від проєктування до виробництва, дало змогу скоротити терміни створення нових ВІС та засобів мікропроцесорної техніки, підвищити їх якість, знизити вартість. У 1974 р. на заводі напівпровідникових приладів НВО «Кристал» було повністю освоєно технологічний процес виготовлення ВІС. Саме тоді вперше на теренах України, у СРСР та Європі розпочалося їх масове виробництво. Згодом технологію виготовлення ВІС запровадили й на інших підприємствах: заводах «Квантор» у Тернопільській області, «Жовтень» у Вінниці, «Родон» в Івано-Франківську, «Дніпро» в Херсоні, «Гравітон» у Чернівцях та «Гамма» в Запоріжжі [231, с. 78–80].

Науковці НВО «Кристал» розробили та впровадили в серійне виробництво 8-розрядні, а пізніше й 16-розрядні мікропроцесори, які за своїми характеристиками не поступалися закордонним аналогам. У 1976 р. було укладено договір про науково-технічну співпрацю між НВО «Кристал», ІК АН УРСР і заводом «Радіоприлад» імені С. П. Корольова. Документ передбачав створення спеціалізованих мікро-ЕОМ на основі мікропроцесорів МП-К-25 для використання у радіовимірювальних приладах та інформаційно-вимірювальних системах, а також розроблення наборів мікропроцесорних ВІС для побудови мікро-ЕОМ. У результаті цієї співпраці у 1977–1979 рр. було створено й запроваджено у виробництво модульний набір мікропроцесорної техніки «МНМТ», до складу якого входили мікроконтролер «МК 01» і мікрокомп'ютер «УВС 01». В ІК АН УРСР дослідження та розроблення мікропроцесорних засобів здійснювалися в лабораторії під керівництвом О. В. Палагіна [267, арк. 17–18].

Вагомість наукового доробку НДІ «Мікроприлад» НВО «Кристал» зі створення мікропроцесорної техніки підтверджується архівними матеріалами ДАК. Аналіз звітів за науково-дослідною тематикою установи, що зберігаються у фондах архіву, дозволив установити, що упродовж 1976–1985 рр. було виконано 58 науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт із

розроблення, вдосконалення та впровадження великих інтегральних схем. Узагальнену інформацію щодо проведених досліджень представлено у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Перелік науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт НДІ «Мікроприлад»*

Позначення теми	Заголовок теми
1	2
«Колос»	Звіт з НДР «Розробка принципів побудови однокристальних послідовних мікропроцесорів на основі МДН технологій для інженерних та керуючих ЕКОМ, що сполучаються із зовнішніми пристроями». 1976 р.
«Корт»	Звіт з НДР «Розробка та дослідження принципів побудови продуктивних мікро-ЕОМ на основі МОН ВІС». 1976 р.
«Корт-1»	Звіт з ДКР «Розробка мікропроцесорного набору на основі n-канальних МДН-транзисторів для мікро-ЕОМ систем керування та контролю». 1978 р.
«Корт-2»	Звіт з ДКР «Розробка ВІС програмованого інтерфейсу для каналів зв'язку на основі n-канальних МДН-транзисторів». 1978 р.
«Крило-1», «Корт-1», «Корт-2»	Звіт з ДКР «Особливості розробки технології виготовлення n-канальних МОН ВІС із кремнієвими затворами». 1978 р.
«Клас»	Звіт з НДР «Дослідження технічних та експлуатаційних характеристик ВІС мікропроцесорного набору та можливості його застосування в бортовому обчислювальному пристрої, вироблення рекомендацій щодо оптимізації характеристик ВІС». 1979 р.
«Комета-6»	Звіт з НДР «Дослідження та розробка елементної бази для створення ІС ПЗУ ємністю 64–128 Кбіт» Том 1/ Том 2. 1979 р.
«Комета-7»	Звіт з НДР «Дослідження конструктивно-елементної бази для створення ОЗП інформаційною ємністю 64 Кбіт». 1979 р.
«Компілятор»	Звіт з НДР «Розробка та дослідження структури та організації математичного забезпечення інформаційно-вимірювальної обчислювальної системи (ІВОС) для контролю ВІС мікропроцесорного набору». 1979 р.
«Крейт»	Звіт з НДР «Дослідження та розробка принципів побудови інформаційно-вимірювальної обчислювальної системи (ІВОС) для контролю ВІС мікропроцесорного набору». 1979 р.
«Крона»	Звіт з НДР «Розробка методів складання МДН-ВІС на стрічкових носіях та виробів на їх основі». 1979 р.
«Кайман-1»	Звіт з ДКР «Розробка мікро-ЕОМ на основі мікропроцесорного набору n-канальних ВІС». 1979 р.
«Корт-3»	Звіт з ДКР «Розробка ВІС програмованого контролера прямого доступу до пам'яті» 1979 р.
«Корт-9»	Звіт з ДКР «Розробка мікропроцесора з підвищеною швидкістю на основі n-канальних МДН-транзисторів». 1979 р.
«Корт-4 П»	Звіт з НДР «Розробка програмного забезпечення автоматизованого робочого місця схемотехніка МДН ІС». 1980 р.
«Курган-3»	Звіт з НДР «Дослідження шляхів створення НІЗП ємністю 16 Кбіт». 1980 р.
«Кайман-4»	Звіт з ДКР «Розробка системного математичного забезпечення мікро-ЕОМ на основі n-канального мікропроцесорного набору ВІС серії К 580». 1980 р.
«Калейдоскоп»	Звіт з ДКР «Розробка програмного забезпечення автоматизованого робочого місця програміста мікропроцесора К 580 ІК 80 / К 580 ІК 80 А на базі міні-ЕОМ». 1980 р.

Продовження таблиці 4.1

1	2
«Корт-4»	Звіт з ДКР «Розробка ВІС програмованого таймера інтервалів». 1980 р.
«Корт-5»	Звіт з ДКР «Розробка ВІС програмованого контролера переривань на основі п-канальної МДН-технології». 1980 р.
«Кандела»	Звіт з НДР «Дослідження теплових режимів ВІС мікропроцесорного набору К 580». 1981 р.
«Кайман-2»	Звіт з ДКР «Розробка контролера програмованого універсального для технологічного та контрольно-вимірювального обладнання на основі мікропроцесорної серії К 580». 1981 р.
«Корт-1сн»	Звіт з ДКР «Розробка ВІС паралельного програмованого інтерфейсу для спецапаратури». 1981 р.
«Корт-1СМ»	Звіт з ДКР «Розробка ВІС центрального мікропроцесора для спецапаратури». 1981 р.
«Корт-2с»	Звіт з ДКР «Розробка ВІС послідовного інтерфейсу для спецапаратури». 1981 р.
«Кольцо-1»	Звіт з НДР «Дослідження фізико-технічних методів локальної та інтегральної діагностики підвищення якості ВІС у процесі виробництва». 1982 р.
«Катет»	Звіт з ДКР «Розробка процесів проекційної фотолітографії в п-канальній технології ВІС». 1982 р.
«Кивер-1»	Звіт з ДКР «Розробка однокристалльного 16-розрядного мікропроцесора на основі МОН-технології. Аналог І-8086». 1982 р.
«Корт-3с»	Звіт з ДКР «Розробка ВІС програмованого контролера прямого доступу до пам'яті для спецапаратури». 1982 р.
«Корт-4с»	Звіт з ДКР «Розробка ВІС програмованого таймера інтервалів для спецапаратури». 1982 р.
«Корт-5с»	Звіт з ДКР «Розробка ВІС програмованого контролера переривань для спецапаратури». 1982 р.
«Калейдоскоп-5»	Звіт з НДР «Дослідження можливостей та створення експериментального програмного забезпечення для проектування топології ВІС від ескізу електричної схеми на базі СМП «Кулон-3». 1983 р.
«Капля-82»	Звіт з НДР «Патентні дослідження з МОН мікропроцесорних ВІС, МОН ВІС НІЗН, ПЗП». 1983 р.
«Кайман-3»	Звіт з ДКР «Розробка крос-ПЗ мікро-ЕОМ на основі високопродуктивного 16-розрядного мікропроцесора». 1983 р.
«Кайман-6»	Звіт з ДКР «Розробка технічних засобів робочих місць для налагодження робочих програм контролерів на основі мікропроцесорної серії К 580». 1983 р.
«Капот»	Звіт з ДКР «Розробка та впровадження програмного забезпечення підготовки керуючої інформації для ГІ ЕМ-559, ЕМ-5009 та ІТС «Кулон-3». 1983 р.
«Каска»	Звіт з ДКР «Розробка КМОН-технології виготовлення ВІС мікроконтролерів». 1983р.
«Капрон»	Звіт з НДР «Дослідження та розробка схемотехніки базового комплексу ВІС малорозрядних мікроконтролерів на основі КМОН-технології». 1984 р.
«Каре-4 П»	Звіт з НДР «Дослідження впливу мікродфектності, домішок кисню та вуглецю в кремній на характеристики НВІС на основі МДН-структур та ПЗС». 1984 р.
«Катран-8»	Звіт з НДР «Дослідження параметрів КМОН-структур та розробка математичних моделей елементів мікропроцесорних МОН ВІС серії 580/1810, що виготовляються за КМОН-технологією з п-кишеннями». 1984 р.
«Ківер-2»	Звіт з НДР «Дослідження схемотехнічних та конструкторсько-технологічних рішень побудови п-канальних МДН ВІС однокристалльного 16-розрядного

Продовження таблиці 4.1

1	2
	мікропроцесора з байтовим принципом обміну інформацією для побудови системних контролерів». 1984 р.
«Кайман-5»	Звіт з ДКР «Розробка базового високопродуктивного контролера на основі 16-розрядного мікропроцесора». 1984 р.
«Калейдоскоп-9»	Звіт з ДКР «Розробка та впровадження програмного забезпечення проєктування топології ВІС на основі символічного представлення топології». 1984 р.
«Корт-УФ»	Звіт з ДКР «Розробка НВІС однокристального мікрокомп'ютера». 1984 р.
«Корт-2П»	Звіт з ДКР «Розробка ВІС програмованого послідовного інтерфейсу в пластмасовому корпусі». 1984 р.
«Качан»	Звіт з НДР «Дослідження архітектурних, схемотехнічних та конструкторсько-технологічних принципів реалізації високопродуктивної однокристальної мікро-ЕОМ». 1985 р.
«Крос»	Звіт з НДР «Дослідження та розробка КМДН технології на КНС для створення мікропотужних швидкодіючих НВІС». 1985 р.
«Курган-7»	Звіт з НДР «Дослідження та розробка елементної бази для створення НВІС РПЗП ємністю 128–256 Кбіт з електричним стиранням інформації». 1985 р.
«Курсив»	Звіт з НДР «Дослідження технологічних шляхів зниження дефектності при виготовленні еталонних фотошаблонів ВІС». 1985 р.
«Курс-1-Глазур»	Звіт з НДР «Дослідження фізико-технічних методів виявлення прихованих дефектів у структурних шарах та елементах n-канальних ВІС мікропроцесорного набору». 1985 р.
«Кайман-8»	Звіт з ДКР «Розробка крос-системи програмування однокристальної 8-розрядної мікро-ЕОМ». 1985 р.
«Кайман-10»	Звіт з ДКР «Розробка комплексу стандартних підпрограм внутрішнього програмного забезпечення однокристальної мікро-ЕОМ». 1985 р.
«Кайман-12»	Звіт з ДКР «Розробка крос-системи програмування математичного співпроцесора мікропроцесорного комплексу серії К 1810». 1985 р.
«Кивер-1 С» «Комета-3Ф»	Звіт з ДКР «Розробка НВІС 16-розрядного мікропроцесора на основі n-МОП-технології для застосування в спецапаратурі» Книга 1/Книга 2. 1985 р.
«Корт-6с»	Звіт з ДКР «Розробка ВІС універсального контролера переривань для мікропроцесорних комплектів серії 580 та 1810/ аналог М 8259А». 1985 р.
«Кунсткамера»	Звіт з ДКР «Розробка технології виготовлення проміжних фотооригіналів НВІС з обсягом інформації до 1,0–1,5 млн. експозицій оптико-механічного генератора зображень». 1985 р.

Примітка: скорочення у таблиці: АСНТІ – автоматизована система науково-технічної інформації, ГІС – гібридні інтегральні схеми, ЕКОМ – електронна клавішна обчислювальна машина, ЕОМ – електронна обчислювальна машина, ЗУ – запам'ятовуючі пристрої, ІВОС – інформаційно-вимірювальна обчислювальна система, ІС – інтегральні схеми, КМДН – комплементарна структура металдіелектрик напівпровідник, КМОН – комплементарна структура металоокисел напівпровідник, МДН – металдіелектрик напівпровідник, МОН – металоокисел напівпровідник, НВІС – надвеликі інтегральні схеми, НЗП – напівзапам'ятовуючі прилади, НПЗП – напівпрограмні запам'ятовуючі пристрої, ОЗП – оперативні запам'ятовуючі пристрої, ПЗ – програмне забезпечення, ПНП – програмні напівзапам'ятовуючі пристрої, РПЗП – репрограмні запам'ятовуючі пристрої.

*Таблицю складено автором за матеріалами [207, арк. 35, 36, 38, 59, 63, 64, 66, 67, 71, 76, 77, 81, 82, 88, 91, 98, 103, 105–107, 112–114, 124–126, 129, 132, 136, 141–143, 146, 148].

У 1970-х рр. науковці ІК АН УРСР розпочали систематичні дослідження принципів проектування системних ПФІ на елементній базі другого та наступних поколінь. У цей період активно розвивалися методи імітаційного моделювання алгоритмів функціонування ПФІ, машинного аналізу похибок, а також критерії оцінки їхньої системної ефективності. Науковці відділу перетворювачів форми інформації ІК АН УРСР брали активну участь у виконанні державних програм і численних господарських договорів. Зокрема, у межах теми ДЕ-0470.002 здійснювалося розроблення теоретичних основ і створення діючих зразків високоточних перетворювачів на мікроелектронній базі. Результатом цих робіт став розвиток алгоритмів функціонування АЦП паралельного типу та структур високоточних ЦАП на основі двоматричних схем. Використання прогресивної елементної бази дозволило створити високопродуктивний АЦП порозрядного типу, на основі якого було спроектовано та виготовлено надшвидкодійний аналого-цифровий перетворювач АЦП-26 [268, арк. 85–86].

Зростання ролі монолітних приладів у розвитку перетворювальної техніки простежувалося не лише на рівні науково-технічних розробок, а й у динаміці економічних та кон'юнктурних показників. Зокрема, за даними, характерними для США [69, с. 105–128], упродовж 1977–1982 рр. частка монолітних приладів у загальному обсязі збуту перетворювачів різних типів зросла з 23,1 % до 42,4 %. Зокрема частка ЦАП збільшилася з 26,6 % до 50 %, а АЦП – з 17,3 % до 36,6 %. [69, с. 105–128]. Ці дані було підтверджено у проміжному звіті ІК АН УРСР з теми ДЕ-0470.002 [309, арк. 40–42]. Теоретичні й прикладні результати відповідних досліджень докладно висвітлено в монографіях і наукових публікаціях співробітників відділу ІК АН УРСР [86; 100; 210; 211].

До кінця 1980-х рр. науковці ІК АН УРСР узагальнили результати теоретичних досліджень, присвячених надійності, завадостійкості, точності та продуктивності перетворювачів форми інформації. На цій основі було створено агрегатний комплекс перетворювачів. До його складу входили швидкодійні АЦП типу АЦП-11; швидкодійні АЦП із паралельно-послідовним кодуванням АЦП-21, АЦП-22; багатоканальні високоточні порозрядно-кодуєчі АЦП з

корекцією похибки АЦП-31, АЦП-32; багатоканальний АЦП для сигналів низького рівня АЦП-41; багатоканальний ЦАП-51; пристрій стиснення даних УСД-61; блок програмного керування БПК-71. Зазначений комплекс призначався для побудови на базі універсальних ЕОМ систем автоматичного керування складними експериментами, а також для використання в автоматизованих інформаційно-вимірювальних системах у різних галузях науки й техніки. Крім того, він застосовувався для поєднання машин безперервної та дискретної дії і міг входити до складу автоматизованих систем управління технологічними процесами у тих випадках, коли вбудовані перетворювачі форми інформації не забезпечували потрібної точності та швидкодії під час перетворення даних. [212, с. 140–142].

Отже, діяльність наукових колективів НДІ «Мікроприлад» та ІК АН УРСР упродовж 1970–1980 рр. стала вирішальною у розвитку вітчизняної мікроелектроніки. Визначальним внеском фахівців НДІ «Мікроприлад» стало створення перших вітчизняних мікропроцесорів та великих інтегральних схем, що дозволило перейти від дискретних елементів до високоінтегрованих систем. Це забезпечило технологічну незалежність країни у виробництві обчислювальної техніки та заклало основи для масового впровадження мікропроцесорних засобів у промисловість. Паралельно з цим, розроблення агрегатних комплексів ПФІ науковцями академічних інститутів дозволило ефективно поєднати можливості нової елементної бази з потребами автоматизованих систем керування. Створення прецизійних засобів перетворення інформації забезпечило перехід від аналогових сигналів до цифрового оброблення даних. Ці розробки сприяли появі нового покоління вимірювальних приладів, які за параметрами точності та швидкодії відповідали тогочасним стандартам і застосовувалися в авіації та оборонному комплексі.

Наукові школи технічних навчальних закладів також скоригували сфери наукових інтересів у напрямі вивчення інформаційно-вимірювальних систем. Так, в КПІ на факультеті автоматики і приладобудування сформувався новий

напрямок досліджень з вивчення та розроблення методів підвищення точності вимірювальних пристроїв. Засновниками наукової школи були А. Д. Нестеренко та П. П. Орнатський. Завдання науково-дослідної роботи були спрямовані на вивчення основ цифрової фазометрії (С. М. Маєвський); вимірювальних пристроїв періодичного порівняння для високоточної індикації фазових кутів та інших цілей (Ю. О. Скрипник); вимірювальних перетворювачів струмів та напруги і цифрові вольтметри діючих значень для широкого частотного діапазону (Ю. М. Туз); інформаційно-вимірювальні системи, комплекси та вимірювальні перетворювачі (В. Д. Ціделко); прилади і системи вимірювання характеристик випадкових сигналів та методологія вимірювання (П. П. Орнатський) [286, арк. 10–16].

Діяльність наукового колективу розповсюджувалася на розроблення та впровадження вимірювальних приладів і автоматизованих систем наукових досліджень, контролю і випробувань на основі структурно-алгоритмічних методів підвищення точності. У межах нового напрямку розроблялися такі перспективні завдання, як створення методів та засобів підвищення точності вимірювання напруги змінного струму; методів відтворення одиниці напруги змінного струму; метрологічного забезпечення систем та комплексів; методів та систем контролю і діагностики; методів неруйнівного контролю програмного забезпечення; дослідження стабільності компонентів вимірювальної техніки та стимуляції продуктивності нафтогазових свердловин; цифрове оброблення сигналів [287, арк. 4–8].

З 1971 р. при кафедрі ІВТ КПІ діяла дослідницька група у складі 5 викладачів, 5 старших інженерів, 1 старшого наукового співробітника, 1 інженера, 7 осіб обслуговуючого персоналу. Основним напрямом науково-дослідної роботи групи був аналіз та розроблення вимірювачів напруги підвищеної точності в діапазоні частот від інфранизьких до радіочастот. Були виконані НДР за тематикою «Пошук методів і схем побудови вимірювачів напруги підвищеної точності в діапазоні частот від інфранизьких до

радіочастот»; «Розроблення та дослідження вимірювальних лінійних аналогових перетворювачів ефективного значення змінної напруги у широкому частотному діапазоні в постійну напругу» [276, арк. 1].

У межах договорів про співпрацю з промисловими підприємствами та НДІ здійснювався широкий спектр прикладних робіт. Зокрема, розроблялися лінійні високочастотні перетворювачі для автоматичних систем контролю та пристрої діючого значення змінної напруги. Окрему увагу приділяли створенню аналого-цифрових перетворювачів змінного струму польового типу та калібраторів для вимірювачів рівня у діапазоні частот 10 кГц–25 МГц. Крім того, вивчалися можливості проектування широкосмугових підсилювачів із комбінованим зворотним зв'язком, багатоканальних вимірювальних систем та схем фазочутливих вольтметрів інфранизької частоти [276, арк. 1].

Перелік найважливіших тем, закінчених у 1971 р. дослідною групою кафедри ІВТ КПІ, були пов'язані з дослідженням та розробленням аналого-цифрових перетворювачів змінного струму польового типу, шифр «Венера»; мілівольтметра ефективних значень, шифр «Волога»; лінійного перетворювача для систем контролю, шифр «Вірогідність» та вивченням можливості створення широкосмугових підсилювачів з використанням комбінованого зворотного зв'язку та багатоканальних вимірювальних підсилювачів, шифр «Волога» [276, арк. 2].

За результатами роботи дослідницької групи отримано одне авторське свідоцтво на спосіб вимірювання напруги (В. І. Губар, Ю. М. Туз, В. Д. Ціделко) та подано 5 заявок на винахід, зокрема: цифровий вольтметр змінної напруги (В. І. Губар, Ю. М. Туз, В. Д. Ціделко); пристрій для перетворення змінної напруги на постійну (Ю. М. Туз, Є. Т. Володрський, В. І. Губар, В. Д. Ціделко, К. Л. Серпілін); широкосмуговий підсилювач (Є. Т. Володарський, К. Л. Серпілін, Ю. М. Туз); перетворювач змінної напруги (Ю. М. Туз, В. І. Губар, В. Д. Ціделко, К. Л. Серпілін); кодуєчий перетворювач (Ю. М. Туз, В. Д. Ціделко, В. І. Губар, Б. Р. Іванов) [276, арк. 3–4].

Не менш важливою для впровадження нових розробок була участь в виставках. Зокрема, на Виставці передового досвіду в народному господарстві УРСР у 1971 р. кафедра ІВТ КПІ експонувала мілівольтметр діючих значень на транзисторах, амплітудний вольтметр інфранизької частоти та інтегруючий цифровий мікровольтметр [276, арк. 8].

Науково-дослідна група кафедри ІВТ КПІ брала активну участь в організації та проведенні республіканських та союзних конференцій. Так, співробітники кафедри взяли участь в організації II Всесоюзної конференції з метрології та методів точних вимірювань, в організації та проведенні науково-технічного семінару по лінії НТТ Приладпром, конференції «Електронні прилади та системи з комутаційними перетворювачами», республіканського семінару «Нові електронні прилади» [276, арк. 12].

Навчальна та наукова діяльність кафедри ІВТ КПІ ґрунтувалися на безпосередній взаємодії з приладобудівною промисловістю, зокрема з київськими заводами «Радіоприлад» імені С. П. Корольова, «Точелектроприлад», СКБ «Теплоконтроль» (м. Львів), Житомирським заводом «Електровимірювач» та радіоелектронним заводом «Пунане Рет» (м. Таллінн), Кишинівським науково-дослідним електротехнічним інститутом. В 1973 р. сумісно з кафедрою на заводі «Точелектроприлад» було організовано лабораторію фазометрії під керівництвом доцента кафедри С. М. Маєвського і розпочато серійне виробництво фазометрів і кодированих мір фазового зсуву (Н. А. Яремчук) [277, арк. 44–45].

Результати наукових пошуків колективу кафедри активно апробувалися через дисертаційні роботи, зокрема у 1972 р. здійснювалася підготовка 12 кандидатських та 2 докторських досліджень [324, арк. 1–3]. Упродовж 1973–1977 рр. на кафедрі було захищено 4 докторські дисертації – Ю. М. Тузом, С. М. Маєвським, Л. І. Волгіним, В. Д. Ціделко, кількість підготовлених на кафедрі кандидатів технічних наук досягла 40 осіб. До 1984 р. завідувачем кафедри ІВТ був професор П. П. Орнатський [144].

У подальшому на базі кафедри було створено дві нові кафедри:

електроприладобудування (завідувач кафедри проф. С. М. Маєвський, далі кафедра приладів і систем неруйнівного контролю) і кафедра автоматизації експериментальних досліджень (завідувач кафедри проф. Ю. М. Туз).

У ЛПІ в межах наукової школи з теорії електричних вимірювань та вимірювальних інформаційних систем сформувалося кілька напрямів наукової роботи. В. О. Кочан, С. С. Обозовський, Є. С. Поліщук і Є. І. Шморгун працювали над проблемами електричних вимірювань електричних та неелектричних величин. Теоретичні засади інформаційно-вимірювальної техніки й цифрові засоби вимірювання електричних величин розробляли С. С. Обозовський та А. Я. Шрамков. Окремо розвивалися дослідження електронних цифрових приладів, які проводив Б. І. Швецький [158; 166, арк. 255–256].

У 1973 р. при кафедрі інформаційно-вимірювальної техніки ЛПІ було сформовано спеціальну групу метрології. Ініціатива її створення належала доценту кафедри Є. І. Шморгуну та керівниці студентського проектно-конструкторського бюро П. В. Лясковській. Наступного року, у 1974 р., на цій організаційній основі було створено відділ СПКБ «Метрологія», діяльність якого охоплювала не лише метрологічні дослідження, а й конструювання електровимірювальних приладів. Під науковим керівництвом Є. І. Шморгуна було розроблено та передано в серійне виробництво низку цифрових термометрів. Водночас у межах цього осередку сформувався новий напрям вимірювальної техніки, пов'язаний з активним імітуванням електричного опору. Його розвиток створив передумови для розроблення калібраторів та автоматизованих комплексів метрологічного забезпечення, які відзначалися високими метрологічними характеристиками. Важливою складовою діяльності кафедри та СПКБ була участь студентів у науково-дослідній роботі. Вона охоплювала кілька тематичних напрямів: створення цифрових вимірювачів потужності, над якими працювали С. С. Обозовський, М. І. Грибок і О. І. Чайковський; розроблення калібраторів напруги та індуктивних подільників, до якого долучилися Є. С. Поліщук, О. З. Базилевич і

О. П. Ришковський; створення засобів вимірювання параметрів змінних сигналів, яке здійснювали О. І. Чайковський, А. В. Серкіз і С. А. Савенко. Окремий напрям становили дослідження в галузі температурних вимірювань. М. І. Грибок, М. М. Дорожовець, В. І. Зорій і В. І. Пуцило працювали над створенням цифрових вимірювачів температури. Подальша спеціалізація цього напрямку охоплювала розроблення цифрових приладів для вимірювання кріогенних температур в умовах дії сильних магнітних полів. Над цією тематикою працювали М. І. Грибок, М. М. Дорожовець, І. Д. Питель і Л. М. Тищенко. В. І. Зорій і В. І. Пуцило досліджували багатоканальні вимірювачі температури для вибухонебезпечних середовищ, тоді як М. Г. Ковальчук та І. Д. Питель працювали над вимірювачами високих температур на основі динамічного методу із застосуванням низькотемпературних перетворювачів [319].

Науково-дослідна діяльність учених Львівського політехнічного інституту, спрямована на створення та впровадження новітньої вимірювальної апаратури, забезпечила суттєвий економічний ефект. Зокрема, у 1973 р. використання вимірювальних приладів принесло економію в розмірі 7,8 млн руб., економічна вигода від експлуатації 25 комплектів систем для обробки інформації під час випробувань сільськогосподарських машин (виготовлених у 1972 р.) склала 13,4 млн руб. Загальна сума фактичної економії за 1973 р., згідно з офіційними даними замовників, сягнула 23 млн руб., тоді як сумарний очікуваний ефект від впроваджених розробок оцінювався у межах 100 млн руб. [166, арк. 255].

Впродовж 1970-х рр. у ХПІ здійснювався значний обсяг робіт, зумовлених потребами приладобудівної промисловості. Зокрема, на кафедрі ВІТ у період 1970–1974 рр. під керівництвом О. В. Федорова проводилися наукові розробки вимірювальних систем для динамічного контролю ваги та механічних зусиль. В основі цих систем використовувалися анізотропні магнітопружні перетворювачі, а безпосереднім виконавцем робіт виступав П. Ф. Щапов [215, с. 12–14]. Крім того, здійснювалися проектно-конструкторські роботи зі

створення систем вимірювання ваги для різних галузей промисловості. Зокрема, упродовж 1971–1972 рр. було розроблено та впроваджено пристрої для зважування риби на портових кранах типу «Ганц» у Мурманському порту. У 1973 р. подібну систему для обліку кам'яного вугілля впровадили на мостових кранах Донецького коксохімічного заводу, а у 1974 р. реалізували проєкт вимірювання ваги вторинної сировини на Харківському заводі алюмінієво-бронзових сплавів. Ці роботи проводилися спільно з галузевою лабораторією кафедри технічної механіки за участю професора Г. В. Гонського [89, с. 91–94].

Під керівництвом О. В. Федорова набув розвитку напрям наукових досліджень з випробування феромагнітних матеріалів та їх використання для вимірювання електричних та неелектричних величин. Керівник роботи В. І. Піскляров, виконавці: викладач В. І. Бондаренко, інженер О. М. Баранов, аспірант С. І. Кондрашов (у подальшому доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри, фундатор напрямку наукової школи з тестових методів підвищення точності) [213, с. 8].

Відповідно до збільшення наукових досліджень з впровадження носіїв інформації на тонких магнітних плівках формувалися вимоги до створення нової апаратури і методів контролю магнітних властивостей таких виробів. Перші роботи (відповідальний виконавець В. І. Піскляров) проводились для Белорецького металургійного комбінату, НВО «Електрон», м. Зеленоград (Московська обл.). У роботах взяли участь студенти кафедри. Як наслідок успішного вирішення поставлених задач, були чисельні публікації у наукових журналах, авторські свідоцтва на винаходи та захист кандидатської дисертації у 1974 р. В. І. Піскляровим [314; 315].

У студентському СПКБ ХПІ було розроблено пакет технічно-конструкторської документації та виготовлено серію приладів контролю, які були впроваджені в освітній процес. Результати досліджень для КБ «Електроприладобудування» (м. Харків) мали значний практичний інтерес [213, с. 17].

У 1970 р. після О. В. Федорова на посаду завідувача кафедри ВІТ ХПІ був призначений доцент К. С. Полулях. Поява цифрових приладів з вбудованими мікропроцесорами зумовила появу нового вектора теорії і практики приладів. К. С. Полулях запровадив ряд нових навчальних курсів з розробки приладів на основі мікропроцесорної техніки. Об'єм навчального курсу з цифрових вимірювальних приладів на основі МП техніки збільшується з 16 годин до 100 годин на рік. К. С. Полуляхом були розпочаті наукові дослідження з розвитку теорії бігенераторних схем. На цій основі були розроблені АЦП для стендових випробувань теплових двигунів і їх вузлів на заводі імені В. О. Малишева та проведені дослідження стендових випробувань турбін для атомних електричних станцій Харківського турбінного заводу [282]. Варто зауважити, що термін «бігенераторні вимірювальні прилади» був уперше запропонований К. С. Полуляхом та В. К. Гусельниковим. Ця назва була введена в їхній спільній роботі, де розглядалися теоретичні засади функціонування аналого-цифрових перетворювачів фізичних величин, побудованих за бігенераторним принципом [293].

У 1972 р. кафедра стала базою для проведення семінару методичної ради Міністерства приладобудування СРСР з електровимірювальної техніки. У заході взяли участь керівники профільних кафедр провідних технічних закладів вищої освіти з усієї країни [215, с. 24].

У 1975 р. кафедру ВІТ очолив д.т.н., професор, Заслужений діяч науки та техніки України Сергій Миколайович Терентьєв. Він закінчив Військово-повітряну академію імені проф. Жуковського, проходив службу у Харківському військовому інженерному училищі імені маршала М. І. Крилова. У 1966 р. С. М. Терентьєв захистив докторську дисертацію. До основних наукових здобутків С. М. Терентьєва належать розроблення теорії функціонування генераторів дециметрових радіохвиль та дослідження їхніх одноконтурних схем. Зокрема, ним була запропонована конструкція автогенераторів метрових хвиль із коаксіальними резонаторами, яку згодом впровадили у виробництво.

Призначення С. М. Терентьєва на посаду завідувача кафедри суттєво вплинуло на розвиток її наукового та навчального потенціалу. Спираючись на перспективні теоретичні дослідження статистичних методів прийому та оброблення сигналів, він сформував низку нових дисциплін. До їхнього переліку увійшли курси з основ передавання інформації, інформаційно-вимірювальних систем, теорії інформації, а також методів оптимальної обробки сигналів та оптимізації цифрових систем зв'язку. Під його керівництвом С. І. Кондрашов та П. Ф. Щапов розробили лабораторні практикуми для дослідження параметрів каналів зв'язку, статистичного оброблення сигналів, вивчення роботи кодерів та декодерів [215, с. 25–27].

Напрямок наукової школи ХІІІ з оптимізації систем цифрової передачі сигналів С. М. Терентьєва об'єднав численних послідовників, серед яких 5 докторів та 30 кандидатів наук, в тому числі 5 фахівців для зарубіжних країн. Творчий доробок науковця налічує понад 200 праць, 13 монографій і підручників, а також 20 авторських свідоцтв. Свій внесок у підготовку кадрів він реалізував через керівництво кандидатськими дисертаціями С. І. Кондрашова й О. П. Давиденка та консультування під час підготовки докторських робіт В. П. Себка, О. І. Овчаренка та К. І. Діденка [215, с. 28].

Кінець 1970-х років характеризувався бурхливим розвитком мікроелектроніки. На кафедрі першим навчальним курсом, що запровадив вивчення мікроелектронних елементів, став курс «Електронні пристрої в ІВТ» (лектор Л. К. Ніконов). Для забезпечення лабораторних робіт у 1980 р. студентами М. Р. Масалжийським та В. В. Лисенком були розроблені та виготовлені 12 лабораторних макетів.

На кафедрі ВІТ під керівництвом В. П. Себка виконувалися роботи з неруйнівного контролю газового обладнання, у яких брали участь В. П. Себка, В. І. Бондаренко, О. О. Авраменко та Б. М. Горкунов. Дослідження проводилися на замовлення УкрНДІгазу, Хрестищенського управління бурових робіт виробничого об'єднання «Укрбургаз» та СПКТБ електрообладнання ХФТІ АН УРСР. Ці роботи були спрямовані на створення комплексів вимірювальних

установок для контролю обсадних труб, відбір матеріалів та розробку технології виготовлення елементів механічних вузлів на основі прохідних і накладних перетворювачів методами неруйнівного контролю. Теоретичні та практичні результати розвитку цього наукового напрямку сприяли широкому впровадженню напрацювань у навчальний процес, що згодом призвело до створення на базі кафедри ВІТ нової кафедри «Прилади та методи неруйнівного контролю», яка сформувалася виключно з числа викладачів та випускників кафедри ВІТ [215, с. 30].

У період 1984–1989 рр. кафедра під керівництвом проф. С. М. Терентьєва долучилася до виконання комплексної програми, ініційованої Кабінетом Міністрів та Академією наук СРСР для НВО «Енергія». Для реалізації цього завдання на базі кафедри було створено науково-дослідний центр, який очолив С. М. Терентьєв. До складу робочої групи увійшли завідувач сектору О. П. Давіденко, наукові співробітники В. А. Голубєв і О. О. Фейгін, а також інженери М. П. Примаєв, Ю. В. Левітський, В. Д. Тонкошкур та Ю. Е. Андрєєв. Основним завданням колективу стала розробка унікальної вимірювальної апаратури для випробування конструкційних матеріалів в умовах відкритого космосу. Проєкт, що отримав назву «Мікродеформатор», реалізовувався у тісній співпраці з кафедрами фізики металів та напівпровідників і опору матеріалів ХПІ. Створений фахівцями вимірювальний блок, призначений для фіксації зусиль та деформацій у позакорабельному середовищі, був встановлений на борту орбітальної станції «Салют-7», де він успішно пройшов випробування. За цей вагомий внесок у розвиток космічної техніки О. П. Давіденко був відзначений пам'ятною медаллю С. П. Корольова, а результати досліджень захищені двома авторськими свідоцтвами [186].

У 1985 році під керівництвом С. І. Кондрашова в ХПІ було створено службу метрології і стандартизації. Штат підрозділу налічував до 30 співробітників, які забезпечували метрологічний контроль усієї навчальної та наукової бази інституту. У період 1985–1995 рр. С. І. Кондрашов виконував функції головного метролога НТУ «ХПІ», організувавши системну взаємодію

університету з органами Держспоживстандарту України. У цей же період за його ініціативи було відкрито філію кафедри на ДП «Харківстандартметрологія», що дозволило залучити до освітнього процесу провідних фахівців-практиків [215, с. 32].

Окремої уваги заслуговує внесок професора ХПІ К. І. Діденка у розробленні концепції агрегатних комплексів технічних засобів Державної системи приладобудування. Як один із розробників державного стандарту системи промислових приладів і засобів автоматизації, він зробив визначальний внесок у формування галузевих нормативів [117]. Після закінчення у 1952 р. кафедри «Автоматика та телемеханіка» ХПІ він працював у СКБ «Системи автоматичного управління» (СКБ «САУ»), де обіймав посади від інженера до генерального директора науково-виробничого об'єднання [214, с. 14–19].

Діяльність К. І. Діденка була зосереджена на створенні, впровадженні та застосуванні в ІВС та АСУ ТП нового покоління агрегатного комплексу технічних засобів для локальних інформаційно-керуючих систем (КТЗ ЛІКС) [141]. Науковець запропонував інноваційну концепцію серійного виробництва уніфікованих типових конструкцій, що стала базою для проектування засобів автоматизації та проведення складних експериментів. На основі КТЗ ЛІКС та його нового покоління – комплексу мікропроцесорних засобів диспетчеризації, автоматики, телемеханіки «МікроДАТ», реалізовувалися великі проекти автоматизації в металургійній, нафтохімічній та машинобудівній галузях. Плідна співпраця СКБ «САУ» з кафедрою ВІТ дозволила у 1985 р. створити одну з перших у країні навчальних лабораторій мікропроцесорних систем на базі комплексу МікроДАТ, що мало визначальне значення для підготовки майбутніх фахівців [215, с. 32].

Таким чином, науково-педагогічна діяльність провідних політехнічних закладів відповідала тогочасним світовим тенденціям електроприладобудування та вимогам промисловості. Наукові школи зосередили зусилля на розробленні методів підвищення точності вимірювальних пристроїв, теоретичних основах вимірювання електричних і неелектричних величин, а також на створенні

цифрових засобів і мікропроцесорних комплексів управління. Ці здобутки сформували фундамент для модернізації промисловості, а спільні зусилля технічних університетів забезпечили не лише впровадження інновацій у виробництво, а й підготовку фахівців, здатних проектувати та експлуатувати складні інформаційно-вимірювальні системи.

Дієвим інструментом координації науково-виробничого кластеру електровимірювальної техніки стали систематичні наукові семінари. Зокрема, у 1979 р. Республіканським будинком економічної та науково-технічної пропаганди товариства «Знання» Української РСР, КПІ, Київським міським правлінням НТТ «Приладпром» було проведено республіканські наукові семінари «Перспективи розвитку приладобудування у десятій п'ятирічці» та «Структурні методи підвищення точності, чутливості та швидкодії вимірювальних приладів та систем». Розглядалися складні завдання з розвитку вимірювальної техніки – підвищення точності приладів, швидкодії, автоматизації вимірювань та перспективи впровадження мікропроцесорів в вимірювальну техніку. Важливість питань, що обговорювалися, підтверджується змістом доповідей секції приладобудування. Узагальнена інформація представлена у табл. 4.2.

Результати роботи наукових семінарів мали вагоме практичне значення. У звіті за підсумками роботи республіканського наукового семінару «Структурні методи підвищення точності, чутливості та швидкодії вимірювальних приладів та систем» науковий керівник семінару д.т.н., проф. П. П. Орнатський акцентував увагу на те, що тематика наукових досліджень, представлених для обговорення на семінарі, по-перше, мала глибоке теоретичне підґрунтя, а, по-друге, чітко окреслену практичну спрямованість. Крім того, було проаналізовано і наявні недоліки у розвитку структур вимірювальних приладів та систем. Тому головним висновком була рекомендація щодо залучення до участі у семінарі на наступний рік представників підприємств-розробників [153, арк. 36–38].

Таблиця 4.2 – Перелік доповідей українських вчених, секція приладобудування, 1979 р.*

Назва доповіді	Доповідач
Сучасний етап розвитку перетворювальної техніки	О. І. Кондалев
Перспективи розвитку вітчизняної цифрової вимірювальної техніки	П. П. Орнатський
Системи контролю параметрів радіовимірювальної апаратури	Ю. М. Туз
Розвиток тензовимірювальної апаратури у десятий п'ятиріччі	В. С. Чорний
Перспективи розробки та освоєння у виробництві керівників обчислювальних комплексів	А. Г. Назарчук
Стан та перспективи розвитку та впровадження мікропроцесорної техніки	Б. М. Малиновський
Модульний набір мікропроцесорної техніки	Б. М. Малиновський, О. В. Палагін, В. І. Сігалов
Застосування мікропроцесорів у апаратурі засобів зв'язку	В. В. Садовський
Застосування мікропроцесорів у радіовимірювальній апаратурі	А. М. Решетніков
Про підвищення ефективності вимірювання частоти та фазового зсуву	В. Є. Тирса, А. Д. Зеня, В. В. Дюняшев
Системне математичне забезпечення модульного набору мікропроцесорної техніки	С. Д. Погорілий
Методика налагодження мікропроцесорних систем на прикладі автоматизованого частотоміра	В. В. Бадашин
Про можливість застосування мікропроцесорів у гірничорятувальній газоаналітичній техніці	В. П. Делямуре
Реалізація алгоритмів корекції похибки системного вольтметра за допомогою мікропроцесора	А. П. Павлусенко, В. І. Губар
Комплекс алгоритмів для ланцюгів обробки сигналів, що реалізуються в мікропроцесорі	Ю. Ф. Алексеєнков, В. В. Дегтярьов
Можливості мікропроцесорів при спектральному аналізі сигналів	В. А. Буров, С. В. Устенко
Про реалізацію вбудованих пристроїв обробки первинної інформації в аналізаторах спектру	С. В. Устенко, В. А. Буров
Технічні можливості та особливості застосування вітчизняних мікропроцесорів	В. І. Біда, Є. Т. Володарський
Методи корекції похибок вимірювання амплітуд при побудові аналізаторів спектру	М. І. Глухимчук

*Таблицю складено автором за матеріалами [153, арк. 9–13].

З огляду на світові тенденції приладобудування, показовим є приклад житомирського заводу «Електровимірювач». Так, упродовж 1971–1975 рр. колективом заводу було розроблено та прийнято державними комісіями 29 нових

виробів на базі мікроелектроніки, 25 з яких впроваджено у серійне виробництво. Виконані замовлення, зокрема розроблено та впроваджено у виробництво іскробезпечний прилад Ц-4382 (замовник Мінвуглепром СРСР); Ц-4380 та для обслуговування автомобілів – Ц-4328 (замовник Міністерство шляхів сполучення); для радіоаматорів – Ц-4313, Ц-4326. Створено перший цифровий комбінований прилад Щ-4310, перший комбінований прилад високої чутливості, що має 80 меж вимірювань. Нові комбіновані прилади загальнопромислового призначення були оснащені вбудованим автоматичним вимикачем помилкових включень приладу. Почалося впровадження у серійне виробництво аварійно-резервного комплексу суднової радіоапаратури «Сирена», виготовлено опитний зразок спеціальної обчислювальної машини для розрахунку мережних графіків «Ритм-2». Була створена і в 1973 р. прийнята до експлуатації автоматизована система управління виробництвом на базі ЕОМ «Мінськ-32» – «АСУ–Електровимірювач». За цей час п'ятдесят чотири технічні рішення фахівців заводу Всесоюзний науково-технічний інститут державної патентної експертизи визнав винаходами та видав на них авторські свідоцтва дослідникам заводу [248, с. 38–39].

У 1973 р. у складі підприємства було організовано науково-дослідний відділ № 99 (НДВ-99) «Комбіновані прилади та системи» як філію ленінградського Всесоюзного науково-дослідного інституту електроприладобудування. Завідувачем НДВ-99 було призначено інженера Є. Є. Лашука. 22 вересня 1976 р. наказом Мінприладу СРСР НДВ-99 перетворено на Спеціальне конструкторсько-технологічне бюро комбінованих приладів (СКТБ КП), начальником якого призначили директора заводу М. І. Невмержицького [255].

Пожвавленню наукової діяльності підприємства сприяло проведення наукових конференцій у Житомирі: республіканської науково-технічної конференції «Структурні методи підвищення точності вимірювальних пристроїв та систем» (жовтень 1972 р.) та всесоюзної науково-технічної конференції «Створення та застосування комбінованих електровимірювальних приладів у

народному господарстві» (листопад 1973 р.). У першій половині 1970-х рр. було захищено сім дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук працівниками заводу [248, с. 40].

Цінну інформацію знайдено у виданні з історії підприємства під загальною редакцією директора заводу М. І. Невмержицького. У 1973 р. власник фірми «Бюрклін» Ганс Бюрклін (ФРН, м. Мюнхен) виявив зацікавленість до комбінованих приладів, які виготовлялись заводом «Електровимірювач». На той час із західними підприємцями працювали лише зовнішньоторговельні об'єднання Міністерства зовнішньої торгівлі СРСР. Оскільки завод вже постачав на експорт прилади і скарг від споживачів не було, то відповідь на прохання пана Ганса Бюркліна відвідати завод «Електровимірювач» була позитивна. Після ґрунтовного огляду технологічних процесів, приміщень заводу, вивчення технічної документації та діючої системи забезпечення якості приладів Ганс Бюрклін наголосив, що рівень організації етапів проектування, конструювання, виготовлення вимірювального устаткування дуже високий і не поступається підприємствам Європи. Спираючись на свій досвід у цій галузі, Ганс Бюрклін провів порівняльний аналіз вимірювальної продукції, зокрема фірми «Пауль Герц» (Австрія). Підсумком став висновок про доцільність придбання приладів Житомирського заводу «Електровимірювач» [248, с. 45].

Вже у 1973 р. представники фірми «Бюрклін» оформили договори на закупівлю гуртових партій приладів. М. І. Невмержицький скористався запрошенням і 1974 р. побував на фірмі «Бюрклін» (Додаток Н, рис. Н.3). Пан Ганс Бюрклін не лише ознайомив колег із сучасними зразками переносних комбінованих приладів, а й подарував найкращі з них М. І. Невмержицькому (закупив у магазинах Мюнхена вісім зразків, що сподобалися М. І. Невмержицькому) для вивчення та використання у нових розробках. Утім, із переходом М. І. Невмержицького на іншу посаду взаємини з фірмою «Бюрклін» поступово припинилися. Пан Ганс Бюрклін просив у ЗТО «МашПриладІнТорг» повноваження ексклюзивного постачальника

комбінованих приладів заводу «Електровимірювач» у західному світі, але йому було відмовлено [248, с. 45].

У плані розвитку заводу «Електровимірювач» на 1976–1980 рр., виходячи зі спеціалізації підприємства, передбачалося розширення номенклатури виробів. Крім традиційних комбінованих приладів магнітоелектричної та випрямної систем, значного розвитку мали набути прилади з напівпровідниковими підсилювачами та цифровим відліком. У цій групі засобів основну увагу планували приділити застосуванню нових напівпровідникових і гібридних інтегральних схем задля мініатюризації приладів та підвищення їхніх метрологічних параметрів. Враховуючи зростання попиту на зовнішніх ринках, передбачалася адаптація виробів до вимог іноземних замовників. Згідно з цим вектором розвитку, було намічено розробити та організувати серійний випуск аналізаторів спектра частот із широким діапазоном та візуалізацією вимірювань. Оскільки аналогічні прилади вітчизняна промисловість на той момент не випускала, очікувалося, що вони знайдуть широке застосування в акустичних і вібраційних вимірюваннях у машинобудуванні, медицині та інших галузях. Також планувалося освоєння нових магнітометричних приладів для вимірювання індукції у малих зазорах (до 1 мм) із використанням гальваномагніторекомбінаційних датчиків, чутливість яких у кілька разів перевищувала датчики Холла [301, арк. 7].

Під час прогнозування потреб народного господарства з розрахунком на перспективу до 1980 р., експертна комісія заклала у план розвитку виробництва випереджальне зростання стратегічних галузей, таких як електроенергетика, хімічна, нафтогазова, електронна та радіопромисловість. Аналіз динаміки розвитку цих секторів у попередні десятиліття вказував на потребу в основній номенклатурі заводу, зокрема у комбінованих приладах, на рівні 150–170 тис. одиниць. Ще близько 100 тис. приладів було зарезервовано під прямі замовлення профільних міністерств для задоволення відомчих потреб. Важливим вектором планування став соціально-економічний розвиток, зокрема модернізація автомобілебудування. Фахівці Торгової палати УРСР оцінювали потенційний

ринок автомобільних вимірювальних засобів у 150–170 тис. штук на рік. Окремо враховувався технічний стан діючого парку приладів: для заміни застарілих моделей та тих, що вийшли з ладу, було передбачено постачання 150–160 тис. одиниць. Споживчий сектор (потреби радіоаматорів та побутова техніка) потребував ще 50–60 тис. приладів щорічно. Зовнішньоекономічна діяльність підприємства також суттєво розширилася. На той час Мінзовнішторг СРСР опрацьовував питання експорту до США та Японії (зокрема через фірми «Каліфорнія Інтернешнл Трейд» та «Токіо-Боекі»), що дозволило передбачити в плані поставку 170–180 тис. приладів на зовнішні ринки. Таким чином, загальна прогнозована річна потреба у продукції заводу на 1980 р. була визначена в межах 770–840 тис. штук (див. табл. 4.3), що підтверджувало глибоку інтеграцію підприємства як у внутрішню економіку, так і у світовий ринок вимірювальної техніки [301, арк. 7–14].

Таблиця 4.3 – Прогнозована річна потреба в електровимірювальних приладах у 1980 р.

Категорія споживачів / Напрямок використання	Прогнозована кількість (тис. шт. на рік)
Промислові галузі	150–170
Експортні поставки	170–180
Автомобільна промисловість (спеціалізовані прилади)	150–170
Заміна застарілого парку приладів та тих, що вийшли з ладу	150–160
Цільові замовлення профільних міністерств	100
Споживчий сектор (радіоаматорські та побутові потреби)	50–60
Усього	770–840

*Таблицю складено автором за матеріалами [301, арк. 12–14].

Наведені у табл. 4.3 показники прогнозованого попиту засвідчили необхідність розширення виробничих потужностей та оновлення устаткування. Це зумовило подальшу концентрацію зусиль підприємства на впровадженні прогресивних технологій та автоматизації процесів контролю. Аналіз наукових публікацій того часу та архівних матеріалів свідчить, що академічні інститути,

спеціальні конструкторські бюро та підприємства діяли як єдиний науково-виробничий комплекс, який оперативно реагував відповідно до вимог часу. Завдяки системній співпраці наукових шкіл із виробництвом було забезпечено не лише успішну інтеграцію мікроелектроніки та цифрових методів у приладобудування, а й підготовку фахівців.

4.2 Розвиток комп'ютеризованих вимірювальних комплексів на тлі економічних і політичних змін підрадянської України

Одним із пріоритетних напрямів розвитку інформаційно-вимірювальних систем (ІВС) стали вимірювально-обчислювальні комплекси (ВОК). Їхніми визначальними ознаками були інтеграція комп'ютера, наявність нормованих метрологічних характеристик, програмне управління засобами вимірювань, а також блочно-модульна структура, що поєднувала апаратну (технічну) та алгоритмічну (програмну) підсистеми.

У 1980-х рр. підходи до приладобудування зазнали кардинальних змін: домінуючу роль почали відігравати інтегровані комп'ютеризовані гнучкі виробництва. На цьому тлі сформувалася глобальна система забезпечення якості – Computer Aided Quality Control (CAQ). Впровадження CAQ вимагало уніфікації та інтеграції у складні виробничі цикли різноманітних функцій вимірювальної інформатики: безпосередньо вимірювання, контролю, діагностики, ідентифікації та розпізнавання образів. Саме в цей період відбувався перехід до цифрової метрології, що стало фундаментом для сучасної нанометрології [22, с. 505–509].

Паралельно з комп'ютеризацією електровимірювальної техніки інтенсивно розвивалося її метрологічне забезпечення. Важливим було те, що створювалися еталони високої точності для промислового використання. Наприклад, у 1982 р. фірма «Флюк» (Fluke, США) випустила калібратор напруги для перевірки 6,5- і 7 ,5-розрядних мультиметрів. Цей прилад (модель 5440A), побудований на базі ЦАП із широтно-імпульсною модуляцією, забезпечував відносну похибку

на рівні 0,0004 % навіть під час експлуатації безпосередньо у цеху [65].

Для побудови сучасних засобів вимірювань із найвищими метрологічними характеристиками, зокрема еталонів вольт та ампера, вирішальне значення мало використання квантових ефектів Джозефсона та Холла. Ефект Джозефсона був передбачений у 1962 р. англійським фізиком Б. Джозефсоном та експериментально підтверджений у 1963 р. американськими дослідниками П. Андерсоном і Дж. Ровеллом [163, с. 66]. Один із проявів цього ефекту полягає в тому, що під час опромінення контакту Джозефсона – тонкого шару діелектрика між двома надпровідниками – високочастотним електромагнітним полем, на його вольт-амперній характеристиці виникають стрибки напруги, пропорційні частоті випромінювання. Висока точність відтворення цих ступенів напруги дозволила у 1980-х рр. спроектувати еталон вольт з відносною похибкою на рівні 10^{-7} (0,0001 %) [50, с. 69–74].

Застосування ефекту Джозефсона та явища квантування магнітного потоку призвело до створення надчутливих надпровідних квантових інтерференційних приладів – СКВІДів. Використання перетворювачів різних фізичних величин у магнітний потік дозволило розробити на основі СКВІДів прилади рекордної чутливості: гальванометри, компаратори струму, термометри та магнітометри. Окрім того, на базі цього ефекту створювалися пристрої для швидкої обробки інформації, зокрема АЦП та цифрові процесори з тактовими частотами понад 10 ГГц [35].

Квантовий ефект Холла був відкритий у 1980 р. К. фон Клітцингом (ФРН). Він спостерігається за наднизьких температур (близько 1 К) і проявляється у вигляді плато (горизонтальних ділянок) на графіку залежності холлівського опору напівпровідникової структури від магнітної індукції. Похибка відтворення опору на таких ділянках не перевищує 10^{-8} (0,00001 %), що дозволило використовувати цей ефект для створення нових еталонів електричного опору [345, с. 160–165].

Використання квантових ефектів Джозефсона та Холла не лише революціонізувало метрологічне забезпечення, а й стимулювало пошук нових архітектурних рішень для обробки отриманих даних. Впровадження надчутливих датчиків та високошвидкісних АЦП потребувало відповідної інтелектуальної інфраструктури, здатної інтегрувати вимірювальні пристрої в єдині автоматизовані цикли.

Провідну роль у розвитку таких комп'ютеризованих вимірювальних комплексів відігравав ІК АН УРСР. У межах всесвітньо відомої київської школи кібернетики, заснованої академіком В. М. Глушковим розроблялися концептуальні засади взаємодії вимірювальних приладів з ЕОМ [229].

В умовах високоавтоматизованої технології основна маса інформації про виробничі процеси надходить від автоматичних датчиків, що генерують дані в аналоговій або цифровій формі. Для уніфікації цих процесів науковцями ІК АН УРСР створювалися пристрої зв'язку з об'єктами (ПЗО), завданням яких було перетворення стандартних сигналів датчиків у протоколи каналних інтерфейсів ЕОМ. Такі ПЗО були розроблені, зокрема, для машин серії СМ ЕОМ (система малих ЕОМ), орієнтованих на управління складними технологічними процесами. Для введення даних у складних наукових експериментах використовувалися ПЗО, побудовані на базі крейтів міжнародної системи КАМАК (САМАС). Впровадження цього модульного стандарту електроніки дозволило створювати гнучкі вимірювальні комплекси, що легко реконфігурувалися під конкретні дослідницькі завдання [260, с. 57, 117].

Впродовж 1980-х рр. в ІК АН УРСР було створено та впроваджено низку інформаційно-вимірювальних і керуючих систем, а також комплексів розподіленої обробки даних для гнучких виробництв. Ці рішення базувалися на широкому використанні техніки серій «Електроніка», СМ ЕОМ та спеціалізованих засобів мікропроцесорної техніки [260, с. 274–275].

Паралельно з цим було реалізовано роботи з удосконалення технології виробництва мікроелектронних компонентів та створення сучасного програмного забезпечення. Як свідчать архівні звіти ІК АН УРСР, результати

цих досліджень було впроваджено у понад 100 організаціях народного господарства. Вагомий внесок у їх розроблення зробили, зокрема, В. С. Михалевич, В. І. Скурихін, Б. М. Малиновський, І. В. Сергієнко та ін. [268, арк. 20–21].

Упродовж 1980–1990 рр. в ІК АН УРСР розвивалися фундаментальні та прикладні наукові дослідження, спрямовані на створення високопродуктивних засобів та мульти-мікропроцесорних комплексів для розподілених систем обробки даних, сигналів, гнучких виробництв та систем реального часу. Було розроблено основи теорії та методів структурної організації перспективних технічних засобів, запропоновано нові методи підвищення оперативності обробки первинної інформації та сформовано принципи побудови мультипроцесорних проблемно-орієнтованих комплексів. Ці рішення дозволили вирішувати складні науково-технічні завдання та забезпечувати обробку широкого спектру сигналів у складі макроконвеєрного обчислювального комплексу.

Запропоновано ефективний метод цифрового кодування безперервних сигналів на основі інкрементно-число-імпульсного послідовного коду та виконано робочий проєкт програмно-технічного комплексу для розробки локальних автоматизованих систем наукових досліджень (АСНД). Створені технічні засоби та комплекси АСНД було впроваджено для автоматизації вимірювальних установок і випробувальних стендів, зокрема у НДІ «Гідроприлад» (м. Київ) впроваджено підсистему апаратної реалізації просторово-часового спектрального алгоритму обробки тривимірних матриць даних у спеціалізованому комплексі обробки інформації, у всесоюзному науково-дослідному інституті з випробування машин та обладнання для тваринництва та кормовиробництва (Київська обл.) – підсистеми збору, реєстрації та обробки інформації при випробуванні сільськогосподарських машин, на підприємствах «Укрнафта» – систему первинної обробки даних експерименту. Наукове керівництво цими роботами здійснював Б. М. Малиновський за участі В. М. Єгипка [108, арк. 26].

У цей же період реалізовано комплекс робіт зі створення засобів кібернетичної техніки для складних автоматизованих систем та мереж ЕОМ. Розвинені функціональні вузли високошвидкісної системи передачі даних по радіоканалах дозволили провести успішні експерименти з передачі цифрової інформації через низькоорбітальні штучні супутники Землі. Крім того, фахівцями інституту було розроблено формально-евристичні процедури проєктування перетворювачів та методику підбору комплектів транзисторних збірок, що стало основою для випуску на Київському виробничому об'єднанні «Точелектроприлад» промислової партії розроблених в ІК аналогово-цифрових перетворювачів АЦП-251 [309].

Досліджено класи автоматизованих робочих місць (АРМ), що істотно розширюють можливості введення, виведення та переробки інформації в людино-машинних автоматизованих комплексах. Створено принципово нову електронно-променеву трубку з термопластичною мішенню для побудови засобів відображення динамічної інформації групового та колективного користування (В. І. Скурихін, А. І. Кондалєв, О. М. Лучук та ін.) [108, арк. 27].

Розроблено технічний проєкт системи управління акустичними, вібраційними та тепловими випробуваннями. Введено в експлуатацію на стенді замовника автоматизовану систему управління та обробки результатів вібраційних випробувань «Спектр-М», з розвиненими функціональними можливостями та математичним забезпеченням [302, арк. 25–37].

Завершено роботи з широкого впровадження та тиражування високопродуктивної автоматизованої системи обробки результатів випробувань авіаційної техніки з економічним ефектом понад 15 млн руб. (В. І. Скурихін, В. І. Гриценко, Г. І. Корнієнко, П. М. Сіверський) [108, арк. 34].

Цей технічний фундамент став основою для розвитку знакових розробок інституту з медичної та біологічної кібернетики. Спираючись на нові методи оброблення сигналів та комп'ютеризовані системи управління, фахівці ІК займалися розробленням теорії медичних інформаційних і біотехнічних систем, біоелектричним керуванням та нейробіонікою. Також у цей період активно

розвивалися цифрові моделі фізіологічних систем, що дозволяло прогнозувати результати складних операцій [108, арк. 63–65].

Сьогодні ці наукові традиції отримали нове значення та продовжуються в умовах війни за Незалежність України. Досвід минулих десятиліть у створенні систем реального часу та дистанційного керування став надійним підґрунтям для сучасної військової медицини. Зокрема, ці напрацювання дозволяють створювати спеціальні електровимірювальні прилади для оперативної діагностики, безперервного моніторингу та ефективного лікування поранених безпосередньо в умовах бойових дій [4; 134; 135; 305].

На початку 1990-х рр. науковцями ІК АН УРСР було розроблено 5 видів інтелектуальних сенсорів, які здатні до глибинного складного оброблення отримуваних сигналів, урахування нелінійностей і видобування з них цінної інформації найвищого рівня. Це надзвичайно перспективний напрям інформатики. Деякі інтелектуальні сенсори доведено до рівня тиражування і випробування в реальних умовах. Поступово процеси автоматизації окремих вимірювань замінялися комп'ютеризованими інтелектуальними комплексами. Відповідно до світового досвіду розроблення систем збору даних, науковці інституту зосередилися на інтеграції обчислювальних засобів в контури вимірювання та управління складними об'єктами [99].

На межі 1970–1980-х рр. науковці відділу автоматизації електричних систем ІЕД АН УРСР, одними з перших в Україні, розпочали дослідження мікропроцесорних систем керування в енергетиці, передбачаючи перспективу цього напрямку. Під керівництвом Б. С. Стогнія проєктувалися вимірювальні перетворювачі струму і напруги, які використовувалися під час роботи енергосистем як джерела вимірювальної інформації. Це дозволило значно підвищити оперативність та точність діагностики стану енергосистем. Результатом цих зусиль стало розроблення серії мікропроцесорних систем, призначених для захисту, вимірювання та реєстрації параметрів аварійних режимів в електроенергетичних системах. Зокрема, інформаційно-діагностичний комплекс «Регіна», створений за участі Б. С. Стогнія та

М. Ф. Сопелі, здобув широке визнання й успішно впроваджений в електроенергетиці. Цей комплекс став важливим інструментом для підвищення надійності та ефективності функціонування енергосистем [67].

Було розроблено наукові засади побудови багатофункціональних мікропроцесорних систем, призначених задля розв'язання широкого кола актуальних задач моніторингу та діагностування електроенергетичних об'єктів і систем, з урахуванням технологічних особливостей функціонування ЕЕС та можливостей удосконалення систем оперативного та автоматичного керування на всіх рівнях ієрархії керування. Розроблено і широко впроваджено у виробництво апаратно-програмні комплекси різного функціонального призначення (14 типів), об'єднані загальною назвою «Регіна», до яких належить і інформаційно-діагностичний комплекс «Регіна», призначений для реєстрації аналогових та дискретних сигналів, аналізу розвитку аварійних ситуацій, оцінювання функціонування пристроїв релейного захисту та автоматики, визначення місця пошкодження у разі коротких замикань на лініях електропередачі, визначення залишкового ресурсу високовольтних вимикачів, побудови добової відомості режимів та багато іншого [60, с. 62–69].

З часом було проведено дослідження та створено на базі сімейства комплексу «Регіна» системи автоматичного контролю ізоляції під робочою напругою за параметром «комплексна провідність» трансформаторів струму, лінійних ізоляторів та високовольтних вводів силових трансформаторів, пристроїв для діагностування стану високовольтних вимикачів з визначенням ресурсу спрацьовування [59].

В відділах електричних і магнітних вимірювань та контролю параметрів електромагнітних процесів ІЕД АН УРСР разом з виробничим об'єднанням «Точелектроприлад» та «Катіон» (м. Хмельницький) був виконаний великий цикл робіт зі створення та налагодження серійного виробництва нового покоління універсальних і спеціалізованих вимірювачів параметрів комплексних опорів. В основу цих розробок були покладені нові варіаційні способи вимірювання параметрів комплексних опорів і відповідні структури

вимірювальних кіл, прецизійні безконтактні врівноважуючі елементи, нові способи швидкого зрівноважування мостів змінного струму, ефективні способи та пристрої компенсації впливу паразитних параметрів вимірювальних кіл [130; 131].

Інноваційним кроком стало впровадження цифрових синтезаторів вимірювальних сигналів, методів аналого-цифрового перетворення та цифрової обробки сигналів нерівноваги моста, а також цифрових алгоритмів корекції похибок і калібрування приладів. У процесі досліджень було запропоновано та реалізовано комбіновані структури й алгоритми роботи вимірювальних пристроїв. Вони поєднували переваги врівноважених мостових схем із пристроями, що працюють за принципом прямого перетворення параметрів.

На основі цих принципів та новітньої елементної бази в найкоротші терміни науковцями ІЕД АН УРСР були розроблені й передані в серійне виробництво на Київський завод «Точелектроприлад» перші в СРСР мікропроцесорні універсальні мости змінного струму, зокрема Р5083 (клас точності 0,005 %), Р5084 (клас точності 0,2 %), ЦЕ5002 (клас точності 0,02 %), а також вимірювач RLC широкого призначення Р5030. Останній на момент розробки вважався одним із найкращих у світі інструментів «для інженерів». Особливістю моста Р5084 стало те, що його вимірювальне коло вперше було побудоване з використанням інтегральних ЦАП як елементів зрівноваження та інтегрального АЦП як детектора рівноваги. Це суттєво спростило конструкцію, підвищило швидкодію та поліпшило масогабаритні показники приладу [320, с. 100–105].

Для потреб електронної та електротехнічної промисловості було розроблено унікальні прилади, зокрема вимірювач комплексу параметрів електролітичних конденсаторів ПІК-СМА (з ємністю до 100 Ф у діапазоні частот від 1 Гц до 100 кГц при постійній напрузі до 500 В) та перший автоматичний високовольтний міст змінного струму. Останній, з робочою напругою 500 В, призначався для контролю якості електроізоляційних матеріалів безпосередньо у процесі їхнього виробництва. Логічним розвитком цих розробок стало

створення принципів побудови та налагодження серійного випуску високовольтних вимірювальних комплексів для потреб електроенергетики [237, с. 63–66].

На початку 1990-х рр. на основі комбінованих мостових і лінійних перетворювальних структур були створені автоматичні ультрапрецизійні вимірювальні системи для метрологічного забезпечення передачі одиниць національних еталонів пасивних електричних величин, які не мали закордонних аналогів. Для організацій Держстандарту СРСР було створено та успішно випробувано дослідні зразки багаточастотної вимірювальної системи для атестації і передачі значень робочих еталонів взірцевим мірам комплексних опорів будь-якого характеру реактивності найвищих розрядів. Завдяки унікальній на той час точності (похибка до 0,001 %) система не мала світових аналогів [131, с. 5].

Сформований у цей період науково-технічний доробок, підтриманий високою кваліфікацією науковців академічних інститутів, дозволив зберегти інтелектуальний та інженерний потенціал галузі в складних умовах 1990-х рр. Базові принципи побудови вітчизняних вимірювальних систем виявилися настільки стійкими та універсальними, що стали фундаментом для подальшої цифрової трансформації українського приладобудування вже в умовах ринкової економіки.

Упродовж 1990-х рр. суттєво змінилася база підготовки фахівців із вимірювальної техніки для приладобудування. Виникла потреба у фахівцях нового типу, які б однаковою мірою володіли методами електричних вимірювань, аналоговою та цифровою електронікою, комп'ютерною технікою, програмуванням, а також були обізнані в питаннях метрології, стандартизації та сертифікації.

Тобто відбувалася системна інтеграція різномірних за своєю фізичною природою блоків перетворення вимірювальної інформації в єдину вимірювальну інформаційну систему зі своїм управлінням, метрологічними характеристиками, вихідна інформація з якої входить до системи управління технологічними

процесами. Вимірювальні прилади поступово перетворилися на складні комплекси взаємопов'язаних вимірювальних та обчислювальних пристроїв з широким використанням мікропроцесорної техніки та мережевих комунікацій. Це створило підстави для поєднання теоретичних і практичних аспектів, зокрема у взаємодії метрології як фундаментальної науки з приладобудуванням у частині розроблення засобів контролю із заданими характеристиками. Виконання актуальних завдань спиралося на розвиток співпраці наукових шкіл із виробничою сферою, а також на реформування навчального процесу й науково-дослідної діяльності

Важливим інструментом системи підготовки став оновлений підхід до курсового та дипломного проєктування, що було успішно впроваджено, зокрема, у ХІІІ. Нові вимоги передбачали виконання проєктів на рівні повноцінних технічних розробок, що включали комплексні завдання: від розрахунків до розділів з техніки безпеки та специфікацій згідно з чинними каталогами й довідниками. Тематика дипломних робіт корегувалась відповідно до запитів виробничих підприємств та науково-дослідних інститутів, а до наукового керівництва активно залучалися фахівці галузевих НДІ та КБ, що забезпечувало прямий зв'язок між університетською освітою та реальним сектором економіки [68].

Крім того, в ХІІІ було висунуто ідею створення науково-виробничих навчальних комплексів, що надавали можливість студенту придбати практичні навички. Тривали пошуки нових підходів. Перегляд навчальних планів та робочих програм був спрямований на посилення фундаментальної та загальноосвітньої підготовки фахівців. Розвиток науково-дослідної роботи вищої технічної школи дав змогу розширити лабораторний практикум, забезпечити його проведення новітнім для того часу обладнанням та обчислювальною технікою. Наявність у провідних технічних ВНЗ експериментальних виробництв дало можливість розробляти і впроваджувати у дрібносерійне виробництво дослідні зразки.

Студентське проєктно-конструкторське бюро ЛПІ працювало на засадах

госпрозрахункової одиниці інституту. Загальне керівництво науково-дослідною роботою СПКБ здійснювала рада, яку очолював ректор інституту. У складі ради були також декани факультетів, провідні викладачі та студенти. Представники бюро виконували проєктні, конструкторські роботи за договорами або на замовлення промислових підприємств і наукових організацій. Зокрема, у відділі СПКБ «Метрологія», основними напрямками діяльності якого були прикладна метрологія, проєктування прецизійних вимірювальних приладів та засобів метрологічного забезпечення, було реалізовано важливий проєкт для газотранспортної галузі. Для вимірювання та регулювання температури на газоперекачувальних станціях на договірній основі розробили, виготовили та впровадили в ЛВУ МГ «Кам'янка-Бузька» УМГ «Львівтрансгаз» восьмиканальний вимірювач температури типу СТ1430 з іскро- та вибухозахистом [146, с. 4].

Участь студентів у діяльності СПКБ стала ефективною моделлю наскрізної підготовки кадрів, де теоретичне навчання нерозривно поєднувалося з практикою. Робота над реальними замовленнями промисловості дозволяла молодим фахівцям опановувати повний цикл створення техніки – від проєктування до впровадження на конкретних об'єктах. Така взаємодія забезпечила професійну адаптацію випускників, які отримували досвід роботи з прецизійними приладами та мікропроцесорними системами ще до закінчення інституту.

Безпосередня співпраця молоді з провідними вченими в межах єдиної структури підтримувала наукову спадкоємність і розвиток наукових шкіл. Фактично, СПКБ готували нову генерацію інженерів-метрологів, здатних вирішувати складні завдання в умовах швидкого оновлення елементної бази. Отже, студентські конструкторські бюро стали однією з ланок, що забезпечили життєздатність науково-виробничого кластеру електровимірювальної техніки через підготовку висококваліфікованих і практично орієнтованих фахівців.

Одним із аспектів студентської науково-дослідної роботи стала організація тематичних студентських семінарів як активної форми навчальних занять.

Методика проведення семінару ґрунтувалася на дискусії з певної тематики, обговоренні актуальних проблем техніки, що давало змогу поєднувати лекційні заняття із самостійною роботою студентів. Семінари допомагали студентам набутти вміння застосовувати теоретичні знання та матеріали наукових досліджень на практиці. Важливою складовою студентської наукової діяльності було залучення найбільш підготовлених студентів до участі в госпдоговірній тематиці закладів. Студенти зараховувалися на посади техніків і лаборантів з обов'язковою виплатою заробітної плати. У переліку важливих показників роботи СПКБ був такий критерій, як обсяг виконаних робіт у грошовому еквіваленті. Також можна було підрахувати обсяг науково-дослідних робіт студентів за госпдоговірним розрахунком. Тобто участь студентів у дослідній роботі кафедр сприяла не лише підвищенню професійної підготовки спеціалістів, а й визначала реальний внесок майбутніх фахівців у розвиток народного господарства. Поступово зростав обсяг студентських науково-дослідних робіт [321; 338].

Поширеною формою науково-дослідної роботи студентів протягом другої половини ХХ ст. була участь у конкурсах різних рівнів. Перші студентські наукові республіканські конкурси на кращу студентську наукову роботу розпочалися у технічних ВНЗ України ще на початку 1950-х рр. Поступово проведення конкурсів студентських наукових робіт стало постійним. Студентські наукові роботи подавали на республіканські та всесоюзні конкурси, а також на конкурси дипломних робіт спеціалістів. Участь студентів у конкурсах різних рівнів сприяла підвищенню якості підготовки майбутніх інженерів та показувала рівень роботи студентських науково-технічних товариств. Зокрема, у звіті кафедри ІВТ КПІ зазначалося, що на республіканський конкурс було надіслано 11 студентських наукових робіт, дві з яких відзначені дипломами II ступеня [287, арк. 10–11].

До 1991 р. були відпрацьовані форми й методи співпраці вищої технічної школи й промисловості. Поступово змінювалася роль технічних вишів, які, крім соціальної функції, стали драйверами економічного розвитку, особливо у сфері

інновацій. Інноваційна діяльність, яка є невід'ємною частиною науково-освітньої діяльності для переважної кількості європейських освітніх закладів, для українських ВТНЗ стала досить новим впровадженням [68, с. 239].

Із середини 1980-х рр. радянська планова економіка остаточно опинилася в стані глибокої стагнації, а період «застою» трансформувався у відкриту системну кризу. Держава втратила контроль над ситуацією: темпи виробництва невпинно падали, а плани не виконувалися, попри постійне зниження показників задля створення видимості стабільності. Декларації про перехід до інтенсивного розвитку залишилися нереалізованими. На практиці промисловість була перевантажена збитковими підприємствами, частка яких до 1985 р. сягнула майже половини, а ресурси витрачалися неефективно. Найкритичнішим стало те, що система виявилася несприйнятливою до інновацій. Інновації та високі технології, які активно впроваджувалися на підприємствах Європи, США тощо, значною мірою залишилися поза увагою СРСР, що призвело до технологічного відставання та зниження конкурентоспроможності радянської промисловості на світовому рівні [139, с. 262].

Зміни наприкінці 1980-х рр. базувалися на дещо застарілій логіці: акумулювати всі ресурси для модернізації машинобудування. Передбачалося значне фінансування наукових розробок, насамперед у приладобудуванні, яке мало стати «двигуном» для всієї економіки. У цей період у галузь спрямували значні обсяги капіталовкладень, що вдвічі перевищували показники попередніх років. Таким чином радянське керівництво намагалося здійснити комплексну модернізацію виробництва через жорстке централізоване управління та бюджетний розподіл. Утім, початкова інтенсифікація фінансування мала лише короткочасний ефект.

Зрештою, спроба врятувати систему її ж старими методами провалилася. До 1989 р. стало очевидно, що амбітні плани не справдилися. Бюджетний дефіцит став критичним, будівництво нових потужностей перетворилося на довгобуди, а обсяги виробництва почали стрімко скорочуватися. Головна причина невдачі полягала в неможливості досягти сучасної ефективності в

межах командної моделі. Система не змогла раціонально використати величезні інвестиції, перетворивши їх на чергові безплідні витрати.

4.3 Періодизація становлення науково-практичних засад електровиміральної техніки на теренах України

Формування та системна організація вітчизняного науково-технічного кластеру електровиміральної техніки – це цілісний процес, що відображає еволюцію взаємодії науки, освіти та промисловості. Саме в межах цієї системи формувалися наукові методи та практичні підходи цього напрямку, розвиток яких зумовлений адаптацією досягнень електроніки, комп'ютерної техніки та інформаційних технологій. Історія впровадження цих рішень свідчить, що кожен значущий етап ставав фундаментом для нового покоління приладів. Зокрема, винахід електронної вакуумної лампи та електронно-променевої трубки започаткував розвиток електронної техніки як окремої галузі знання та виробництва. На цьому фундаменті було розроблено перші електронно-променеві осцилографи [23, с. 391–392].

Цей прилад, що став основним інструментом динамічних вимірювань, надав дослідникам можливість візуалізувати та аналізувати швидкоплинні електричні процеси. У першій половині XX ст. спостерігалось бурхливе зростання номенклатури електронних виміральної приладів, зокрема електронних вольтметрів, осцилографів та генераторів сигналів тощо, що застосовувалися у наукових лабораторіях та промисловості.

Поворотним моментом у розвитку електровиміральної техніки стало впровадження цифрових методів перетворення сигналів. Методи вимірювання, характерні для сучасної цифрової виміральної техніки були відомі ще з давнини. Наприклад, вимірювання великих довжин (при розмежуванні земельних ділянок) шляхом повторного відкладання міри реалізовувалося за принципом, який нині відомий як алгоритм послідовного рахунку. Аналогічно

цьому алгоритму виконувалося й вимірювання часу, тобто через підрахунок діб, циклів місячних фаз тощо. Зважування на терезах із використанням гир нагадує сучасний алгоритм послідовних наближень. Відмінність полягає в тому, що у сучасних засобах цифрової вимірювальної техніки цей процес відбувається автоматично. Відомим здавна є й аналоговий спосіб відліку, властивий водяним, пісочним та сонячним годинникам. Виникнення саме цифрової вимірювальної техніки варто віднести до межі 1940–1950 рр. [194].

В експериментальній ядерній фізиці наприкінці 1940-х рр. також приділяли увагу розробленню вимірювального устаткування. Створювалися швидкодіючі електронні лічильники імпульсів, які стали основою сучасних цифрових частотомірів та вимірювачів інтервалів часу. Спочатку вони виконували функції «перерахункових пристроїв», що значно полегшувало роботу електромеханічних лічильників частинок. Водночас набула розвитку апаратура для отримання амплітудних спектрів імпульсних потоків: гістограм розподілу амплітуд імпульсів. Багатоканальні амплітудні аналізатори будувалися за схемами, близькими до сучасних паралельних аналого-цифрових перетворювачів; здійснювалися спроби використання спеціальних електронно-променевих трубок. Принцип лінійної розгортки ліг в основу поширених у початковий період розвитку цифрової вимірювальної техніки час-імпульсних цифрових вольтметрів; генератори розгортки застосовувалися також в осцилографії [17, с. 202–207].

Для вимірювальної техніки був характерний поділ цифрових приладів на електромеханічні, з перемикачами на реле та електронні прилади [41]. Перші будувалися в основному за схемами компенсаторів, для вимірювання напруги і мостів, для вимірювання опорів. До електронних приладів належали електронно-лічильні частотоміри та час-імпульсні вольтметри. Згодом релейні перемикачі збереглися лише у цифрових мостах змінного струму. Цифровізація дала змогу відмовитися від механічних рухомих частин, що традиційно обмежували

точність та надійність аналогових пристроїв, а також надала низку конструкційних переваг.

У 1947 р. був винайдений транзистор, що посприяло розвитку технологічної революції. Його швидке впровадження у дослідження вимірювальних приладів вплинуло на інженерні підходи. Завдяки транзисторам вдалося значно зменшити розміри, масу та потужність споживання вимірювального обладнання й водночас підвищити його надійність. Крім того були покращені основні технічні характеристики та знижена вартість приладів.

Подальша мініатюризація стала можливою завдяки появі першої інтегральної схеми (мікросхеми) у 1958 р. Вирішальним етапом у розвитку інтелектуальних вимірювань стала поява мікропроцесора у 1971 р., що забезпечила принципово нові можливості для вимірювального устаткування. Застосування мікропроцесора надало вимірювальному устаткуванню зовсім нові функціональні можливості, перетворивши його на програмовану та високотехнологічну систему. У 1980-х рр. XX ст. відбувалося стрімке поширення персональних комп'ютерів (ПК), що мало вплив на архітектуру вимірювальної техніки. ПК швидко інтегрувалися як важлива складова автоматизованих інформаційно-вимірювальних пристроїв, комплексів і систем.

Хронологічну послідовність фундаментальних відкриттів у галузі електротехніки, електроніки, радіотехніки, що визначили темпи росту та сучасний рівень розвитку електровимірювальної техніки, систематизовано та представлено у табл. П.1 (Додаток П).

Урахування хронології визначальних наукових відкриттів та технічних винаходів дало змогу обґрунтувати етапність еволюції електровимірювальної техніки на теренах України, простежити її розвиток у контексті загального розвитку науки й техніки. На основі узагальнення та систематизації фактів було створено періодизацію розвитку електровимірювальної техніки на теренах України, де виокремлено три основні етапи за характерними ознаками впродовж XX ст. (табл. 4.4).

Таблиця 4.4 – Періодизація розвитку електровимірювальної техніки на теренах України (початок ХХ ст. – 1990-ті рр.)*

Етап	Характеристика	Наукові установи, НДІ	Підготовка кадрів та школи	Наука-освіта-виробництво (модель зв'язку)	Прилади	Елементна база, особливості виготовлення
I – фундаментальний початок ХХ ст. – початок 1940-х рр.	Виготовлення одиничних приладів для лабораторій, метрологічних служб та заводів. План ГОЕЛРО. Передумови формування кластеру	Українська головна палата мір та ваг (УГП) (м. Харків). 1927 р. в УГП відкрито лабораторію калібрів та електричних вимірів	Викладання дисципліни «Електричні вимірювання» в межах курсів «Загальної електротехніки» для студентів-електриків	Локальна: Наукові дослідження зосереджені в університетських лабораторіях. Виробництво має характер експериментальних майстерень при технічних ВНЗ	Магнітоелектричні, електродинамічні та електромагнітні прилади. Магнітоелектричні еталони. Класи точності: 1,5–4,0.	Прецизійна механіка. Ручне притирання деталей, виготовлення «під замовлення» Введення метричної системи міри й ваги в УСРР
II – індустріальний 1946 р. – кінець 1960-х рр.	Масовий випуск для відновлення енергетики, галузева спеціалізація. Організація науково-виробничого кластеру	Зародження наукової школи з електричних і магнітних вимірювань в ІЕ АН УРСР (1947 р.) ІК АН УРСР. ЛНДРТІ. Галузеві СКБ	Відкриття спеціалізованих кафедр, підготовка інженерів, зародження наукових шкіл: теорія електричних вимірювань та вимірювальних інформаційних систем (ЛПІ); електричних і магнітних вимірювань та інформаційно-вимірювальних систем (ХПІ)	Лінійна: НДІ (теорія) → СКБ (проект) → Завод (серія). Створення мережі відомчих інститутів та КБ при великих підприємствах	Електронно-лампові та ранні транзисторні прилади. Електронні вольтметри, фазометри, цифрові мости. Класи точності: 0,1; 1,0 (масове виробництво).	Вакуумні лампи, транзистори, об'ємний монтаж, перші спроби типізації вузлів.
III – системний поч. 1970-х рр. – 1991 р.	Впровадження Державної системи промислових приладів і засобів автоматизації. Орієнтація на ВПК, космос та галузі народного господарства	ІЕД АН УРСР. ІК АН УРСР. НДІ «Мікроприлад» (м. Київ). СКБ «САУ» (м. Харків)	Перейменування кафедр на «Інформаційно-вимірювальна техніка» (КПІ, ЛПІ) та «Вимірювально-інформаційна техніка» (ХПІ) Формування наукової школи «Методи підвищення точності вимірювальних пристроїв» (КПІ)	Інтегрована: Створення Науково-виробничих об'єднань (НВО). Наука і виробництво злиті в єдиний комплекс. Кафедри ВНЗ стають базовими для НДІ	Цифрові прилади та інформаційно-вимірювальні системи. Початок автоматичної обробки даних усередині приладу. Класи точності: 0,005; 0,1 (цифрові прилади)	Блочно-модульна структура. Великі та надвеликі інтегральні схеми, мікропроцесори. Друковані плати. Цифрові індикатори. Стандарти КАМАК, ІЕС 625-1.

*Таблицю складено автором за матеріалами [90; 99; 112–117; 131; 132; 142; 175; 176; 192; 198–200; 212; 306; 296; 321; 336; 340]

На першому фундаментальному етапі (початок ХХ ст. – початок 1940-х рр.) домінував індивідуальний підхід до створення засобів вимірювання. Головними акцентами були метрологічна точність та фундаментальні дослідження. Виготовлення приладів мало характер «прецизійної механіки», де кожна одиниця продукції була результатом висококваліфікованої ручної праці, що відповідало потребам перших електротехнічних лабораторій та служб мір і ваг. План ГОЕЛРО став дієвим стимулом для створення власної приладобудівної індустрії, оскільки розгортання загальнодержавної електрифікації вимагало масового виробництва контрольно-вимірювальних приладів і формування єдиної системи метрологічного нагляду для забезпечення точності вимірювань.

Другий індустріальний етап (1946 р. – кінець 1960-х рр.) позначився переходом до індустріальної моделі. Виникнення спеціалізованих кафедр забезпечило галузь кадрами, здатними впроваджувати електронні компоненти (лампи, транзистори). Саме в цей період прилади стали невід’ємним елементом автоматизації енергетики. Характерною особливістю стало створення галузевих СКБ, які забезпечили безперервний цикл від ідеї до конвеєра. Все це створило умови для формування науково-виробничого кластеру. Створення раднаргоспів у 1957 р. дозволило децентралізувати управління електроприладобудівною галуззю та максимально наблизити виробництво вимірювальних приладів до потреб регіональних підприємств, що суттєво покращило матеріально-технічну базу заводів на місцях і розширило асортимент контрольно-вимірювальної апаратури. Це прискорило розвиток регіональних інженерних шкіл, тобто сприяло організації науково-виробничого кластеру, проте призвело до втрати єдиного метрологічного контролю, дублювання розробок і порушення загальнодержавних стандартів точності. Через розпорошення ресурсів та складність впровадження єдиної технічної політики виникла загроза технологічного відставання, тому в 1965 р. повернулися до централізованої системи міністерств.

Третій системний етап (початок 1970-х рр. – 1991 р.) став оформленням системної організації. Впровадження Державної системи приладів (ДСП) на початку 1970-х рр. дозволило уніфікувати продукцію різних підприємств у єдині агрегатні комплекси. Технологічний порив відбувся завдяки мікропроцесорній революції: прилад перестав бути лише засобом індикації та перетворився на інтелектуальний вузол обробки даних. На цьому етапі виникла найефективніша «кластерна модель» у формі науково-виробничих об'єднань, де НДІ та підприємство знаходилися на одній території. Це прискорило процес впровадження наукових винаходів у масове виробництво. Кафедри навчальних закладів створювали філії безпосередньо на підприємствах, що підвищило якість практичної складової підготовки інженерів. Впровадження стандартів КАМАК та ІЕС 625-1 стало результатом співпраці науки та виробництва для забезпечення експорту продукції.

Висновки до четвертого розділу

Розвиток інформаційно-вимірювальних систем на теренах України в період 1970–1991 рр. відбувався в умовах інтенсивної автоматизації виробничих процесів, ускладнення наукових досліджень і зростання вимог до точності, швидкодії та надійності засобів вимірювання. Модернізація науково-виробничого кластеру базувалась на розробленні та впровадженні складних комп'ютеризованих вимірювальних комплексів та систем. Напрацювання представників НДІ «Мікроприлад» (С. О. Моральов, К. М. Кролевець) зі створення мікропроцесорної техніки дозволили вітчизняним фахівцям подолати технологічний розрив і забезпечити інтелектуалізацію вимірювань.

Основою науково-виробничого кластеру цього періоду залишалися спеціалізовані кафедри провідних технічних ВНЗ. У КПІ під керівництвом А. Д. Нестеренка та П. П. Орнатського було сформовано школу прецизійного приладобудування. Науковий потенціал ЛПІ, представлений школами Б. І. Швецького, В. О. Кочана, Є. С. Поліщука, забезпечив розвиток цифрової вимірювальної техніки. У ХПІ напрям отримав новий імпульс завдяки

дослідженням О. В. Федорова, С. М. Терентьєва та К. С. Полуляха, а розробки К. І. Діденка стали засадами Державної системи приладобудування.

Розширення досліджень в ІЕД та ІК АН УРСР дозволило створити системи «Регіна» та «Спектр». Значний внесок у розроблення теоретичної підґрунтя технічних рішень належить Б. С. Стогнію та Ф. Б. Гриневичу.

Наприкінці 1980-х рр. радянська планова економіка опинилася в стані глибокої системної кризи, що відбилося на відставанні від розвинених країн у сфері науково-технічного прогресу та модернізації промисловості, у тому числі й науково-виробничого кластеру електровимірювальної техніки. Спроби «нової індустріалізації» через надмірне вливання коштів у машинобудування відповідно до застарілих умов впровадження науково-технічної політики провалилися. Система виявилася закритою для інновацій, а технологічні зрушення порівняно із закордонними країнами помітно відставали. Головне завдання цього періоду було спрямоване на збереження наукових традицій, системи підготовки інженерів, накопиченого досвіду.

Узагальнення та систематизація визначальних наукових відкриттів та технічних винаходів дали змогу обґрунтувати етапність становлення електровимірювальної техніки як цілісної науково-виробничої сфери на теренах України. Розроблена періодизація яка відображає динаміку розвитку цієї сфери впродовж ХХ ст. У структурі періодизації виокремлено три основні етапи, які демонструють перехід від лабораторно-експериментального виготовлення приладів до створення високотехнологічного науково-промислового комплексу.

ВИСНОВКИ

Проведене дослідження формування та системної організації науково-виробничого кластеру електровимірювальної техніки дало підстави для наступних висновків:

1. Аналіз наукової літератури означеної проблематики дає підстави стверджувати про відсутність комплексного всебічного дослідження формування та системної організації науково-виробничого кластеру електровимірювальної техніки на теренах України у другій половині ХХ ст. В історіографії теми дисертаційної роботи виокремлено два хронологічних періоди. Кожному з яких притаманні свої характерні тенденції та особливості розвитку. Так, особливістю періоду радянської доби стала повна відсутність спеціальних історичних розвідок, зосереджених саме на розвитку вітчизняної електровимірювальної техніки упродовж 1946–1991 рр. Доробок українських науковців окреслено побічно у контексті розвитку напряму на теренах СРСР або висвітлено фрагментарно крізь призму світових тенденцій електротехніки. Сучасна історіографія представлена узагальненими напрацюваннями з розвитку інформатики, кібернетики, електротехніки, спеціальними історико-технічними дослідженнями, ювілейними працями з історії наукових і навчальних осередків, біографічними і тематичними публікаціями. Між тим, розвиток електровимірювальної техніки представлено фрагментарно. Відсутність комплексного дослідження зумовила залучення джерел, які забезпечили формування джерельної бази. Сукупність матеріалів, різних за походженням, змістом і рівнем інформативності, була систематизована в групи. Найчисельнішою є перша група писемних джерел, до якої залучено документи офіційного діловодства з архівних та музейних фондів; фахові науково-технічні праці з проблем різних напрямів електротехнічної, приладобудівної галузі та електроніки; нормативні документи, такі як стандарти, авторські свідоцтва, патенти, довідкові видання та каталоги електровимірювальних приладів.

Було опрацьовано матеріали 83 архівних справ із 21 фонду 8 архівів України. До наукового обігу вперше введено документи науково-технічного архіву Інституту кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України. Використання у комплексі наукової літератури, джерельної бази та методології наукового дослідження дало змогу розкрити особливості формування та системної організації вітчизняного науково-виробничого комплексу електровимірювальної техніки.

2. Проведений аналіз накопичення теоретичних і практичних знань з електрики дав підставу стверджувати, що напрям електровимірювальної техніки відокремився від електротехніки у XIX ст. під впливом стрімкого розвитку енергетики та телеграфного зв'язку. Практичне впровадження систем електричного освітлення та промислових мереж прискорило розроблення єдиних одиниць вимірювання та створення перших метрологічних лабораторій, що остаточно закріпило електровимірювальну техніку як самостійний науково-технічний напрям. Накопичення знань з електричних вимірювань, теорії, практики вплинуло на розвиток вітчизняної електровимірювальної техніки у першій половині XX ст.

Обґрунтовано, що створення науково-виробничого кластеру на початку 1950-х рр. базувалося на інституційних засадах, зокрема, на формуванні мережі спеціалізованих осередків. Це відділ електричних і магнітних вимірювань (ІЕ АН УРСР, керівник А. Д. Нестеренка), профільні кафедри в КПІ (А. Д. Нестеренко, П. П. Орнатський), в ЛПІ (К. Б. Карандєєв). Провідну роль у структурі галузі відіграли новостворені спеціальні конструкторські бюро, зокрема Львівське конструкторське бюро з контрольно-вимірювальних приладів та осцилографічної техніки, які стали самостійною ланкою розроблення новітньої техніки. Функції наукових колективів були зосереджені на модернізації методів розрахунку вимірювальних систем та переході до серійного випуску високоточних приладів, що супроводжувалося виокремленням у 1958 р. спеціалізованої підготовки фахівців з електровимірювальної техніки. З'ясовано,

що завдяки впровадженню територіального управління через Раднаргоспи, започаткуванню спеціалізованої освіти та тісній координації між СКБ і промисловими підприємствами, наприкінці 1950-х рр. на теренах України було остаточно сформовано цілісний науково-виробничий кластер (Додаток Р).

3. Доведено, що упродовж 1960-х рр. відбувся перехід до проєктування та серійного впровадження цифрових технологій. Наукові колективи Інституту електродинаміки АН УРСР під керівництвом Ф. Б. Гриневича та Львівської політехніки під керівництвом К. Б. Карандєєва й Б. Й. Швецького, забезпечили пріоритет у створенні автоматичних цифрових мостів та обґрунтуванні методів логічного оброблення інформації, що дозволило знизити похибку вимірювань до рівня 0,01 %. З'ясовано, що вагомим внеском у розвиток цифрової техніки стало розроблення перших перетворювачів форми інформації науковцями Інституту кібернетики АН УРСР та Відділу електронного вимірювального приладобудування при ЛПІ, що дозволило автоматизувати зняття показників та поєднати вимірювальні прилади з обчислювальними пристроями. Практична реалізація цифрових рішень відбувалася, зокрема, через освоєння промислового випуску першого цифрового автоматичного моста моделі Р570 та цифрового екстремального моста Р589 на київському заводі «Точелектроприлад». Визначено, що суттєвий внесок у розширення функціональних можливостей приладів зробила львівська школа, зокрема завдяки розробкам ЛНДРТІ у сфері створення нових типів універсальних осцилографів та універсальних електронно-обчислювальних частотомірів, що за своїми характеристиками не поступалися світовим взірцям. Результативність діяльності шкіл цього десятиліття сформувала провідний цифровий сегмент кластеру, що стало необхідним етапом для подальшого переходу до створення складних інформаційно-вимірювальних систем.

4. Встановлено, що упродовж 1970–1980 рр. відбувалося впровадження мікроелектронної елементної бази в електровимірювальну техніку. Визначальним етапом стало розроблення у 1974 р. в НДІ «Мікроприлад» НВО

«Кристал» технології виготовлення ВІС із наступним впровадженням на заводах «Квантор» (Тернопільська обл.), «Жовтень» (м. Вінниця), «Родон» (м. Івано-Франківськ), «Дніпро» (м. Херсон), «Гравітон» (м. Чернівці), «Гамма» (м. Запоріжжя). Доведено, що результативність діяльності науковців НВО «Кристал», ІК АН УРСР і заводу «Радіоприлад» імені С. П. Корольова дозволила створити перші вітчизняні 8- та 16-розрядні мікропроцесори серії МП-К-25, на базі яких було розроблено модульний набір мікропроцесорної техніки (мікроконтролер «МК 01» та мікрокомп'ютер «УВС 01») для вбудовування в радіовимірювальні прилади.

З'ясовано, що в цей же період на кафедрі ВІТ ХПІ під керівництвом К. С. Полуляха запроваджено низку нових навчальних курсів з розроблення приладів на основі мікропроцесорної техніки та розпочато наукові дослідження з розвитку теорії бігенераторних схем та розроблення АЦП для стендових випробувань турбін для атомних електричних станцій на заводі імені В. О. Малишева і Харківському турбінному заводі. Окреслено здобутки вітчизняних наукових шкіл з підвищення точності та надійності засобів вимірювання.

Доведено, що у Київському політехнічному інституті науковою школою під керівництвом А. Д. Нестеренка та П. П. Орнатського було обґрунтовано структурно-алгоритмічні методи підвищення точності, що стали основою для створення автоматизованих систем наукових досліджень та контролю. Доведено, що суттєвий внесок у метрологічне забезпечення галузі зробила львівська школа, зокрема через діяльність СПКБ «Метрологія» при ЛПІ, де розвиток напряму активного імітування електричного опору дозволив створити калібратори та автоматизовані комплекси з найвищими у світі метрологічними параметрами. Узагальнено, що поєднання мікроелектронної бази з новітніми алгоритмічними методами забезпечило перехід до створення високонадійних інтелектуальних засобів вимірювання та автоматизації складних випробувальних процесів.

5. Обґрунтовано, що особливість розвитку науково-виробничого кластеру електровиміральної техніки у 1970–1980-ті рр. полягала у системній інтеграції обчислювальних засобів у контури вимірювання та впровадженні комп'ютеризованих комплексів. Доведено, що розробленням концептуальних засад взаємодії приладів з ЕОМ займалася київська школа кібернетики ІК АН УРСР В. М. Глушкова, де було реалізовано побудову вимірвальних інформаційних систем на базі міжнародних стандартів з'єднання вимірвальних пристроїв з цифровою апаратурою обробки даних, спроектовано лінійку інтелектуальних сенсорів та засобів супутникової передачі цифрової інформації.

Інститутом електродинаміки АН УРСР спільно з виробничими об'єднаннями «Точелектроприлад» та «Катіон» було забезпечено серійний випуск перших у СРСР мікропроцесорних вимірювачів параметрів комплексних опорів. Впровадження науковцями інституту 14 типів апаратно-програмних комплексів «Регіна», а також застосування цифрових синтезаторів сигналів та алгоритмів автокалібрування, дозволило створити багаточастотні вимірвальні системи для метрологічного забезпечення потреб Держстандарту СРСР.

Доведено, що розвиток теоретичної бази передавання даних відбувався у харківській школі під керівництвом С. М. Терентьєва (ХПІ). Фундаментальні дослідження колективу у галузі статистичних методів оброблення сигналів та теорії інформації дозволили оптимізувати цифрові системи зв'язку, що підвищило завадостійкість інформаційно-вимірвальних систем. Узагальнено, що взаємодія академічних установ ІК та ІЕД АН УРСР із розробками науковців політехнічних закладів вищої освіти та потужностями промислових підприємств забезпечила якісне оновлення галузі через створення інтелектуальних систем автоматизації.

6. На основі систематизації матеріалів та визначення напрямів наукових досліджень була проведена ідентифікація вітчизняних наукових шкіл електровиміральної техніки, що сформувалися на базі наукових і дослідних осередків (Додаток С):

Інститут електротехніки (1947 р.) – з електричних і магнітних вимірювань (А. Д. Нестеренко, Ф. Б. Гриневич, Є. О. Андрієвський, А. Д. Ніженський, А. І. Новік, М. М. Сурду, Ю. О. Скрипник, С. Г. Таранов, З. Я. Монастирський), 1970 р. – з інформаційно-діагностичних комплексів (Б. С. Стогній, М. Ф. Сопель);

КПІ (1950 р.) – з розроблення електронних та цифрових вимірювальних приладів, 1970 методів підвищення точності вимірювальних пристроїв (А. Д. Нестеренко, П. П. Орнатський, В. І. Губар, С. М. Маєвський, Ю. М. Туз, В. Д. Ціделко, Є. Т. Володрський);

ЛПІ (1952 р.) – з теорії електричних вимірювань та вимірювальних інформаційних систем (К. Б. Карандєєв, А. Я. Шрамков, С. С. Обозовський, М. В. Кіріанакі, Є. І. Шморгун, В. О. Кочан, Є. С. Поліщук, Б. І. Стадник), 1961 р. – з вимірювальних приладів загального й спеціального призначення (Відділ електронного вимірювального приладобудування (НДКІ ЕЛВІТ)) (Б. Й. Швецький, Р. С. Кравцов, І. М. Вишенчук, Г. О. Асаєвич, М. Т. Фучила);

Львівське конструкторське бюро (ЛНІРТІ) (1956 р.) – з контрольно-вимірювальних приладів та осцилографічної техніки (В. І. Гудик, Д. І. Грицак, І. І. Халавка, М. В. Юшин);

ХПІ (1961 р.) – з електричних і магнітних вимірювань та інформаційно-вимірювальних систем (О. В. Федоров, В. І. Дякін, К. С. Полулях, С. М. Терентьєв, П. І. Татарський, Є. М. Гончаров, Ю. І. Роздовський, В. І. Піскляров, П. Ф. Щапов, В. К. Гусельников, М. В. Кривогін, Л. О. Медведєва, І. І. Тополов, В. І. Бондаренко, С. І. Кондрашов, О. П. Давиденко, О. І. Овчаренко, В. П. Себко, Б. М. Горкунов, О. О. Авраменко, К. І. Діденко);

ХІГМАОТ (1964 р.) – з вимірювання потужності на надвисоких частотах та метрології (В. Д. Кукуш, А. Б. Єгоров, І. Ф. Дем'янков, Н. К. Гордієнко, І. П. Захаров);

НДІ «Мікроприлад» (1966 р.) – зі створення гібридних інтегральних схем та мікропроцесорів (С. О. Моральов, К. М. Кролевець, О. І. Корнєв, Ю. А. Петін, А. І. Молчанов, В. Г. Табірний, А. В. Кобилинський);

Інституті кібернетики АН УРСР – з кібернетичної техніки (1962 р.) (В. М. Глушков, Б. М. Малиновський, В. С. Михалевич, В. І. Скурихін, І. В. Сергієнко, В. М. Єгипко); з перетворювачів форми інформації (1963 р.) (А. І. Кондалєв, В. І. Скурихін, О. М. Лучук); з мікропроцесорної техніки та сенсорних пристроїв, систем та технологій безконтактної діагностики (1980 р.)

СКТБ КП (м. Житомир) (1973 р.) – з комбінованих приладів та систем (М. І. Невмержицький).

7. Запропоновано авторську періодизацію розвитку електровимірювальної техніки на теренах України, яка складається з трьох етапів та відображає об'єктивну логіку розвитку цієї сфери від накопичення наукового потенціалу до створення високонадійних програмно-керованих вимірювальних систем:

I етап (початок ХХ ст. – початок 1940-х рр.) – передумови становлення науково-виробничого кластеру електровимірювальної техніки. Цей етап характеризувався переходом від поодиноких лабораторних досліджень до створення підґрунтя для формування цілісного науково-виробничого кластеру, що базувалося на поєднанні фундаментальної університетської науки з потребами державної індустріалізації завдяки реалізації плану ГОЕЛРО. Започаткування досліджень пов'язано з діяльністю електровимірювальних лабораторій фізичних кабінетів Київської та Львівської політехніки та Харківського технологічного інституту. Значне місце у створенні підґрунтя займала діяльність академіка А. Д. Нестеренка, під керівництвом якого на базі КПІ було організовано науково-дослідні майстерні, на базі яких у 1934 р. створено Київський завод, де налагоджено серійне виробництво прецизійної апаратури. Повоєнне відновлення технічної бази наприкінці етапу остаточно підготувало умови для інституціоналізації повноцінного науково-виробничого кластеру в наступний період.

II етап (1946 р. – кінець 1960-х рр.) – масовий випуск електровимірювального устаткування для потреб енергетики. Позначився заснуванням у 1946 р. координуючого осередку – Головного управління заводами точних електровимірювальних приладів та системною інституціоналізацією науково-виробничого кластеру електровимірювальної техніки, за рахунок створення мережі академічних установ та формування наукових шкіл під керівництвом К. Б. Карандєєва та А. Д. Нестеренка, будівництвом нових профільних підприємств, де основний акцент змістився на автоматизацію процесів вимірювання та впровадження дискретної напівпровідникової техніки.

III етап (початок 1970-х рр. – 1991 р.) – впровадження Державної системи промислових приладів і засобів автоматизації, інформаційно-вимірювальних систем, створенням науково-виробничих об'єднань. Відбувся перехід до програмно-керованих систем, де вимірювальні прилади стали частиною єдиних інформаційних мереж завдяки використанню мікропроцесорів та складних алгоритмів цифрової корекції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ І ЛІТЕРАТУРИ

1. A Chronological History of Electrical Development From 600 B.C. / National Electrical Manufacturers Association. New York, 1946. 106 p.
2. Ambrose John. Fleming and the Beginning of Electronics. *Journal of Vacuum Science & Technology. A Vacuum Surfaces and Films*. 2005. Vol. 23. No 4. DOI: 10.1116/1.1881652.
3. Ampere / Britannica Editors // *Encyclopedia Britannica*. 2025. No. 4. URL: <https://www.britannica.com/science/ampere> (дата звернення: 07.12.2024).
4. Application of Electrical Engineering in Ukrainian Military Medicine in the First Decade of the Russian-Ukrainian War (2014–2024). Selected Cases. Demochko, H; Robak, I and Malikov, V. 2025. *STUDIA HISTORIAE SCIENTIARUM* 24, P. 603–622. DOI: <https://doi.org/10.4467/2543702XSHS.25.018.21856>.
5. Arokia Nathan, Samar K. Saha, Ravi M. Todi. 75th Anniversary of the Transistor. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 2023. 438 p.
6. Bardeen J., Brattain W. H. The transistor, a semi-conductor triode. *Phys. Rev.* 1947. Vol. 74. No 2. P. 230–231.
7. Bell Labs' Patents for the Transistor. Taylor & Duma. URL: <https://insights.taylorduma.com/post/102j0ve/bell-labs-patents-for-the-transistor> (дата звернення: 21.04.2023).
8. Bernal J. D. Science in History. 3rd ed. New York: Hawthorn Books, Inc., 1965. xviii, 1039 p.
9. Braun F. Ueber die Stromleitung durch Schwefelmetalle (On current conduction in metal sulphides). *Annalen der Physik und Chemie*. 1874. Vol. 153. P. 556–563.
10. Chapman R. C. (Ed). Digital Signal Processor. Special Edition *The Bell System Technical Journal*, 60 (7), 1981. P. 1431–1701.
11. Charles Wheatstone. The Bakerian Lecture: An Account of Several New Instruments and Processes for Determining the Constants of a Voltaic Circuit. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. 1843. Vol. 133. P. 303–

327. URL: <https://www.jstor.org/stable/108382>. (дата звернення: 24.07.2023).

12. Congrès international des électriciens: Paris 1881: comptes rendus des travaux. France. Ministère des postes et des télégraphes. G. Masson, 1882, 400 p. URL: https://books.google.com/books/about/Congrès_international_des_électriciens.html?id=dzciX6t5zJkC. (дата звернення: 23.02.2023).

13. Countries. Years. Oscilloscopes. (History of Oscillography of the USSR) / Dvoretzky V. B. et al. Vilnius: Jusida, 2022. 584 p.

14. D'agostino, S., "The Fundamental Role of Absolute Instruments in the Evolution of Classical Electrodynamics: Thomson's Absolute Electrometer", in Dragoni, G., McConnell, A. and Turner, G. L'E. (eds), *Proceedings of the Eleventh International Scientific Instrument Symposium [Bologna University, 9–14 September, 1991]* (Bologna: Grafis Edizioni, 1994), 153–155.

15. Dorozhovets M. Lwowska szkoła metrologii elektrycznej po drugiej wojnie światowej / M. Dorozhovets, O. Iwachiw, B. Stadnyk. *Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe* Nr 4/2018 (120). P. 169–176.

16. Editorial. Playing both sides of the street. *Electronics*. 1965. Vol. 38. No 8.

17. Elmore W. C., Sands M. *Electronics: Experimental Techniques*. New York: McGraw-Hill, 1949. P. 202–207. (National Nuclear Energy Series).

18. Gilbert W. De Magnete, Magneticisque Corporibus, et de Magno Magnete Tellure. London, 1600.

19. Giovanni Becattini. *Tektronix Epic Oscilloscopes: An Illustrated Chronicle of Teknology for Collectors and Restorers*. Elektor, 2024. 588 p.

20. Giovanni Becattini. *The Great Hewlett Packard*. 1029 p. URL: <http://www.k100.biz/ebooks/hp1.pdf>. (дата звернення: 07.12.2024).

21. Greenslade T. *Instruments for Natural Philosophy – Astatic Galvanometer*. *Kenyon College*. Archived from the original on 2018–03–07. URL: [https://web.archive.org/web/20180307000000/http://physics.kenyon.edu/Early Apparatus/Electrical_Measurements/Astatic_Galvanometer/Astatic_Galvanometer.html](https://web.archive.org/web/20180307000000/http://physics.kenyon.edu/Early_Apparatus/Electrical_Measurements/Astatic_Galvanometer/Astatic_Galvanometer.html) (дата звернення: 07.12.2024).

22. Groover M. P. Automation, Production Systems, and Computer-Aided Manufacturing. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1980. 592 p. P. 505–509.
23. H. L. E. The Cathode Ray Oscillograph in Industry. *Nature*. 1948. Vol. 162. P. 391–392.
24. Heilbron J. L. Electricity in the 17th and 18th Centuries. Berkeley: University of California Press, 1979. P. 154–158, 242–245.
25. Hofmann J. Ampère's Invention of Equilibrium Apparatus: A Response to Experimental Anomaly. *British Journal for the History of Science*. 1987. Vol. 20. P. 309–341.
26. Hughes Thomas P. Networks of Power: Electrification in Western Society, 1880–1930. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1983. P. 45–50.
27. Hunter Christie S. The Bakerian Lecture: Experimental Determination of the Laws of Magneto-electric Induction in different masses of the same metal, and its intensity in different metals. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. 1833. Vol. 123. P. 95–142. URL: <https://www.jstor.org/stable/107990>. (дата звернення: 23.07.2023).
28. Hunter Louis C., Bryant Lynwood. A History of Industrial Power in the United States, 1780–1930. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1991. Vol. 3: The Transmission of Power. P. 112.
29. ISO 10012: 2003. Measurement management systems – Requirements for measurement processes and measuring equipment. Geneva: International Organization for Standardization, 2003.
30. Jenkin Fleeming. Report on the New Unit of Electrical Resistance Proposed and Issued by the Committee on Electrical Standards Appointed in 1861 by the British Association, 1865. DOI: <https://doi.org/10.1098/rspl.1865.0037> (дата звернення: 22.02.2023).
31. John H. Miller. Electrical Measuring Instruments. *Weston technical monograph*, Weston Electric Instrument Corporation. 1956. 20 p.
32. Jones Barry. Measurement: Past, Present and Future: Part 3 Measurement Innovation and Impact. *Measurement and Control*, 2013. No 46. 122–128.

33. Keithley J. F. The Story of Electrical and Magnetic Measurements: From 500 BC to the 1940s. John Wiley and Sons, Hoboken, 1999. 240 p.
34. Knowlton, Archer E. Electric Power Metering. New York: McGraw-Hill Book Company, 1922. 146 p.
35. Likharev, K. K. Dynamics of Josephson Junctions and Circuits. Gordon and Breach Science Publishers, 1986. 614 p.
36. Malvino, A. P. Electronic Principles (2nd Ed. 1979. ISBN 0-07-039867-4). 1979. 742 p.
37. Marshall M. L. Winning with people: The first 40 years of Tektronix. [Beaverton]: Tektronix, 1986. 323 p.
38. Martins R. de A. Romagnosi and Volta's pile: Early difficulties in the interpretation of Voltaic electricity. *Nuova Voltiana: Studies on Volta and his Times* / ed. by F. Bevilacqua, L. Fregonese. Pavia: Ulrico Hoepli, 2001. Vol. 3. P. 81–102. (ISBN 88-203-2790-2).
39. Masatoshi Shima: An Interview Conducted by William Aspray, *IEEE History Center*, May 17, 1994. Oral-History: Japanese Engineers URL: https://ethw.org/Oral-History: Masatoshi_Shima#Struggle_to_Finalize_4004.
40. Mathis W. "100 years multivibrator-history, circuits and mathematical analysis", *COMPEL – The international journal for computation and mathematics in electrical and electronic engineering*, 2020, Vol. 39 No 3, P. 725–737. URL: <https://doi.org/10.1108/COMPEL-10-2019-0411> (дата звернення: 01.12.2022).
41. Matsumoto E. The History of Electric Measuring Instruments and Active Components. Tokyo: Society of Historical Metrology, Japan, 2004. URL: <https://ethw.org/w/images/c/c8/Matsumoto1.pdf> (дата звернення: 25.12.2024).
42. Matsumoto E., "Edward Weston Made His Mark on the History of Measurement, " *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, 2003. P. 46–50.
43. Moore, G. Cramming more components onto integrated circuits. *Electronics*. 1965. Vol. 38. No 8 (Apr. 1965). P. 114–117.
44. Oliver Dalton and Lionel Kreps. A History of the Analog Cathode Ray Oscilloscope. 58 p. URL: <https://vintagetek.org/history-of-analog-cathode-ray->

oscilloscopes/ (дата звернення: 15.12.2023).

45. On the history and environment of Tektronix. URL: <https://vintagetek.org/history-of-tektronix/> (дата звернення: 25.12.2024).

46. Oral-History: Japanese Engineers URL: https://ethw.org/Oral-History:Japanese_Engineers (дата звернення: 01.02.2023).

47. Peschel C. F. Elements of Physics. Part III: Imponderable bodies. 2: Electricity, Electro-magnetism and Magneto-Electricity. London: Longman, Brown, Green, and Longmans, 1845/6. 274 p.

48. Petersman T. Technik und Menschliche Zivilisation. Zur Wirklichkeit, Theorie und Kritik der Technik. Köln: Deutscher Instituts-Verlag, 1984. 148 S. (Grundwissen-Technik und Gesellschaft; Bd. 2).

49. Popular Electronics Magazine. Consumer electronics magazine from 1954 to 2003 in several renewed editions. URL: <https://www.worldradiohistory.com/Popular-Electronics-Guide.htm> (дата звернення: 13.04.2023).

50. Quinn T. News from the BIPM. *Metrologia*. 1989. Vol. 26. No 1. P. 69–74.

51. Reid E. A. The Electrical Energy Meter, Part 1. *The Transactions of the South African Institute of Electrical Engineers*. 1957.

52. Report of the Forty-Third Meeting of the British Association for the Advancement of Science; Held at Bradford in September 1873. London: John Murray, 1874. P. 222–225.

53. Research Brief. 70th Anniversary of the Transistor Invention. The Global Semiconductor Industry Analysts. 2017. URL: https://www.futurehorizons.com/assets/fh_research_bulletin_2017-05_an_industry.pdf (дата звернення: 26.12.2024).

54. Riordan M., Hoddeson L. Crystal fire: the invention of the transistor and the birth of the information age. USA: W. W. Norton & Company, 1988. P. 88–97.

55. Sah C. T. Evolution of the MOS transistor — from conception to VLSI. *Proceedings of the IEEE*. 1988. Vol. 76. No 10. P. 1280–1326. DOI: 10.1109/5.16328.

56. Shockley W. The theory of p-n junctions in semiconductors and p-n junction transistors. *Bell Syst. Tech. J.* 1949. Vol. 28. No 4. P. 435–489.

57. Snelders H. A. M. J. S. C. Schweigger: His Romanticism and His Crystal Electrical Theory of Matter. *Isis*. 1971. Vol. 62. No 3. P. 328–338.
58. Stock J. T., Vaughan D. The Development of Instruments to Measure Electric Current. London: Science Museum, 1983. 50 p.
59. Stognii B., Pankiv V., Tankevych E. Iterative calculation of electromagnetic processes in the current transformer by the approximated magnetization curve. *IEEE International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS)*, 2014. P. 149–152. DOI: <https://doi.org/10.1109/IEPS.2014.6874168>.
60. Stogniy B. S., Sopel M. F. Fundamentals of monitoring in the power industry. On the concept of monitoring. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2013. No 1. P. 62–69.
61. Sydenham P. H. Measuring Instruments: Tools of Knowledge and Control. London: Peter Peregrinus Ltd, 1979. 512 p.
62. Takagi J. History of Electricity: Focusing on Measurement. Tokyo, Japan: Ohm sha Ltd., 1967.
63. The digital age. *Electronics : Special Commemorative Issue*. 1980. Vol. 53, № 9 (587).
64. The History of Semiconductor Industry. *Inquivix Technologies*. 2023. March 29. URL: <https://inquivixtech.com/history-of-semiconductor-industry/> (дата звернення: 21.04.2023).
65. The little gray box that started a revolution. More than 25 years of Fluke Digital Multimeters. *From the Fluke Digital Library*. URL: <https://clark.cementhorizon.com/Fluke-history.pdf> (дата звернення: 25.11.2024).
66. The New Weston Voltmeter. *Science*. 1889. No 8 February P. 97–99.
67. Tverytnykova Elena, Khikhlo Vadym. The influence of information technologies on the development of measurement tools and methods in Ukraine (second half of the 20th century). *2023 IEEE Sixth International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo)*. Kyiv, Ukraine, 2023. P. 360–363.
68. Tverytnykova O. E., Demidova Y. E. Organizational forms and results of

students' research work formation in the system of higher electrotechnical education: historical aspect. *Problems and prospects of formation of national humanitarian and technical elite*: coll. of sciences. for mater. Int. Research Practice Conf. «Spiritual and moral foundations and responsibility of the individual in the destiny of human civilization» 16.11.2017. Kharkiv: NTU «KPI», 2018. Vol. 48. No 52. P. 236–240.

69. U.S. Markets Forecast 1979. *Electronics*. 1979. Vol. 52. No 1. P. 105–128.
70. Upgrading and repairing PCs. 17th ed. Indianapolis: Que, 2006. P. 60–62.
71. Uppenborn F. Elektrischer Strom- und Spannungsmesser. Patent. München, 1886. Patentiert am 23.02.1886. K-10.
72. Van Doren, Carl. The Kite Experiment // Benjamin Franklin. 1938.
73. Venermo J., Sihvola A. The tangent galvanometer of Johan Jacob Nervander. *IEEE Instrumentation and Measurement Magazine*. 2008. Vol. 11. No 3. P. 16–23.
74. W. E. I. Company, Measuring Invisibles, Weston Electrical Instrument Company, 1938.
75. Warsza Z. Prace profesora Włodzimierza Krukowskiego (1887–1941) w dziedzinie układów pomiarowych i ich rola w rozwoju metrologii elektrycznej. *Pomiary, Automatyka, Kontrola*. 2012. № 1. P. 144–153.
76. Whittaker E. T. A History of the Theories of Aether and Electricity. Dublin: Longmans, Green and Co; London: Hodges, Figgis and Co, 1910. P. 84–85.
77. William H. DeLone and Ephraim R. McLean, "Information Systems Success Measurement", *Foundations and Trends® in Information Systems*, 2016, Vol. 2: No 1. P. 1–116.
78. А. с. 111154 СССР, МПК G01R 13/02, G01R 17/20, G01R 19/155. Автоматический вольтметр с цифровым указателем / К. Б. Карандеев, А. Я. Шрамков (СССР). № 554515; заявл. 09.07.56; опубл. 01.01.57.
79. А. с. 113202 СССР, МПК G01R 19/00, G01R 17/20. Автоматический компенсационный цифровой вольтметр / К. Б. Карандеев, А. Я. Шрамков (СССР). № 580895; заявл. 22.07.57; опубл. 01.01.58.

80. А. с. 174261 СССР. Мост для измерения комплексных сопротивлений / Ф. Б. Гриневич // БИ. 1965. № 17.
81. А. с. 175126 СССР. Цифровой автоматический экстремальный мост переменного тока / Ф. Б. Гриневич, А. В. Чеботарев, А. И. Новик // БИ. 1965. № 19.
82. А. с. 230965 СССР. Способ уравнивания цифровых автоматических экстремальных мостов переменного тока / Ф. Б. Гриневич // БИ. 1968. № 35.
83. А. с. 331319 СССР. Цифровой экстремальный мост переменного тока / А. И. Новик, Н. А. Фещенко // БИ. 1968. № 35.
84. Академія наук Української Радянської Соціалістичної Республіки, 1919–1944 / О. В. Палладін; Академія наук УРСР. Київ: Вид-во Академії наук УРСР, 1944. 109 с.
85. Акт проверки научной деятельности Института электротехники АН УССР за 1955 г. // Архів ІА НБУ імені В. І. Вернадського. Ф. 263. Оп. 1. Спр. 158. 9 арк.
86. Аналого-цифровой преобразователь Ф5286 / А. И. Кондалев, В. А. Багацкий, А. А. Марчук, Н. Н. Краснорущкая. *Управляющие системы и машины*. 1983. № 4. С. 125–127.
87. Анненков І. О. Розвиток електромашинобудування на українських теренах у 1920-х – 1930-х роках: монографія / НААН, ННСГБ, Ін-т історії аграр. науки, освіти та техніки; наук. ред. В. А. Вергунов. Київ, 2024. 560 с.
88. Анненкова Н. Г. Науково-технічний потенціал приладобудівної галузі України у 80-і роки ХХ століття. *Зб. наук. праць. Серія «Історія та географія» Харківського державного педагогічного університету імені Г. С. Сковороди*. Харків: Майдан, 2004. Вип. 16. С. 115–127.
89. Анненкова Н. Г. Науково-технічна діяльність кафедр електро-технічного та приладобудівного профілю в Харківському політехнічному інституті на етапі НТР (60–80-ті роки ХХ ст.). *Матеріали 6-ї Всеукраїнської наукової конференції «Актуальні питання історії науки і техніки» (Полтава,*

11–12 жовтня 2007 р.). Полтава: Видавництво Terra, Полтавська державна аграрна академія, 2008. С. 91–94.

90. Антонов А. К. Электротехническая промышленность за 50 лет. *Электричество*. 1967. № 7. С. 3–10.

91. Архів Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». (НТУ «ХПІ»), т. 9. Приказы по Харьковскому политехническому институту № 801–900. 264 арк.

92. Баранов М. И. Антология выдающихся достижений в науке и технике. Часть 42: Электроника: ретроспектива, успехи и перспективы ее развития. *Електротехніка і електромеханіка*, 2018. № 1. С. 3–16. DOI: <https://doi.org/10.20998/2074-272X.2018.1.01>.

93. Барановський Б. И., Топольницкий Г. Г. Эталонная база Украинской ССР в одиннадцатой пятилетке. *Измерительная техника*, 1982. № 12. С. 23–24.

94. Библиографический указатель трудов академика АН УССР, доктора технических наук, профессора Феодосия Борисовича Гриневича / Ин-т электродинамики АН УССР, Науч.-техн. б-ка; сост.: Л. Ф. Перехрест, А. Е. Андриевская, И. И. Яковлева. Киев, 1982. 59 с.

95. Буров Є. В. Концептуальне моделювання інтелектуальних програмних систем: монографія / Є. В. Буров. Львів: Львів. політехніка, 2012. 432 с.

96. В поисках совершенной абсолютной системы единиц (1927 г.) / П. П. Копняев. *Измерительная техника*. 1955. № 6. С. 29–33.

97. Вишенчук Ігор Михайлович // Буцко М. І. Відомі вчені Державного університету «Львівська політехніка» 1844–1994: біограф. довідник Львів: Вид-во Держ. Ун-ту «Львівська політехніка», 1994. С. 158–160.

98. Віктор Ткаченко. Науково-дослідний конструкторський інститут «ЕЛВІТ» Львівської політехніки готується до 75-ліття. URL: <https://lpnu.ua/news/ndki-elvit-hotuietsia-do-75-littia> (дата звернення: 20.12.2023).

99. Войтович І. Д., Корсунський В. М. Інтелектуальні сенсори. Київ: Ін-т кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України, 2007. – 513 с.

100. Высокопроизводительные преобразователи формы информации / А. И. Кондалев, В. А. Багацкий, В. А. Романов, В. А. Фабричев. Киев: Наук. думка, 1987. 280 с.

101. Георг Симон Ом. До 230-ї річниці від дня народження видатного фізика. URL: https://ukrpatent.org/i_upload/file/16032017-Om-stattia.pdf. (дата звернення: 20.02.2023).

102. Герман И. Электрические измерительные приборы. Берлин – Рига: Изд. «Наука и Жизнь». 1923 г.

103. Годовой отчет о выполнении тематического плана научно-исследовательской работы Института электротехники АН УССР за 1953 г. // Архів ІА НБУ імені В. І. Вернадського. Ф. 263. Оп. 1. Спр. 111. 57 арк.

104. Годовой отчет о выполнении тематического плана научно-исследовательской работы Института электротехники АН УССР за 1955 г. // Архів ІА НБУ імені В. І. Вернадського. Ф. 263. Оп. 1. Спр. 156. 36 арк.

105. Годовой отчет о выполнении тематического плана научно-исследовательской работы Института электротехники АН УССР за 1959 г. ДСП // Архів ІА НБУ імені В. І. Вернадського. Ф. 263. Оп. 1. Спр. 276. 80 арк.

106. Годовой отчет о выполнении тематического плана научно-исследовательской работы Института электродинамики АН УССР за 1963 г. // Архів ІА НБУ імені В. І. Вернадського. Ф. 263. Оп. 1. Спр. 440. 81 арк.

107. Годовой отчет о выполнении тематического плана научно-исследовательской работы Института электродинамики АН УССР за 1968 г. ДСП // Архів ІА НБУ імені В. І. Вернадського. Ф. 263. Оп. 1. Спр. 686. 168 арк.

108. Годовой отчет о научной и научно-организационной деятельности ордена Ленина Института кибернетики за 1984 год // Архів ІК імені В. М. Глушкова НАН України. Оп. 1. Спр. 1817. Арк. 26.

109. Годовой отчет о работе совместных предприятий экспериментальных лабораторий (баз) Института электротехники АН УССР за 1959 г. // Архів ІА НБУ імені В. І. Вернадського. Ф. 263. Оп. 1. Спр. 291. 9 арк.

110. Годовой отчет по основной деятельности производственных

мастерских за 1943 г. // ДАК. Ф. Р-1270. Оп. 1. Спр. 1. 24 арк.

111. Голян-Нікольський А. Ю. Вклад вітчизняних вчених у розвиток світової науки і техніки. К., 1954. 29 с.

112. ГОСТ 12997–67. Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации. Общие технические требования. Госстандарт СССР; Комитет стандартов, мер и измерительных приборов при Совмине СССР. Введён в действие 01.01.1970.

113. ГОСТ 1845–42. Приборы электроизмерительные. Общие технические условия. [Введ. 1943–01–01]. Москва: Госпланиздат, 1942. 24 с.

114. ГОСТ 22261–76. Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия. Москва: Изд-во стандартов, 1977. 32 с.

115. ГОСТ 26.003–80. (СТ СЭВ 2740–80) Система интерфейса для измерительных устройств с байт-последовательным, бит-параллельным обменом информацией. Требования к совместимости. Москва: Изд-во стандартов, 1981. 114 с.

116. ГОСТ 26.201.1–84. (МЭК 550–1) Система КАМАК. Требования к интерфейсу параллельной ветви. Москва: Изд-во стандартов, 1984. 28 с.

117. ГОСТ 26.207–83. Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации. Основные положения. Москва: Изд-во стандартов, 1984. 4 с.

118. Гриневич Ф. Б. Автоматические мосты переменного тока. Новосибирск: Изд-во СОАН СССР, 1964. 215 с.

119. Гриневич Ф. Б. Измерение невидимок. Київ: Наукова думка, 1988. 144 с.

120. Гриневич Ф. Б. Квазиэкстремальные автоматические модуляционные мосты переменного тока. *Автометрия*. 1968. № 1. С. 61–67.

121. Гриневич Ф. Б. О Константине Борисовиче Карандееве. *Автометрия*. 1982. № 6. С. 105.

122. Гриневич Ф. Б., Будницкая Е. А., Новик А. И. и др. Автоматические экстремальные мосты переменного тока. *Новые приборы и комплектные*

устройства для точных электрических и магнитных измерений. Киев: Укр. НИИНТИ. 1970. С. 41–50.

123. Гриневич Ф. Б., Будницкая Е. А., Новик А. И. и др. Цифровой экстремальный мост типа Р589 для измерения параметров конденсаторов. // В кн. *Совершенствование устройств для измерения комплексных параметров и величин в широком диапазоне частот*. Киев. 1968. С. 170–175.

124. Гриневич Ф. Б., Грохольский А. Л., Соболевский К. М., Цапенко М. П. Трансформаторные измерительные мосты / Под ред. К. Б. Карандеева. Москва: Энергия. 1970. 280 с.

125. Гриневич Ф. Б., Карандеев К. Б., Соболевский К. М. Об измерении параметров катушек индуктивности мостами с дискретным уравниванием. *Автометрия*. 1967. № 4. С. 56–62.

126. Гриневич Ф. Б., Карандеев К. Б., Цапенко М. П. Об устойчивости следящих цифровых измерительных приборов, зависящей от их статических характеристик. *Автометрия*. 1967. № 1. С. 62–72.

127. Гриневич Ф. Б., Новик А. И., Петухов В. В. и др. Схема комбинированного процентно-абсолютного моста для измерения параметров конденсаторов. *Приборы и системы управления*. 1971. № 3. С. 32–33.

128. Гриневич Ф. Б., Новик А. И., Смоляр Ю. А. и др. Разработка и внедрение цифровых экстремальных мостов переменного тока. *Приборы и системы управления*. 1971. № 3. С. 30–33.

129. Гриневич Ф. Б., Новик А. И., Чеботарев А. В. Цифровой автоматический экстремальный мост переменного тока. *Автометрия*. 1965. № 5. С. 45–49.

130. Гриневич Ф. Б., Сурду М. Н. Высокоточные вариационные измерительные системы переменного тока. Киев: Наук. думка, 1989. 192 с.

131. Гриневич Ф. Б., Таранов С. Г. Розвиток досліджень в науковому напрямку «Інформаційно-вимірювальні системи та метрологічне забезпечення в електроенергетиці». *Технічна електродинаміка*. 2007. № 4. С. 3–20.

132. Грицко Б. А. Нариси з історії метрології на теренах України (від

найдавніших часів до сучасності). Львів: Афіша, 2005. 267 с.

133. Грицко Б. А., Довгопол В. Е. Развитие метрологических служб в западных областях Украины. *Измерительная техника*, 1982. № 12. С. 25–26.

134. Демочко Г. Л., Робак І. Ю. Електротехнічні інновації в українській військовій медицині першого десятиліття Війни за Незалежність України (2014–2024) на другому та третьому рівнях медичної допомоги. *Вісник гуманітарних наук*. № 13. 2025. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18103081>.

135. Демочко Г., Робак І. Вплив першого десятиліття сучасної російсько-української війни на інновації в практику тактичної медицини (погляд з українського боку) // *Russia-Ukraine War: Consequences for the World: Proceedings of the 5th International Scientific and Practical Internet Conference*, January 30–31, 2025. FOP Marenichenko V. V., Dnipro, Ukraine, 273 p. P. 72–73. <http://www.wayscience.com/wp-content/uploads/2025/02/Conference-Proceedings-January-30-31-2025.pdf>.

136. Депенчук Н. П. Історія науки і техніки. Київ: Видавництво «Либідь», 2002. С. 21–35.

137. Державне підприємство «Львівський науково-дослідний радіотехнічний інститут». 2009. Львів. 121 с.

138. Державні стандарти СРСР.
URL: <https://normativ.info/norms/gost/gost4.shtml> (дата звернення: 26.08.2025).

139. Дзісяк Я. І. Соціально-економічні процеси в Україні наприкінці 80-х на початку 90-х років XX століття (незворотність економічного краху СРСР) [Текст]: монографія. Тернопіль: ТНЕУ, 2010. 262 с.

140. Диденко К. И. и др. Микроэлектронные устройства программного и логического управления. Москва, 1979. 208 с.

141. Диденко К. И. и др. Унифицированные структуры для систем управления на базе КТС-ЛИУС. Спец. конструкторское бюро систем автомат. управления. Киев, 1969. 39 с.

142. Диденко К. И. Проектирование агрегатных комплексов технических средств для АСУТП. Москва: Изд-во «Энергоатомиздат», 1984. 168 с.

143. Диденко К. И. Цифровая система контроля и управления [Текст] / К. И. Диденко, канд. техн. наук, И. С. Шандрин, М. В. Соломко. Киев, 1967. 40 с.
144. До 100-річчя з дня народження видатних вчених-метрологів. Петро Павлович Орнатський. *Український метрологічний журнал*, 2017. № 4. С. 71.
145. До 90-річчя академіка НАН України Гриневича Феодосія Борисовича. *Технічна електродинаміка*. 2012. № 5. С. 87–88.
146. До джерел історії кафедри ІВТ Львівської політехніки. 2016. 12 с. URL: https://old.lpnu.ua/sites/default/files/attach/2016/1326/do_dzherel_istoriyi_kafedry_ivt.pdf (дата звернення: 15.12.2023).
147. Довідка про роботу А. Д. Нестеренка в Енергетичному інституті АН СРСР на посаді наукового керівника Лабораторії електричних вимірювань. 9.05.1955. // Архів ІА НБУ імені В. І. Вернадського. Ф. 131. Оп. 2. Спр. 39. 1 арк.
148. Довідка про роботу А. Д. Нестеренка головним конструктором на заводі п/с 86 у 1938–1944 рр. 3 квітня 1959 р. Оригінал. Друкарський відбиток. // Архів ІА НБУ імені В. І. Вернадського. Ф. 131, Оп. 2. Спр. 43. Арк. 1.
149. Докладные записки об организации отраслевых научно-исследовательских лабораторий Львовского политехнического института // ДАЛО. Ф. Р-120. Оп. 6. Спр. 151. 65 арк.
150. Документи (довідні записки, довідки, пропозиції) про стан та поліпшення науково-дослідної роботи в вузах МВССО УРСР за 1959 р. // ЦДАВО України. Ф. 4621. Оп. 4. Спр. 136. 227 арк.
151. Документи про діяльність А. Д. Нестеренка на посаді завідувача кафедри «Електроприладобудування» КПІ // Архів ІА НБУ імені В. І. Вернадського. Ф. 131. Оп. 2. Спр. 31. 21 арк.
152. Документы о научно-техническом сотрудничестве в области стандартизации и метрологии с ПНР, ГДР, Венгрией за 1968 г. // ДАХО. Ф. Р-6183. Оп. 3. Спр. 8. Арк. 13–16.
153. Документи семінарів секції приладобудування РБЕНТІ за 1979 р. (обґрунтування, програми, рекомендації). // ЦДАВО України. Ф. 5134. Оп. 1. Спр. 553. Арк. 9–13.

154. Документы семинаров секции приборостроения (обоснование, программы, рекомендации) 1979 г. // ЦДАВО України. Ф. 5134. Оп. 1. Спр. 553. 46 арк.

155. Документы семинаров секции приборостроения (программы, рекомендации, отчеты) т. 1, январь-май 1978 г. // ЦДАВО України. Ф. 5134. Оп. 1. Спр. 481. 84 арк.

156. Документы семинаров секции приборостроения 1977 г. // ЦДАВО України. Ф. 5134. Оп. 1. Спр. 399. 60 арк.

157. Доповідні записки, довідки, інформації, направлені в ЦК КПУ, РМ УРСР і МВССО СРСР про науково-дослідну роботу вузів за 1966 р. Том 2 // ЦДАВО України. Ф. 4621. Оп. 13. Спр. 94. 169 арк.

158. Дорожовець Михайло, Івахів Орест, Серкіз Андрій. Кафедри інформаційно-вимірювальних технологій Національного університету «Львівська політехніка» – 90 років! *Вимірювальна техніка та метрологія*, 2011. № 72. С. 7–23.

159. ДСТУ 2681–94. Метрологія. Терміни та визначення. [Чинний від 1995–01–01]. Київ: Держстандарт України, 1994. 68 с. (Державний стандарт України).

160. ДСТУ 3540–97 Електронні засоби вимірювальної техніки для електричних та магнітних величин. Терміни та визначення. [Чинний від 1998–01–01]. Київ: Держстандарт України, 1997. 46 с.

161. ДСТУ ІЕС 60050–300–312: 2006. Електротехнічний словник термінів. Електричні та електронні вимірювання і засоби вимірювальної техніки. Частина 312. Загальні терміни щодо електричного вимірювання (ІЕС 60050–300: 2001, IDT). [Чинний від 2007–10–01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2008. 22 с.

162. Енергетика: історія, сучасність і майбутнє. Пізнання й досвід – шлях до сучасної енергетики / Є. Т. Базеєв та ін.; наук. ред.: Ю. О. Ландау, І. Я. Сігал, С. В. Дубовської. Київ, 2013. 328 с.

163. Забезпечення єдності електрорадіовимірювань: підручник /

Ю. Ф. Павленко, І. П. Захаров, С. І. Кондрашов, В. К. Гусельніков; за ред. Ю. Ф. Павленка. Харків: Вид-во «Підручник НТУ «ХПІ», 2014. С. 66.

164. Завод «Київприлад» Управління електротехнічної та приладобудівної промисловості ради народного господарства Київського економічного адміністративного району та його профспілковий комітет. // ДАК. Ф. Р-1000. Оп. 1. 38 арк.

165. Зведений звіт про науково-дослідну роботу вузів МВССО УРСР за 1969 рік // ЦДАВО України. Ф. 4621. Оп. 13. Спр. 1003. 549 арк.

166. Зведений звіт про науково-дослідну роботу вузів Мінвузу УРСР за 1973 рік. Т.1 // ЦДАВО України. Ф. 4621. Оп. 13. Спр. 2241. 420 арк.

167. Зведений звіт про науково-дослідну роботу вузів Мінвузу УРСР за 1973 рік. Т. 2 // ЦДАВО України. Ф. 4621. Оп. 13. Спр. 2242. 199 арк.

168. Зведений звіт про науково-дослідну роботу міністерства за 1963 р. // ЦДАВО України. Ф. 4621. Оп. 4. Спр. 341. 144 арк.

169. Звіт лабораторії електричних вимірів інституту електротехніки АН УРСР з теми «Розробка методів і апаратури для випробування феромагнітних матеріалів у постійному магнітному полі», підготовлений під керівництвом А. Д. Нестеренка. 1953 р. // Архів ІА НБУ імені В. І. Вернадського. Ф. 131. Оп. 2. Спр. 35. 70 арк.

170. Звіт про науково-дослідну роботу Київського політехнічного інституту за 1980 р. // ЦДАВО України. Ф. 4621. Оп. 13. Спр. 5474. 394 арк.

171. Зеркалов Д. В. НТУУ «КПІ». Минуле і сьогодення: монографія. Електрон. дані. Київ: Основа, 2012. 735 с.

172. Зінковський С. Економічні результати діяльності раднаргоспів УРСР. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Історія.* 2014. Вип. 1, т. 3. С. 49–55.

173. Изделия Львовского завода электроизмерительных приборов: Каталог. Львов, Львовский облполиграфиздат, 1976. 63 с.

174. Измерительные информационные системы / И. Я. Каверкин,

Р. С. Ермолов, А. В. Колчин и др. *Тезисы докладов IV Всесоюзной конференции по перспективным направлениям развития приборостроения*. 1975. Ленинград: ВНИИЭП. С. 37–53.

175. Илюнин К. К. (ред.) Справочник по электроизмерительным приборам. Ленинград: Энергоатомиздат, 1983. 784 с.

176. История энергетической техники СССР: т. 2. Электротехника: в 3-х т. / А. Г. Александров и др.: под ред. Л. Д. Белькинда. Москва, Ленинград: Госэнергоиздат, 1957. 728 с.

177. Итоги выполнения плана научно-исслед. работ и подготовки научно-педагогических кадров в вузах Украины за 1978 г. // ЦДАВО України. Ф. 4621. Оп. 13. Спр. 4549. 165 арк.

178. Ігор Вишенчук: пам'яті вченого. *Львівський політехнік*: ДУ «Львів. Політехніка». 1993. 18 жовт. № 13 Львів. С. 5.

179. Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України. Історія. URL: <https://incyb.kiev.ua/institut/about-institute/istoriya> (дата звернення: 01.10.2023).

180. Інструкції до компенсаційного апарату змінного струму типу КП–1,5, моста Томсона технічного, вібраційного вирівнювача і фазорегулятора, розроблені А. Д. Нестеренком. (1938–1944) // Архів ІА НБУ імені В. І. Вернадського. Ф. 131. Оп. 2. Спр. 28. 3 арк.

181. Інформатика в Україні: становлення, розвиток, проблеми. / Сергієнко І. В. Відп. ред.: Капітонова Ю. В., Лебедева Т. Т.; НАН України. Ін-т кібернетики імені В. М. Глушкова. Київ: Наукова думка. 1999. 354 с.

182. Історико-науковий аналіз розвитку приладобудування України як складової машинобудівного комплексу у 80-ті роки ХХ століття [Текст]: дис. канд. іст. наук: 07.00.07 / Анненкова Наталія Георгіївна; Національний технічний ун-т «Харківський політехнічний ін-т». Х., 2005. 191 арк.

183. Історія Академії наук України 1918–1993 / редкол.: Б. Є. Патон та ін. Київ: Наук. думка, 1994. 320 с.

184. Історія Академії наук Української РСР: у 2 кн. / Редкол.: Б. Є. Патон

(голов. ред.) та ін. Київ: Гол. ред. УРЕ, 1967. 835 с.

185. Історія Інституту електродинаміки НАН України. URL: <https://ied.org.ua/files/history-ied.pdf> (дата звернення: 01.10.2023).

186. Історія кафедри ІВТС НТУ «ХПІ». URL: <https://web.kpi.kharkov.ua/iits/uk/istoriya-kafedri/> (дата звернення: 01.11.2022).

187. Історія кафедри інформаційно-вимірювальних технологій. URL: <https://lpnu.ua/ivt/istoriia-kafedry> (дата звернення: 01.11.2022).

188. К 60-летию со дня рождения и 40-летию научной и педагогической деятельности К. Б. Карандеева. *Автометрия*. 1967. № 3. С. 119–120.

189. Карандеев К. Б. Измерительные информационные системы и автоматика. *Вестник АН СССР*, 1961, № 10. С. 52–55.

190. Карандеев К. Б. Инфразвуковая измерительная аппаратура / К. Б. Карандеев, Б. И. Швецкий. *Научные записки Львовского политехнического института*. 1957. Вып. 62. С. 123–129.

191. Карандеев К. Б. Мостовые методы измерений: Теория и расчет электроизмерительных мостовых схем. Киев: Гостехиздат УССР, 1953. 247 с.

192. Карандеев К. Б. О классификации методов электрических измерений. *Электричество*. 1949. № 7. С. 51–55.

193. Карандеев К. Б. Полупроводниковые выпрямители в измерительной технике / К. Б. Карандеев; Академия наук Украинской ССР. Киев: Издательство Академии наук УССР, 1954. 231 с.

194. Карандеев К. Б., Швецкий Б. И. Об автоматических мостах для измерения комплексных сопротивлений. *Вопросы автоматики и измерительной техники*. 1953. Вып. 2. Киев: Изд-во АН УССР. С. 11–17. (Научные записки / Институт машиноведения и автоматики АН УССР; т. 2).

195. Карандеев К. Б. До питання про вимірювання малих напруг постійного струму / К. Б. Карандеев, Є. П. Соголовський. *Доповіді Академії наук Української РСР*. 1954. № 4. С. 296–299.

196. Карибский В. В., Сотсков Б. С. Общая государственная система приборов и технических средств автоматизации. *Стандартизация*. 1962. № 10.

С. 10–14.

197. Каталог електронних вимірювальних приладів: Розробки науково-дослідної лабораторії №1. ЛПІ, Львів, 1961.

198. Кафедра «Автоматические и измерительные устройства» Харьковского политехнического института. Материалы по научно-исследовательской работе кафедры за 1955 г. (планы, сведения, справки) // ДАХО. Ф. Р-1682. Оп. 13. Т. 1. Спр. 164. 23 арк.

199. Кафедра «Інформаційно-вимірювальні технології» Харківського національного університету радіоелектроніки. Історія. URL: <https://mte.nure.ua/info-history.php>. (дата звернення: 10.11.2024).

200. Кафедрі інформаційно-вимірювальних технологій Національного університету «Львівська політехніка»—90 років! *Вимірювальна техніка та метрологія*. 2011. № 72. С. 7–23.

201. Київське виробниче об'єднання «Електроприлад» Міністерства приладобудування, засобів автоматизації та систем управління СРСР. // ДАК. Ф. Р-1270. Оп. 1. 36 арк.

202. Київське виробниче об'єднання «Точелектроприлад» Всесоюзного об'єднання «Союзелектроприлад» Міністерства приладобудування, засобів автоматизації та систем управління СРСР і його профспілковий комітет. // ДАК. Ф. Р-1402. Оп. 1. 192 арк.

203. Київський завод «Радіовимірювач» Міністерства радіопромисловості СРСР. // ДАК. Ф. Р-1301. Оп. 1. 37 арк.

204. Київський завод аналітичних приладів Міністерства приладобудування, засобів автоматизації та систем управління СРСР. // ДАК. Ф. Р-386. Оп. 1. 58 арк.

205. Київський завод електровимірювальної апаратури державного виробничо-технічного тресту «Електромережоізоляція» Міністерства енергетики і електрифікації СРСР. // ДАК. Ф. Р-1303. Оп. 1. 29 арк.

206. Київський завод Точелектроприлад / О. В. Савченко, О. О. Привалов // *Енциклопедія Сучасної України* / редкол.: І. М. Дзюба, А. І. Жуковський,

М. Г. Железняк [та ін.]; НАН України, НТШ. Київ: Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2012, оновл. 2023. URL: <https://esu.com.ua/article-11317>. (дата звернення: 01.05.2023).

207. Київський науково-дослідний інститут мікроприладів Київського виробничого об'єднання «Кристал» Міністерства електронної промисловості СРСР та його профспілковий комітет. Звіти з дослідно-конструкторської та науково-дослідної роботи. 1966–1982 рр. // ДАК. Ф. Р-1484. Оп. 3. 155 арк.

208. Кириленко О. В. До 75-річчя Інституту Електродинаміки НАН України. *Технічна електродинаміка*. 2022. № 3. С. 3–15.

209. Кондалев А. И. Преобразователи формы информации. Київ: Наукова думка, 1965. 176 с.

210. Кондалев А. И. Системные преобразователи формы информации. Киев: Наукова думка, 1974. 336 с.

211. Кондалев А. И., Овчарук М. Е., Сиверский П. М. Некоторые особенности построения структур быстродействующих АЦП на туннельных диодах. *АЦП и ЦАП*. Киев: Ин-т кибернетики АН УССР, 1969. № 1. С. 99–106.

212. Кондалев А. И., Романов В. А., Багацкий В. А., Клочан П. С. Вклад Украины в развитие системных преобразователей формы информации. Труды Междунар. симпозиума «Компьютеры в Европе. Прошлое, настоящее и будущее». Киев: ИК НАН Украины, 1998. С. 140–145.

213. Кондрашов С. І. Історичний нарис кафедри інформаційно-вимірювальних технологій і систем: рукопис. 2011 р. 25 с. Музей кафедри IBT НТУ «ХП». URL: <https://web.kpi.kharkov.ua/iits/uk/pro-kafedru-2/istoriya/muzej-kafedri/> (дата звернення: 01.05.2026).

214. Кондрашов С. І., Тверитникова О. Є. Кафедра «Інформаційно-вимірювальні технології і системи». Історичний нарис. *Вісник НТУ «ХП»*. Харків: НТУ «ХП». 2011. Вип. 57. С. 14–19.

215. Кондрашов С. І., Тверитникова О. Є., Ругаленко Т. В. 60 років кафедрі інформаційно-вимірювальних технологій і систем. 2021. 60 с. Музей кафедри IBT НТУ «ХП». URL: <https://web.kpi.kharkov.ua/iits/uk/pro-kafedru->

2/istoriya/muzej-kafedri/ (дата звернення: 01.05.2026).

216. Копняев П. П. К истории электротехнического факультета ХТИ. *Электротехнический вестник*. 1926. № 1. С. 29–31.

217. Копняев П. П. Электрические измерения. Лекции ХТИ / П. П. Копняев. Харьков: Издание ХТИ, 1903. 92 с.

218. Копняев П. П. Электрические измерения. Пособие для занятий в лаборатории / П. П. Копняев. Харьков: Типография и литография М. Зильберберг, 1910. 284 с.

219. Краткая историческая справка о работе кафедры за 1920–1947 годы. // ДАК. Ф. Р-308. Оп. 12. Спр. 101. 9 арк.

220. Краткий обзор истории Института электротехники АН УССР за 1959 г. составил И. Акаловский // Архів ІА НБУ імені В. І. Вернадського. Ф. 263. Оп. 1. Спр. 273. 40 арк.

221. Крук І. С. Сучасні тенденції розвитку інформаційно-вимірювальних систем накопичення та передавання даних з обчислювальних комплексів пунктів вимірювання витрат газу прикордонних газовимірювальних станцій. *Трубопровід. транспорт*. 2009. № 6. С. 18–20.

222. Лавріненко О. В. А. Д. Нестеренко – видатний вчений у галузі приладобудування та електровимірювальної техніки. *Актуальні проблеми автоматики та приладобудування: матеріали 3-ї Міжнар. наук.-техн. конф. (м. Харків, 3–4 груд. 2020 р.)* / ред. кол. П. О. Качанов [та ін.]; Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т» [та ін.]. Харків: ФОП Панов А. М., 2020. С. 126–127.

223. Лист Карандєєва К. Б., завідувача кафедри електровимірювальних приладів Львівського політехнічного інституту з м. Львів до м. Київ. 29.06.1949. // Архів ІА НБУ імені В. І. Вернадського. Ф. 131. Оп. 2. Спр. 68. 1 арк.

224. Листи керівництва ДСКЗЕП «ЗІП» та ДСЛЗЕП «Вібратор» до А. Д. Нестеренка щодо співпраці. 12.03.1954–14.10.1955. // Архів ІА НБУ імені В. І. Вернадського. Ф. 131. Оп. 2. Спр. 37. 3 арк.

225. Львівський науково-дослідний радіотехнічний інститут / М. В. Лобур // *Енциклопедія Сучасної України* / редкол.: І. М. Дзюба,

А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.]; НАН України, НТШ. Київ: Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2017. URL: <https://esu.com.ua/article-59666>.

226. Ляшуга І. Ю. Формування метрологічних установ України в першій половині ХХ ст. *14-та Всеукраїнська наукова конференція «Актуальні питання історії науки і техніки»: матеріали конф.* Львів, 8–10 жовтня. 2015 р. С. 268–271.

227. Ляшуга, Ірина Юріївна. Науково-організаційні засади розвитку метрологічного забезпечення в Україні (1901 р. - початок ХХІ ст.) [Текст]: дис. канд. іст. наук: 07.00.07 / Ляшуга Ірина Юріївна; Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т», Держ. ун-т інфраструктури та технологій. Київ, 2019. 233 с.

228. Макарчук В., Терлюк І. Львівська політехніка: генеза у контексті змін державної освітньої політики та юридичного статусу (1816–2016 рр.). *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Юридичні науки.* 2017. № 861. С. 35–43.

229. Малиновский Б. Н. История вычислительной техники в лицах. Киев: Фирма «КИТ», ПТОО «А. С. К.», 1995. 384 с.

230. Малиновский Б. Н. Очерки по истории компьютерной науки и техники в Украине. Київ: Феникс, 1998. 452 с.

231. Малиновський Б. М. Відоме і невідоме в історії інформаційних технологій в Україні. Київ: Видавничий дім «Академперіодика», 2001. 214 с.

232. Материалы (отчеты, справки и др.) о творческом содружестве института с предприятиями за 1955 год // ДАК. Ф. Р-308. Оп. 10. Спр. 139. 84 арк.

233. Материалы /автореферат, рецензии, выписки из протоколов и др./ по защите диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук Орнатским П. П. на тему: «Исследование различных схем электронно-ламповых ваттметров и детекторных фазометров» состоявшейся 4 июля 1949 года. // ДАК. Ф. Р-308. Оп. 9. Спр. 100. 157 арк.

234. Материалы о научных связях Института электродинамики АН УССР с зарубежными организациями за 1963 г. // Архів ІА НБУ імені

В. І. Вернадського. Ф. 263. Оп. 1. Спр. 446. 26 арк.

235. Матеріали о научных связях с зарубежными организациями (отчеты, справки, переписка) Института электродинамики АН УССР за 1968 г. // Архів ІА НБУ імені В. І. Вернадського. Ф. 263. Оп. 1. Спр. 690. 27 арк.

236. Матеріали о научных связях с зарубежными организациями (программы, информация и переписка) Института электродинамики АН УССР за 1964 г. // Архів ІА НБУ імені В. І. Вернадського. Ф. 263. Оп. 1. Спр. 485. 12 арк.

237. Мельник В. Г., Швець Т. В. Автоматический низкочастотный высоковольтный измеритель тангенса угла потерь диэлектриков. *Технічна електродинаміка*. 1997. № 4. С. 63–66.

238. Милях А. М., Кирпатовский С. И. Из истории становления и развития теоретических основ электротехники на Украине. *Теоретическая электротехника: сб. научн. тр. Львов: Издательство Львовского Университета*, 1967. Вып. № 3. С. 3–15.

239. Милях А. Н., Чиженко И. М., Шидловский А. К. Развитие электротехнической науки на Украине. *Техническая электродинамика*, 1980. № 6. С. 13–24.

240. Михалик В., Лемко И. Львів повсякденний (1939–2009). Львів: «Апріорі», 2009. 240 с.

241. Музей кафедри. Кафедра «Інформаційно-вимірювальні технології» НТУ «ХПІ» : вебсайт. URL: <https://web.kpi.kharkov.ua/iits/uk/pro-kafedru-2/istoriya/muzej-kafedri/> (дата звернення: 20.03.2026).

242. Нарис історії приладобудування України: еволюція, сучасний стан : монографія / Н. Г. Анненкова, І. Є. Александрова, Л. М. Бесов Харків: НТУ «ХПІ», 2009. 212 с.

243. Наукова школа – Методи підвищення точності вимірювальних пристроїв. URL: <https://ivt.kpi.ua/science-school-mptvp/> (дата звернення: 01.11.2022).

244. Наукове видання до 60-річчя радіотехнічного факультету – Інституту телекомунікацій, радіоелектроніки та електронної техніки / За ред.

І. Н. Прудюса, О. В. Шишки. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. 324 с.

245. Науково-організаційні засади розвитку метрологічного забезпечення в Україні (1901 р. – початок ХХІ ст.) [Текст]: дис. канд. іст. наук: 07.00.07 / Ляшуга Ірина Юріївна; Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т», Держ. ун-т інфраструктури та технологій. Київ, 2019. 233 арк.

246. Наухатько А. Г. Справочник по комбинированным электроизмерительным приборам. Киев: Техника, 1990. 208 с.

247. НДКІ ЕЛВІТ. Історія інституту. URL: <https://lpnu.ua/ndki-elvit/istoriia-instytutu> (дата звернення: 10.08.2025).

248. Невмержицкий Н. И. Основные вехи становления и жизни Житомирского производственного объединения «Электроизмеритель» (1956–1991 годы) / Н. И. Невмержицкий, Е. С. Грижбовский, Л. П. Седова. Житомир, 2003. 138 с.

249. Нестеренко А. Д. на закордонній конференції (фотознімок) листопад 1958 р. Венгрия // Архів ІА НБУ імені В. І. Вернадського. Ф. 131. Оп. 2. Спр. 26. 1 арк.

250. Нестеренко А. Д. Основы расчета электроизмерительных схем уравновешивания: учебное пособие. Киев: Изд. АН УССР, 1960. 716 с.

251. Нестеренко А. Д. серед учасників Всесоюзної наради з електровиміральної техніки, м. Київ, КПП (фотознімок) // Архів ІА НБУ імені В. І. Вернадського. Ф. 131. Оп. 2. Спр. 27. 2 арк.

252. Нестеренко А. Д., Орнатский П. П. Детали и узлы приборов: расчет и конструирование. К.: Гостехиздат УССР, 1958; 1961; 1963; 1965. 375 с.

253. Нестеренко А. Д. Фотопортрет (1940 р.) Оригінал. Фотознімок // Архів ІА НБУ імені В. І. Вернадського. Ф. 131. Оп. 2. Спр. 23. 6 арк.

254. Новик А. И., Будницкая Е. А. О свойствах трансформаторной мостовой цепи с короткозамкнутым компаратором токов. *Автометрия*. 1969. № 4. С. 72–77.

255. О создании в г. Житомире Специального конструкторско-

технологического бюро комбинированных приборов: Приказ Минприбора СССР от 22 сент. 1976 г. № 317 (приложение 10).

256. Орнатский П. П. Автоматические измерения и приборы (аналоговые и цифровые) 5-е изд., перераб. и доп. К.; Вища шк. Головное изд-во, 1986. 504 с.

257. Орнатский П. П. Автоматические измерительные приборы: аналоговые и цифровые. Учебник, Киев: Техніка, 1965, 426 с.

258. Орнатский П. П. Введение в методологию науки про измерения. Учебное пособие. К: ІСЛО, 1994. 160 с.

259. Орнатский П. П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. – 2-е изд. Киев: Вища школа, 1983. 455 с.

260. Основы безбумажной информатики / В. М. Глушков. – [изд. 2-е, испр.]. М.: Наука, Глав. ред. физ.-мат. лит-ры, 1987. 552 с.

261. Особова справа А. Д. Нестеренка // Архів ІА НБУ імені В. І. Вернадського. Ф. 131. Оп. 2. Спр. 6. 93 арк.

262. Особова справа Окулов Петро Володимирович // ЦДАВО України. Ф. 166. Оп. 12 ос. Спр. 5525. арк. 19.

263. Особова справа Таранова Сергія Глібовича (1936–2015) – член-кор. // Науковий архів Президії НАН України. Ф. 251. Оп. 662. Спр. 76. 127 арк.

264. Особова справа члена-кореспондента АН УССР Гриневича Феодосія Борисовича (1922–2014) – член-кор., акад. // Науковий архів Президії НАН України. Ф. 251. Оп. 662. Спр. 19. 97 арк.

265. Особова справа члена-кореспондента АН УССР Карандєєва Костянтина Борисовича (поч. 23.01.1957 р. – зак. 21.09.1969 р.) // Науковий архів Президії НАН України. Ф. 251. Оп. 543. Спр. 3. 291 арк.

266. Особова справа члена-кореспондента АН УССР Нестеренка Анатолія Дмитровича (поч. 8.09.1944 р. – зак. 30.09.1975 р.) // Науковий архів Президії НАН України. Ф. 251. Оп. 574. Спр. 10. 195 арк.

267. Отчет о научной и научно-организационной деятельности ордена Ленина Института кибернетики АН УССР за 1977 год. // Архів ІК імені В. М. Глушкова НАН України. Оп. 1. Спр. 1741. 258 арк.

268. Отчет о научной и научно-организационной деятельности ордена Ленина Института кибернетики АН УССР за 1980 год // Архів ІК імені В. М. Глушкова НАН України. Оп. 1. Спр. 1775. 375 арк.

269. Отчет о научно-исследовательской работе института за 1947 г. // ДАК. Ф. Р-308. Оп. 10. Спр. 21. 209 арк.

270. Отчет о научно-исследовательской работе института за 1956/1957 уч. год // ДАК. Ф. Р-308. Оп. 10. Спр. 167. 72 арк.

271. Отчет о научно-исследовательской работе института за 1958 год // ДАК. Ф. Р-308. Оп. 10. Спр. 214. 97 арк.

272. Отчет о научно-исследовательской работе института за 1959 год // ДАК. Ф. Р-308. Оп. 10. Спр. 232. 91 арк.

273. Отчет о научно-исследовательской работе института за 1960 г. // ДАК. Ф. Р-308. Оп. 10. Спр. 250. 155 арк.

274. Отчет о научно-исследовательской работе института за 1961 г. // ДАК. Ф. Р-308. Оп. 10. Спр. 267. 119 арк.

275. Отчет о научно-исследовательской работе института за 1964 г. // ДАК. Ф. Р-308. Оп. 10. Спр. 316. 119 арк.

276. Отчет о научно-исследовательской работе исследовательской группы кафедры ИИТ за 1971 г. // ДАК. Ф. Р-308. Оп. 26. Спр. 53. 6 арк.

277. Отчет о научно-исследовательской работе факультета автоматики и электроприборостроения Киевского политехнического института за 1975 г. // ДАК. Ф. Р-308. Оп. 26. Спр. 93. 74 арк.

278. Отчет о поступлении и внедрении изобретений и рационализаторский предложений за 1967 г. // ДАК. Ф. Р-1402. Оп. 1. Спр. 717. 4 арк.

279. Отчет по ОКР «Разработка ряда программ для аппаратного комплекса проектирования БИС на основе ЭВМ «БЭСМ-6». «Клемма-2». 1976 г. // ДАК. Ф. Р-1484. Оп. 3. Спр. 176. 185 арк.

280. Отчет по теме «Разработка практических методов синтеза измерительных устройств с использованием ЦВМ» (Том III за 1965 год) // Архів ІК імені В. М. Глушкова НАН України. Оп. 2. Спр. 644. 109 арк.

281. Отчетный доклад об итогах научно-исследовательской работы Львовского политехнического института за 1959 г. // ДАЛО. Ф. Р-120. Оп. 6. Спр. 86. 39 арк.

282. Отчеты лабораторий кафедр Харьковского политехнического института по НИР за 1974 г. // ДАХО. Ф. Р-1682. Оп. 14. Т. 1. Спр. 753. 201 арк.

283. Отчеты о выполнении производственного плана за 1957 год. ВАТ «Електровимірювач», м. Житомир. // Державний архів Житомирської області. Ф. Р-4980. Оп. 1. Спр. 6. 142 арк.

284. Пам'яті видатного вченого Львівської політехніки професора Ігоря Вишенчука. 2023. URL: <https://lpnu.ua/news/pamiaty-vydatnoho-vchenoho-lvivskoi-politekhniky-profesora-ihoria-vyshenchuka> (дата звернення: 25.05.2024).

285. Переписка с Мин. эл.-промыш. СССР, Главэле.точ.приб. МЭП СССР, по вопросам себ. прод., движ. выпуска эл.измерит.приб. 2 янв.-31 дек. 1951 г. // ДАК. Ф. Р-1402. Оп. 1. Спр. 72. 47 арк.

286. Перспективный план НИР на 1966–1970 г. Кафедра измерительных устройств. КПИ. // ДАК. Ф. Р-308. Оп. 26. Спр. 8. 16 арк.

287. План и отчет о научно-исследовательской работе кафедры ИИТ КПИ за 1971 г. // ДАК. Ф. Р-308. Оп. 26. Спр. 52. 30 арк.

288. Показатели выполнения производственного плана за 1960 год. ВАТ «Електровимірювач», м. Житомир. // Державний архів Житомирської області. Ф. Р-4980. Оп. 1. Спр. 43. 66 арк.

289. Полулях К. С. Испытания высокостабильных высокочастотных конденсаторов на эффект мерцания: автореф. дис. канд. техн. наук. Ленинград: ЛЭТИ, 1953. 8 с.

290. Полулях К. С. Электронные измерительные приборы (аналоговые и цифровые): учеб. пособие для вузов. М.: Высш. шк. 1966. 400 с.

291. Полулях К. С. Электронные измерительные приборы. Харьков: Изд-во Харьк. ун-та, 1963. 312 с.

292. Полулях К. С. Электронные резонансные измерительные приборы: учебное пособие для электро-технических и радиотехнических факультетов вузов УССР. Харьков: Изд-во Харьк. ун-та. 1961. 138 с.

293. Полулях К. С., Гусельников В. К. К теории бигенераторных аналого-цифровых преобразователей физических величин. Метрология. 1983. № 7. С. 10–14.

294. Постанова РМ УРСР «Про утворення в складі академії наук УРСР науково-дослідних інститутів теплоенергетики та електротехніки» // Науковий архів Президії НАН України. Ф. 251. Оп. 1. Спр. 247. Арк. 108–109.

295. Приборы и средства автоматизации. Отраслевой каталог. Часть 3. Электроизмерительные приборы и системы. Москва: ЦНИИТЭИприборостроения, 1986. 181 с.

296. Про Всеукраїнську Міжурядницьку Комісію заведення метричної системи міри й ваги в УСРР: ст. 77 // *Збірник узаконень та розпоряджень робітничо-селянського уряду України за 1926 рік* / Народний комісаріат юстиції. Харків: Укрголовліт, 1926. С. 131–134.

297. Проспекти на виробництво різних електроприладів та публікацію наукових праць, зібрані А. Д. Нестеренком (19.09.1938–1971). // Архів ІА НБУ імені В. І. Вернадського. Ф. 131. Оп. 2. Спр. 92. 204 арк.

298. Протоколы № 3–13 секции приборостроения РДЭНТП 28 января – 19 декабря 1977 г. // ЦДАВО України. Ф. 5134. Оп. 1. Спр. 388. 61 арк.

299. Професор Г. Г. Де Метц. Опис спорудження та обладнання фізичної лабораторії при Київському політехнічному інституті імператора Олександра II 1898–1903. Київ, 1903.

300. Пятилетний план НДР каф. на 1945-1950 г. (Електричних вимірювань, електроматеріалів та світлотехніки) // ДАК. Ф. Р-308. Оп. 12. Спр. 62. 10 арк.

301. Пятилетний план развития завода за 1976–1980 годы. Житомирский завод «Электроизмеритель» // Державний архів Житомирської області. Ф. Р-4980. Оп. 1. Спр. 357. 124 арк.

302. Рабочий проект информационно-измерительной системы стенда № 10 АСКИО х/д № 096 79 г. 1984. ДСП // Архів ІК імені В. М. Глушкова НАН України. Оп. 2. Спр. 5618. 112 арк.

303. Развитие электротехники в СССР / под общ. ред. А. Г. Иосифьяна.

Москва: Центр. ин-т науч.-техн. информации приборостроения, электропромышленности и средств автоматизации, 1962. 388 с.

304. Результати наукової діяльності кафедри ІВТ. 2016. 6 с. URL: https://old.lpnu.ua/sites/default/files/attach/2016/1331/ivt.naukova_robota.pdf (дата звернення: 15.12.2023).

305. Робак І. Ю., Демочко Г. Л. Винахідництво на службі вітчизняної військової медицини в перше десятиліття сучасної російсько-української війни: історія розробок і впроваджень на догоспітальному етапі. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: історичні науки*. Том 36 (75). № 1 2025. 406 с. С. 128–134. DOI: <https://doi.org/10.32782/2663–5984.2025/1.19>.

306. Розвиток метрологічної вимірювальної техніки в Україні в останній чверті ХХ ст. [Текст]: дис. канд. іст. наук: 07.00.07 / Храмова-Баранова Олена Леонідівна; Черкаський держ. технологічний ун-т. Черкаси, 2003. 209 арк.

307. Рукописи статей работников завода, подготовл. для печати за 1953 г. // ДАК. Ф. Р-1402. Оп. 1. Спр. 134. 103 арк.

308. Слово про вченого і педагога: виповнилося 100 років з дня народження професора Бенціона Швецького. URL: <https://lpnu.ua/news/vypovnylosia-100-rokiv-z-dnia-narodzhennia-bentsiona-shvetskogo> (дата звернення: 20.10.2022).

309. Современные цифроаналоговые преобразователи (Промежуточный отчет по теме ДЕ-0470.002) 1980 г. // Архів ІК імені В. М. Глушкова НАН України. Оп. 2. Спр. 4270. 43 арк.

310. Солнцев В. С., Смертенко П. С. Науковий внесок Вадима Євгеновича Лашкарьова у розвиток фізики і техніки напівпровідників (до 120-річчя від дня народження). *Science and Science of Science*. 2023. № 3 (121). С. 166–185. DOI: <https://doi.org/10.15407/sofs2023.03.166>.

311. Сотсков Б. С. Тенденции и перспективы развития основ построения ГСП. *Приборы и системы управления*. 1972. № 8. С. 4–7.

312. Список лауреатов Государственной премии СССР в области науки и техники в период с 1976 по 1980 г. URL: <https://w.wik/JHqa>.

313. Спогади К. С. Полуляха. Рукопис. 27 с. Музей кафедри ІВТ НТУ «ХПІ». URL: <https://web.kpi.kharkov.ua/iits/uk/pro-kafedru-2/istoriya/muzej-kafedri/> (дата звернення: 25.04.2026).

314. Способ измерения магнитострикционных свойств цилиндрических тонких магнитных пленок: авт. св. 324594 СССР: МКИ G 01r 33/18 / К. С. Полулях, П. И. Татарский, Ю. И. Раздовский [и др.]. № 1420034/18–10; заявл. 24.03.70; опубл. 23.12.71, Бюл. № 2.

315. Способ контроля магнитострикции цилиндрических тонких магнитных пленок: авт. св. 412575 СССР: МКИ G 01 r 33/18 / П. И. Татарский, Л. Г. Темник; заявитель Харьковский политехнический институт. № 1776303/18–10; заявл. 21.04.72; опубл. 25.01.74, Бюл. № 3.

316. Справка о научно-исследовательской работе факультетов Киевского политехнического института за 1958 г. // ДАК. Ф. Р-308. Оп. 10. Спр. 214. 97 арк.

317. Справка от 30.05.1945 г. о деятельности ХЭТИ за 1930–1945 гг. // ДАХО. Ф. Р-5404. Оп. 2. Спр. 42. 12 арк.

318. Становлення та розвиток теоретичної електротехніки як науки та навчальної дисципліни на теренах України у 30-ті рр. ХХ ст. – початок ХХІ ст. [Текст]: дис. канд. іст. наук: 07.00.07 / Лавріненко Ольга Валеріївна; НАН України, ДУ «Ін-т досліджень наук.-техн. потенціалу та історії науки імені Г. М. Доброва НАН України». Київ, 2021. 238 арк.

319. Студентське проектно-конструкторське бюро: 60 років на розвиток Львівської політехніки. URL: <https://lpnu.ua/news/spkb-60-rokiv-na-rozvytok-lvivskoi-politekhniky> (дата звернення: 01.10.2025).

320. Сурду М. Н., Мельник В. Г., Могилевский В. М. и др. Структура и алгоритм работы универсального экстремального микропроцессорного моста переменного тока Р5084. *Техн. электродинамика*. 1985. № 5. С. 100–105.

321. Тверитникова О. Є. Електротехнічна галузь України другої половини ХХ ст.: напрями розвитку і здобутки: монографія / Відп. ред. В. М. Скляр. Харків: «Тим Пабліш Груп», 2017. 500 с.

322. Тверитникова О. Є. Зародження і розвиток науково-технічної школи електротехніки професора П. П. Копняєва (1885–1950 рр.): монографія. Харків.

НТУ «ХПІ». 2010. 212 с.

323. Тверитникова О. Є. Становлення напряму електровимірювального приладобудування в Харківському політехнічному інституті (1950–1960 рр.) // *Історія науки і техніки: зб. наук. пр.* Київ: ДЕТУТ, 2013. Вип. 3. С. 143–148.

324. Тематика дисс. работ на 1972 г. // ДАК. Ф. Р-308. Оп. 26. Спр. 66. 17 арк.

325. Теоретические основы информационно-измерительных систем: учебник / В. П. Бабак, С. В. Бабак, В. С. Еременко [и др.]. Киев: София-А, 2014. 832 с.

326. Трудова книжка (трудовий список за 1945–1955 рр.). 23 травня 1947 р. Оригінал. Друкарський відбиток з рукописними вставками. // Інститут архівознавства Національної бібліотеки України імені В. І. Вернадського. Ф. 131. Оп. 2. Спр. 7. Арк. 2–3.

327. Филимонов И. А. Поднять советское электроприборостроение!. *Электричество*. 1939. № 7. С. 12–14.

328. Хитровська Ю. Організація, особливості проведення та значення виробничої практики у Київській політехніці наприкінці 1920-х – на початку 1930-х рр. *Сторінки історії*. 2023. Вип. 56. С. 147–160. DOI: <https://doi.org/10.20535/2307-5244.56.2023.288775>.

329. Хіхло В. Ю. Особливості розвитку електровимірювальної техніки в Україні (1960–1980-ті рр.). *Дослідження з історії і філософії науки і техніки*. 2025. Вип. 34.1. С. 143–154. DOI: <https://doi.org/10.15421/272514>.

330. Хіхло В. Ю. Розвиток інформаційно-вимірювальних систем у 1970-х – 1980-х рр. та організація наукової роботи українських учених над їх вдосконаленням. *Історія науки і біографістика*. Вип. 4. Київ: Національна наукова сільськогосподарська бібліотека Національної академії аграрних наук України, 2025. С. С. 114–129. DOI: <https://doi.org/10.31073/istnauka202504-08>.

331. Хіхло В. Ю. Витоки зародження електровимірювальної техніки в Україні (друга половина XIX ст. – початок XX ст. *Автоматизація, електроніка, інформаційно-вимірювальні технології: освіта, наука, практика: матеріали 4-ї Міжнародної науково-технічної конференції, 1–2 грудня 2022 р.* Харків: НТУ

«ХП», 2022. С. 222–223.

332. Хіхло В. Ю. Вчений у галузі електронного приладобудування: професор К. С. Полулях (до 100-річчя зі дня народження). *Матеріали 29-ї Всеукраїнської наукової конференції молодих істориків науки, техніки і освіти та спеціалістів за темою: «Наука для відбудови України», 19 квітня 2024 р.* Київ, 2024. С. 228–232.

333. Хіхло В. Ю. До історії становлення та розвитку галузі електровимірювальної техніки в Україні у ХХ ст. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей 32-ї Міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD–2024, 22–25 травня 2024 р.* Харків: НТУ «ХП», 2024. С. 1100.

334. Хіхло В. Ю. До історії створення вимірювальних мостів в Україні. *Актуальні питання історії науки і техніки. Матеріали 22-ї Всеукраїнської наукової конференції.* Київ: Державний політехнічний музей імені Бориса Патона при КПІ імені Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2023. С. 189–192.

335. Хіхло В. Ю. До історії створення Міжнародної системи електричних одиниць упродовж ХІХ ст. *Матеріали 18-ї Всеукраїнської наукової конференції молодих учених та спеціалістів за темою: «Історія освіти, науки і техніки в Україні. Історія науки і техніки у кризові періоди суспільного розвитку», 14 квітня 2023 р.* Київ, 2023. С. 273–276.

336. Хіхло В. Ю. Етапи розвитку електровимірювальної техніки в Україні у ХХ ст. *Україна і світ: гуманітарно-технічна еліта та соціальний прогрес: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів і аспірантів.* Харків: НТУ «ХП», 2024. С. 492–493.

337. Хіхло В. Ю. кер. Тверитникова О. Є. Розвиток програмно-апаратних засобів вимірювання в Україні (друга половина ХХ ст.). *Матеріали 16-ї Міжнародної науково-технічної конференції студентів та аспірантів «Перспективи розвитку інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем» ПРИТС 2024.* Київ: КПІ імені Ігоря Сікорського, 2024. С. 322.

338. Хіхло В. Ю. Підготовка інженерів з електровимірювальної техніки на теренах України упродовж ХХ ст. *Автоматизація, електроніка,*

інформаційно-вимірювальні технології: освіта, наука, практика : матеріали 5-ї Міжнародної науково-технічної конференції, 28-29 листопада 2024 р. Харків, 2024. С. 283–284.

339. Хіхло В. Ю. Становлення електровимірювального приладобудування в Україні на тлі розвитку світової електротехніки (наприкінці XIX ст. – 60-ті рр. XX ст.). *Актуальні питання у сучасній науці. Серія «Історія та археологія»*. 2024. № 8 (26). С. 1268–1280. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-6300-2024-8\(26\)-1268-1280](https://doi.org/10.52058/2786-6300-2024-8(26)-1268-1280).

340. Хіхло В. Ю. Уніфікація в електроприладобудуванні наприкінці 60-х рр. – середині 70-х рр. XX ст. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей 32-ї Міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2025, 14-17 травня 2025 р. Харків: НТУ «ХПІ», 2025. С. 1282.*

341. Хіхло В. Ю. Доробок конструкторів київського заводу «Точелектроприлад»: створення спеціального електровимірювального обладнання. *Матеріали 23-ї Всеукраїнської наукової конференції «Актуальні питання історії науки і техніки»*. Київ, 2024. С. 207–210.

342. Хіхло В. Ю. Електровимірювальне приладобудування у Київському політехнічному інституті (перша половина XX ст.) *Матеріали 30-ї Міжнародної наукової конференції молодих істориків науки, техніки і освіти та спеціалістів за темою: «Наука для справедливого миру в Україні», 25 квітня 2025 р. Київ, 2025. С. 249–253.*

343. Хоменко Л. Г. История отечественной кибернетики и информатики. Этапы накопления научного наследия и опыта информатизации общества. К.: Ин-т кибернетики им. В. М. Глушкова НАН Украины, 1998. 455 с.

344. Храмова-Баранова О. Л. Історія прикладної метрології в Україні (XVII – середина XX ст.) / Відп. ред. Ю. О. Храмов. Черкаси. 2010. 282 с.

345. Храмова-Баранова О. Л. Історія розвитку квантової і прецизійної метрології в другій половині XX ст. / О. Л. Храмова-Баранова // *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Сер.: Історія науки і техніки. 2013. № 10. С. 160–165.

346. Хренов К. К. Вклад украинских ученых в развитие советской науки и техники. Известия АН СССР, 1954. № 1. С. 3–13.

347. Цапенко, М. П. Измерительные информационные системы: учебное пособие для вузов / М. П. Цапенко. М.: Энергия, 1974. 319 с.

348. Царенко О. М., Садовий М. І. Внесок українських учених у розвиток науки про напівпровідники. *Наукові записки ЦДПУ. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти* / ред. кол. С. П. Величко [та ін.]. Кропивницький: ЦДПУ ім. В. Винниченка, 2017. Вип. 12, ч. 2. С. 123–129.

349. Черкаський М. В. Школа Швецького. *Комп'ютерні системи та мережі*, 2003. № 492. 10 с.

350. Шидловский А. К., Таранов С. Г., Брайко В. В., Гринберг И. П., Карасинский О. Л., Хусид Р. Б., Невмержицкий А. М., Цыганок А. М., Ящук В. А., Тесик Ю. Ф. Procédé de mesure des composantes symétriques des tension d4in secteur poliphasé et dispositif pour la mise en oeuvre de ce procédé. / Патент Франции 2531540, G 01R19/06. G O IR 19/25.10.02.84. BOPI "Breveis". 1984. № 6.

351. Шидловский А. К., Таранов С. Г., Гринберг И. П., Брайко В. В., Карасинський О. Л., Тесик Ю. Ф. Method of detecting symmetrical components of supply line three phase voltage and de\дce for carrying out same. / Патент США № 4451783. G01R29/16. 1984.

352. Электротехнический факультет (к 20-летию существования) // *Киевский индустриальный институт. Юбилейный сборник к 40-летию института*. Киев: Книжная фабрика Госполитиздата при СНК УССР, 1939. С. 159–168.

353. Якимович, Б. З. Історія електрифікації міст України (кінець ХІХ – початок ХХ ст.). Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2010. С. 78–85.

354. Яремчук Н. А., Туз Ю. М. Згадуючи Вчителя. До 100-річчя від дня народження Петра Павловича Орнатського. *Київський політехнік*, 2018, № 9. С. 7.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А
СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ В. Ю. ХІХЛА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації у виданнях, включених до переліку фахових видань України (категорія «Б»)

1. Хіхло В. Ю. Становлення електровимірювального приладобудування в Україні на тлі розвитку світової електротехніки (наприкінці XIX ст. – 60-ті рр. XX ст.). *Актуальні питання у сучасній науці. Серія «Історія та археологія»*. 2024. № 8 (26) 2024. С. 1268–1280. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-6300-2024-8\(26\)-1268-1280](https://doi.org/10.52058/2786-6300-2024-8(26)-1268-1280).

2. Хіхло В. Ю. Особливості розвитку електровимірювальної техніки в Україні (1960–1980-ті рр.). *Дослідження з історії і філософії науки і техніки*. 2025. Вип. 34.1. С. 143–154. DOI: <https://doi.org/10.15421/272514>.

3. Хіхло В. Ю. Розвиток інформаційно-вимірювальних систем у 1970-х – 1980-х рр. та організація наукової роботи українських учених над їх вдосконаленням. *Історія науки і біографістика*. Вип. 4. Київ: Національна наукова сільськогосподарська бібліотека Національної академії аграрних наук України, 2025. С. С. 114–129. DOI: <https://doi.org/10.31073/istnauka202504-08>.

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

4. Хіхло В. Ю. Витоки зародження електровимірювальної техніки в Україні (друга половина XIX ст. – початок XX ст. *Автоматизація, електроніка, інформаційно-вимірювальні технології: освіта, наука, практика: матеріали 4-ї Міжнародної науково-технічної конференції, 1–2 грудня 2022 р.* Харків: НТУ «ХПІ», 2022. С. 222–223. URI: <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/8f8dd142-a840-401a-8afa-907273fd6bc1/content>

5. Хіхло В. Ю. До історії створення Міжнародної системи електричних одиниць упродовж XIX ст. *Матеріали 18-ї Всеукраїнської наукової конференції молодих учених та спеціалістів за темою: «Історія освіти, науки і техніки в Україні. Історія науки і техніки у кризові періоди суспільного розвитку»*,

14 квітня 2023 р. Київ, 2023. С. 273–276. URI: <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/73124>

6. Хіхло В. Ю. До історії створення вимірювальних мостів в Україні. *Актуальні питання історії науки і техніки. Матеріали 22-ї Всеукраїнської наукової конференції*. Київ: Державний політехнічний музей імені Бориса Патона при КПІ імені Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2023. С. 189–192.

7. Tverytnykova Elena, Khikhlo Vadym. The influence of information technologies on the development of measurement tools and methods in Ukraine (second half of the 20th century). *IEEE Sixth International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo)*. (Scopus) 2023. DOI: <https://doi.org/10.1109/UkrMiCo61577.2023.10380337>.

8. Хіхло В. Ю. кер. Тверитникова О. Є. Розвиток програмно-апаратних засобів вимірювання в Україні (друга половина XX ст.). *Матеріали 16-ї Міжнародної науково-технічної конференції студентів та аспірантів «Перспективи розвитку інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем» ПРІТС 2024*. Київ: КПІ імені Ігоря Сікорського, 2024. С. 322. URI: <https://conferenc.its.kpi.ua/2024/paper/view/29975>

9. Хіхло В. Ю. Вчений у галузі електронного приладобудування: професор К. С. Полулях (до 100-річчя зі дня народження). *Матеріали 29-ї Всеукраїнської наукової конференції молодих істориків науки, техніки і освіти та спеціалістів за темою: «Наука для відбудови України», 19 квітня 2024 р.* Київ, 2024. С. 228–232. URI: <https://repository.kpi.kharkov.ua/items/8814e927-31ba-4204-8dbf-d4a2709bab9e>

10. Хіхло В. Ю. Етапи розвитку електровимірювальної техніки в Україні у XX ст. *Україна і світ: гуманітарно-технічна еліта та соціальний прогрес: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів і аспірантів*. Харків: НТУ «ХПІ», 2024. С. 492–493. URI: <https://repository.kpi.kharkov.ua/items/f5703143-04df-4342-8293-222a5c1130ba>

11. Хіхло В. Ю. До історії становлення та розвитку галузі електровимірювальної техніки в Україні у XX ст. *Інформаційні технології: наука,*

техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей 32-ї Міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD–2024, 22–25 травня 2024 р. Харків: НТУ «ХПІ», 2024. С. 1100. URI: <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/03cc11b5-16db-4400-89cf-e58c5367eb1a/content>

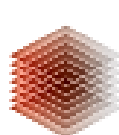
12. Хіхло В. Ю. Доробок конструкторів київського заводу «Точелектроприлад»: створення спеціального електровимірювального обладнання. *Матеріали 23-ї Всеукраїнської наукової конференції «Актуальні питання історії науки і техніки»*. Київ, 2024. С. 207–210. URI: <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/7bd6609d-5225-4442-ae69-6c70a659684d/content>

13. Хіхло В. Ю. Підготовка інженерів з електровимірювальної техніки на теренах України упродовж XX ст. *Автоматизація, електроніка, інформаційно-вимірювальні технології: освіта, наука, практика : матеріали 5-ї Міжнародної науково-технічної конференції, 28-29 листопада 2024 р.* Харків, 2024. С. 283–284. URI: <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/470fb581-46cf-4b33-9379-43c2fe682d8d/content>

14. Хіхло В. Ю. Електровимірювальне приладобудування у Київському політехнічному інституті (перша половина XX ст.) *Матеріали 30-ї Міжнародної наукової конференції молодих істориків науки, техніки і освіти та спеціалістів за темою: «Наука для справедливого миру в Україні», 25 квітня 2025 р.* Київ, 2025. С. 249–253.

15. Хіхло В. Ю. Уніфікація в електроприладобудуванні наприкінці 60-х рр. – середині 70-х рр. XX ст. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей 32-ї Міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2025, 14-17 травня 2025 р.* Харків: НТУ «ХПІ», 2025. С. 1282.

ДОДАТОК Б
ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ



TIB LEIBNIZ INFORMATION CENTRE
FOR SCIENCE AND TECHNOLOGY
UNIVERSITY LIBRARY



CERTIFICATE

This is to certify that

Vadym Khikhlo

is participating in the implementation of the
"Open Educational Resources with Ukraine"
project from June 1, 2022, to June 30, 2025

He completed the Advanced Training in OER Video Lecture Preparation
and produced the course:
"History of Science and Technology"

He has been awarded 1 ECTS credits (30 hours)
for developing OER digital educational materials

This certifies that the "Open Educational Resources with Ukraine" project is funded by the German Academic Exchange Service (DAAD) with support from the German Federal Ministry of Education and Research under the program line "Ukraine Digital: Ensuring Academic Success in Times of Crisis." It is being implemented by six higher education institutions from Ukraine, in collaboration with Leibniz University Hannover and TIB – Leibniz Information Center for Science and Technology in Germany. All project materials are published on the "OER with Ukraine" channel on the TIB AV-Portal, an open web-based platform for sharing academic videos.



Director of the TIB – Leibniz Information
Center for Science and Technology
L3S Research Center (LUH)
Professor for Data Science
and Digital Libraries (LUH)

Sören Auer

Prof. Dr. Sören Auer



Deutscher Akademischer Austauschdienst
for the Academic Exchange Service



Federal Ministry
of Education
and Research

Certificate No OER-045UA
02.04.2025

ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший проректор з науково-педагогічної роботи
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»
доктор технічних наук, професор



Руслан _____ Руслан МИГУЩЕНКО

квітень _____ 2026 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів дисертаційної роботи аспіранта
кафедри українознавства, культурології та історії науки
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»

Хіхла Вадима Юрійовича

на тему: «Формування та системна організація науково-виробничого
кластеру електровимірювальної техніки в Україні (1946 р. – 1991 р.)»

Результати дисертаційної роботи В. Ю. Хіхла «Формування та системна організація науково-виробничого кластеру електровимірювальної техніки в Україні (1946 р. – 1991 р.)», використовуються в навчальному процесі Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» на кафедрі українознавства, культурології та історії науки. Зокрема під час викладання загальних дисциплін «Історія науки і техніки» (бакалавр), «Історія «НТУ «ХПІ»» та «Історія української науки і техніки» (ОНП «Історія науки та українознавство», підготовка PhD) залучено інформацію щодо особливостей системної організації науково-виробничого кластеру електровимірювальної техніки, його структури, діяльності наукових шкіл, підприємств; використано відомості щодо формування та становлення наукового напрямку електровимірювальної техніки в Харківському політехнічному інституті, запроваджено в навчальний процес матеріали наукових біографій харківських учених-приладобудівників та їх внесок у формування та розвиток галузі.

Завідувачка кафедри
українознавства, культурології
та історії науки НТУ «ХПІ»
докторка технічних наук, професорка

Олена _____ Олена ТВЕРИТНИКОВА

ДОДАТОК В
МІЖНАРОДНИЙ КОНГРЕС ЕЛЕКТРИКІВ

ANNEXE I

- 1° On adoptera pour les mesures électriques les unités fondamentales : centimètre, masse du gramme, seconde (C. G. S.) ;
- 2° Les unités pratiques, l'*Ohm* et le *Volt*, conserveront leurs définitions actuelles : 10^9 pour l'*Ohm* et 10^8 pour le *Volt* ;
- 3° L'unité de résistance (*Ohm*) sera représentée par une colonne de mercure d'un millimètre carré de section à la température de zéro degré centigrade ;
- 4° Une Commission internationale sera chargée de déterminer, par de nouvelles expériences, pour la pratique, la longueur de la colonne de mercure d'un millimètre carré de section à la température de zéro degré centigrade, qui représentera la valeur de l'*Ohm* ;
- 5° On appelle *Ampère* le courant produit par un *Volt* dans un *Ohm* ;
- 6° On appelle *Coulomb* la quantité d'électricité définie par la condition qu'un *Ampère* donne un *Coulomb* par seconde ;
- 7° On appelle *Farad* la capacité définie par la condition qu'un *Coulomb* dans un *Farad* donne un *Volt*.

Рисунок В.1 – Рішення засідання комісії з визначення основних одиниць
для електричних вимірювань [12, с. 249]

ДОДАТОК Г

Таблиця Г.1 – Періодизація електровимірювальних технологій в контексті розвитку світової електротехніки (1600–1899 pp.)

Етап	Характеристика	Основні відкриття та події	Вимірювані величини, прилади
1	2	3	4
Етап зародження (статична електрика) 1600–1779 pp.	Перші систематичні дослідження електричних явищ. Фокус на статичній електриці. Відсутність стандартизованих одиниць і точних вимірювальних приладів	1600 р. Вільям Гілберт ввів в обіг термін «електрика». 1663 р. Отто фон Геріке створив першу електростатичну машину (електростатичний генератор). 1729 р. англійський фізик Стефан Грей відкрив явище електропровідності. 1733 р. Шарль Дюфе експериментально встановив існування двох типів електрики, які назвав «скляним» (позитивним) та «смоляним» (негативним). 1745 р. Незалежно один від одного Евальд Юрген фон Клейст та Пітер ван Мушенбрук винайшли лейденську банку – перший електричний конденсатор. 1747 р. Вільям Уотсон, експериментуючи з лейденською банкою, розвиває концепцію електричного потенціалу (напруги). 1752 р. Бенджамін Франклін довів електричну природу блискавки. 1753 р. Михайло Ломоносов та Георг Ріхман проводили систематичні дослідження атмосферної електрики за допомогою винайденого Ріхманом «показчика електричної сили» – першого у світі електровимірювального приладу.	Якісні оцінки сили тяжіння/відштовхування Наявність/відсутність заряду
Етап кількісних вимірювань (електростатика та початок електродинаміки) 1780–1819 pp.	Перехід до кількісних досліджень. Встановлення основних законів електростатики. Розвиток приладів для вимірювання сили	1784 р. Генрі Кавендіш визначає індуктивну здатність діелектриків (ізоляторів) та вимірює питому індуктивну здатність різних речовин у порівнянні з повітряним конденсатором. 1785 р. Шарль Кулон сконструював крутильні ваги (ваги Кулона) та експериментально встановив основний закон електростатики, який кількісно описує взаємодію зарядів. 1791 р. Луїджі Гальвані опублікував працю "De viribus electricitatis in motu musculari" («Коментар про вплив електрики на м'язовий рух»), заклавши основи електрофізіології та виявивши «тваринну електрику». 1800 р. Алессандро Вольта винайшов вольтовий стовп – перше хімічне джерело постійного струму. 1808 р. Йоганн Соломон Христофор Швейггер створив пружинний гальванометр.	Електрична сила (за Кулоном). Напруга (за Вольтою, як «напруга» стовпа)

Продовження таблиці Г.1

1	2	3	4
<p>Етап формування основ електро-динаміки (струм, магнетизм та розроблення методів вимірювання) 1820–1860 рр.</p>	<p>Відкриття зв'язку між електрикою та магнетизмом. Формулювання основних законів постійного струму. Поява перших приладів, заснованих на магнітній дії струму</p>	<p>1820 р. Ханс Ерстед виявляє дію електричного струму на магнітну стрілку. 1820 р. Андре-Марі Ампер розробив теорію електромагнітних явищ. Математично розрахував закон Ампера, що описує магнітну силу між двома електричними струмами. 1820 р. Йоганн Соломон Христофор Швейггер, зібрав перший електромагнітний мультиплікатор. Пристрій одержав назву «мультиплікатор Швейггера». Це був перший індикатор електричного струму. 1825 р. Леопольдо Нобілі поєднав астатичну пару з мультиплікатором. На засіданні Моденської Академії наук представив перший «астатичний гальванометр». 1825 р. Вільям Стерджен – створення електромагніту. 1826 р. Георг Ом сформулював закон Ома (вперше кількісно описавши зв'язок між струмом, напругою та опором). 1831 р. Майкл Фарадей відкрив явище електромагнітної індукції, закладаючи основи сучасної електротехніки. 1832 р. Емілій Христіанович Ленц – балістичний метод вимірювань. 1833 р. Майкл Фарадей відкрив свій закон про електрохімічний еквівалент. 1834 р. Генріх Ленц визначає напрямок індукованої електрорушійної сили (ЕРС) і струму, що виникають в результаті електромагнітної індукції. Закон Ленца забезпечує фізичну інтерпретацію вибору знака в законі індукції Фарадея (1831 р.), вказуючи, що індукована ЕРС і зміна потоку мають протилежні знаки. 1834 р. Жан-Шарль Пельтьє відкрив ефект Пельтьє: нагрівання електричним струмом на стику двох різних металів. 1835 р. Джозеф Генрі винаходить електричне реле. 1840 р. Джеймс Прескотт Джоуль формулює Закон Джоуля (закон Джоуля-Ленца), визначаючи кількість теплоти, яка виробляється в ланцюзі, пропорційно добутку тривалості часу, опору та квадрату струму, що проходить через нього. 1841 р. Йоганн Християн Поггендорф – компенсаційний метод вимірювань. 1843 р. Чарльз Уитстон – місткова вимірювальна схема. 1854 р. Густав Роберт Кірхгоф публікує закони Кірхгофа про збереження електричного заряду та енергії, які використовуються для визначення струмів у кожній гілці кола. 1855 р. Джеймс Клерк Максвелл публікує «Про силові лінії Фарадея», що містить математичний виклад закону Ампера, що стосується відношення витка магнітного поля до електричного струму в точці.</p>	<p>Струм (визначався за магнітною дією). Напруга. Опір</p>

Продовження таблиці Г.1

1	2	3	4
<p>Етап стандартизації та впровадження одиниць (Електромагнітні явища та технічні вимірювання)</p> <p>1861–1879 рр.</p>	<p>Активний розвиток теорії електро-магнетизму. Перші спроби міжнародної стандартизації електричних одиниць. Поява точних вимірювальних приладів для технічних потреб</p>	<p>1861 р. Британська асоціація сприяння розвитку науки (BAAS) почала роботу над системою електричних одиниць.</p> <p>1864 р. Джеймс Клерк Максвелл публікує свої праці з динамічної теорії електромагнітного поля.</p> <p>1865 р. Дж. К. Максвелл опублікував свою знакову статтю «Динамічна теорія електромагнітного поля», в якій рівняння Максвелла продемонстрували, що електричні та магнітні сили є двома доповнюючими аспектами електромагнетизму.</p> <p>1867 р. Вільям Томсон (лорд Кельвін) розробив базовий квадратичний електрометр у Це дозволило проводити абсолютні вимірювання електростатичних потенціалів.</p> <p>1868 р. Жорж Лекланше створив сухий цинково-вугільний гальванічний елемент з порошкоподібним деполяризатором, що став, згодом, одним із найпоширеніших джерел струму.</p> <p>1873 р. Дж. К. Максвелл публікує «Трактат про електрику та магнетизм», завершуючи формування класичної електродинаміки.</p> <p>1874 р. Карл Фердинанд Браун виявив «односторонню провідність» кристалів. Браун запатентував перший твердотільний діод, кристалічний випрямляч, в 1899 р.</p>	<p>Одиниці: Ом, Вольт, Ампер, Фарад.</p> <p>Струм. Напруга. Опір. Потужність (вимірювання ватметром).</p>
<p>Етап розвитку промислових та зміннострумових вимірювань (розширення діапазону та точності вимірювань)</p> <p>1880–1899 рр.</p>	<p>Інтенсивне впровадження змінного струму в промисловість. Поява нових типів приладів (індукційних, теплових). Затвердження міжнародних електричних одиниць. Зародження електроніки</p>	<p>1881 р. Перший Міжнародний конгрес електриків у Парижі (затвердження одиниць).</p> <p>1881 р. Марсель Депре, Жак-Арсен д'Арсонваль. Високочутливий гальванометр із рухомою котушкою та дзеркальним відліком,</p> <p>1881 р. Фрідріх Уппенборн. Електромагнітний прилад з еліптичним осердям.</p> <p>1885 р. Роберт Коллі створив осцилометр – прототип шлейфових осцилографів.</p> <p>1886 р. Фрідріх Уппенборн. Електромагнітний прилад із круглою котушкою та двома циліндричними сердечниками.</p> <p>1888 р. Генріх Герц експериментально підтверджує існування електромагнітних хвиль.</p> <p>1888 р. Едвард Вестон. Промисловий амперметр/вольтметр (система Weston, рухома котушка).</p> <p>1888 р. Олівер Шелленбергер. Перший лічильник електроенергії змінного струму.</p> <p>1889 р. Отто Тітц Блаті. Запатентовано «Електричний лічильник для змінних струмів» (для компанії «Ganz»).</p> <p>1889 р. Едвард Вестон. Електродинамічний ватметр.</p> <p>1894 р. Олівер Шелленбергер. Індукційний лічильник ват-годин (на замовлення компанії «Westinghouse»).</p> <p>1893 р. Андре Блондель. Магнітоелектричний осцилоскоп з біфілярним підвісом.</p> <p>1897 р. Михайло Андрійович Шателен – конструкція приладу для демонстрації кривих змінного струму.</p> <p>1899 р. Лічильник ват-годин активної енергії змінного струму типу «А», автор Людвіг Гутман.</p> <p>1890–1899 рр. Михайло Осипович Доливо-Добровольський. Амперметри та вольтметри для трифазного струму, феродинамічний ватметр.</p>	<p>Розвиток вимірювальних трансформаторів (струму та напруги). Широке використання осцилографів та лічильників енергії. Розвиток вимірювань на високих частотах та несинусоїдальних струмів</p>

*Таблицю складено автором за матеріалами [9; 11; 14; 18; 21; 24–28; 30; 31; 33; 34; 41; 42; 51; 57; 66; 72–74, 76].

ДОДАТОК Д
АНАТОЛІЙ ДМИТРОВИЧ НЕСТЕРЕНКО

(6.04.1899 р. – 30.05.1975 р.)

Анатолій Дмитрович Нестеренко – доктор технічних наук, член-кореспондент АН УРСР, один з перших наукових керівників та організаторів електроприладобудування в Україні

А. Д. Нестеренко (1940 р.)
[253, арк. 6]



А. Д. Нестеренко під час міжнародної конференції в Угорщині. 1958 р. [249]



А. Д. Нестеренко серед учасників Всесоюзної наради з електровимірювальної техніки, КПІ, м. Київ, червень 1960 р. [251]

ДОДАТОК Е

КОСТЯНТИН БОРИСОВИЧ КАРАНДЄЄВ [265, арк. 6–9]

(05(18).07.1907 р. – 25.09.1969 р.)



К. Б. Карандєєв – видатний вчений у галузі електричних вимірювань та автоматичного контролю, член-кореспондент АН СРСР та АН УРСР. Засновник львівської та сибірської шкіл наукового приладобудування.

Основні етапи життя та діяльності

1930–1941 рр. Навчання та початок наукового шляху в Ленінградському політехнічному інституті. Учень академіка М. А. Шателена. В цей час він закладає основи теорії вимірювальних мостів.

1942–1944 рр. Заступник директора з наукової роботи Державного інституту мір і вимірювальних приладів (м. Москва).

Львівський період (1944–1958 рр.)

Відіграв важливу роль у відновленні наукового потенціалу Львова після війни. Був професором Львівської політехніки та одним із засновників Інституту машинознавства і автоматики АН УРСР (нині Фізико-механічний інститут імені Г. В. Карпенка). Саме тут він створив свою знамениту школу «мостовиків».

Сибірський період (1958–1969 рр.)

На запрошення академіка М. А. Лаврентьєва переїхав до Новосибірська для створення Сибірського відділення АН СРСР. Став першим директором Інституту автоматики та електрометрії (ІАиЭ). Заснував науковий журнал «Автометрія», який став міжнародним майданчиком для обговорення нових методів вимірювань.

Головний внесок у науку

Теорія автоматичних мостів: Розробив математичний апарат для приладів, які самі знаходять результат вимірювання без участі людини.

Концепція ВІС: Першим сформулював перехід від окремих приладів до складних інформаційних систем, що стало базою для сучасної автоматизації виробництва.

Біоніка в приладобудуванні: Наприкінці життя досліджував, як живі організми сприймають інформацію (зір, нюх), щоб створити досконаліші технічні датчики. Його підручники перекладені багатьма мовами, а створені ним інститути в Києві, Львові та Новосибірську досі залишаються провідними центрами науки. Його підхід – «від фізичного явища до інформаційного сигналу» – ліг в основу сучасного цифрового світу.

Таблиця Е.1 – Розподіл наукових праць К.Б. Карандєєва за тематикою
(1932 р. – 1972 р.*) [265, арк. 33–45]

*1969–1972 рр.: Останні прижиттєві та перші посмертні видання.

Рік	Класичні вимірювання (мости, схеми)	Геофізичне приладо- будування	Інформаційні системи (ВІС)	Біоніка та кібернетика	Метрологія та освіта	Всього
1932	2				1	3
1934	3				1	4
1936	5				1	6
1938	5				2	7
1940-1945	2				1	3
1947	1				1	2
1948	1				1	2
1949	6				1	7
1950	4				1	5
1951	5				1	6
1952	5				2	7
1953	8	1			2	11
1954	9	1	1		1	12
1955	8	2	1		3	14
1956	5	6			2	13
1957	7	5	2		4	18
1958	8	4	1		3	17
1959	6	3	2		1	12
1960	4	3	4		4	15
1961	5	2	6		6	20
1962	3	2	2		3	10
1963	3	1	4	3	2	13
1964	2	2	3	2	3	13
1965	3	4	5	-	3	15
1966	4		4	2	1	11
1967	3		4	5	6	18
1968	2		2	1	1	6
1969	2		2	1		5
1970-1972	-		1		2	3

ДОДАТОК Ж
ЗАВОД «ТОЧЕЛЕКТРОПРИЛАД»

Київський завод «Точелектроприлад» – провідне підприємство точного приладобудування України та колишнього СРСР, засноване у 1930 р. на базі радіомайстерень КПП. У 1935 р. майстерні реорганізували в науково-дослідні, а у 1938 р. на їхній основі створили самостійний Київський завод електротехнічної апаратури. Після евакуації та повної відбудови (1944–1948 рр.) підприємство розширилося, і з 1976 р. стало головним підприємством Київського виробничого об'єднання «Точелектроприлад». Завод серійно випускав понад 140 найменувань високоточних аналогових і цифрових вимірювальних приладів, трансформаторів та обчислювальних комплексів. Підприємство першим у СРСР впровадило конвеєрне складання лабораторної техніки, а його електронний мікровольтметр здобув золоту медаль на Міжнародній виставці в Ляйпцигу (1967 р.) [206].

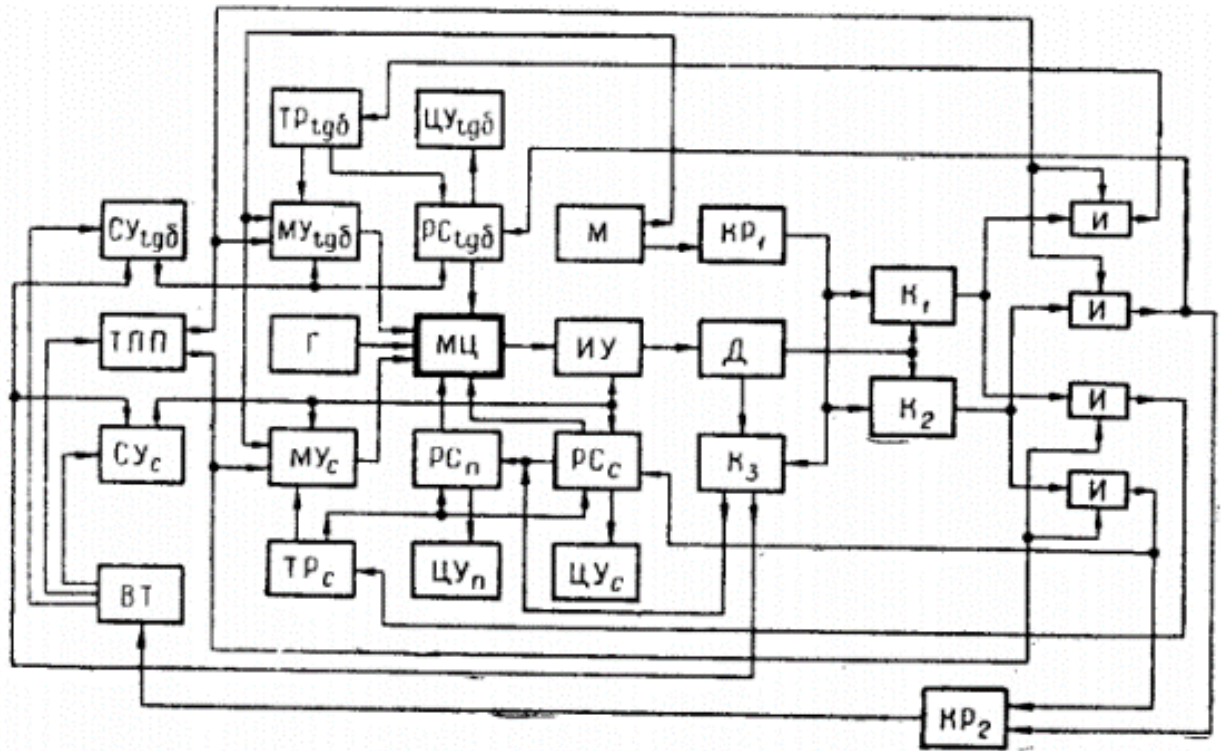


Рисунок Ж.1 – Підсилювачі типу Ф-50 (а) та Ф-50-1 (б) [307, арк. 46]

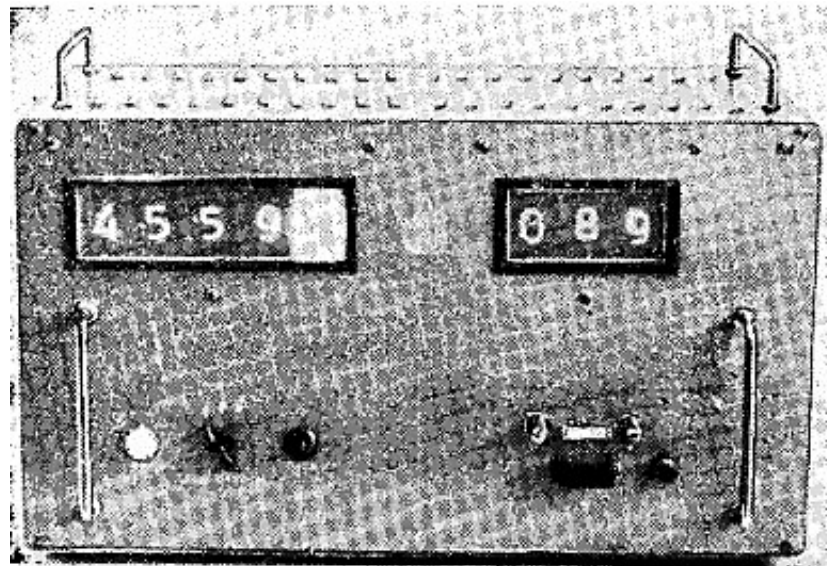
ДОДАТОК И

ЦИФРОВИЙ АВТОМАТИЧНИЙ ЕКСТРЕМАЛЬНИЙ МІСТ

ЗМІННОГО СТРУМУ



a)



6)

Рисунок И.1 – Цифровий екстремальний міст змінного струму [129]

а) блок-схема; б) зовнішній вигляд

ДОДАТОК К

КАФЕДРА «ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ» НТУ «ХПІ»
[186; 213–215].

Фото з музею кафедри ІВТ [241]

1961 р. – кафедра «Електровимірювальна техніка»

1970 р. – кафедра «Вимірювально-інформаційна техніка»

2007 р. – кафедра «Інформаційно-вимірювальні технології і системи»

з 2025 р. – кафедра «Інформаційно-вимірювальні технології»



Завідувач кафедри
(1961–1970 рр.)
доц. О.В. Федоров

О. В. Федоров та В. О. Федоров, 1965 р.



Викладачі кафедри,
1965 р.



Викладачі кафедри та студенти груп АП-24а, АП-24б, 1969 р.

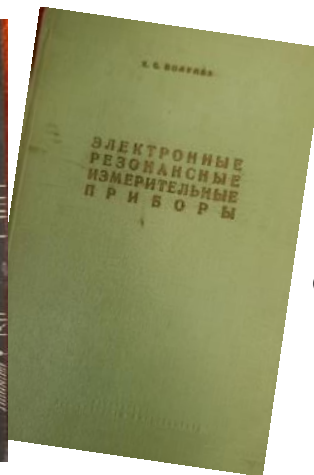
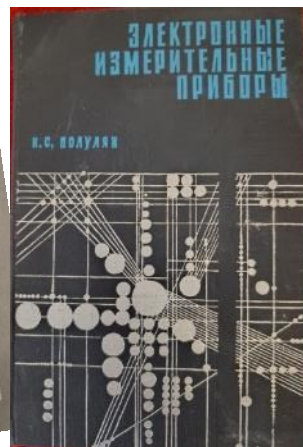
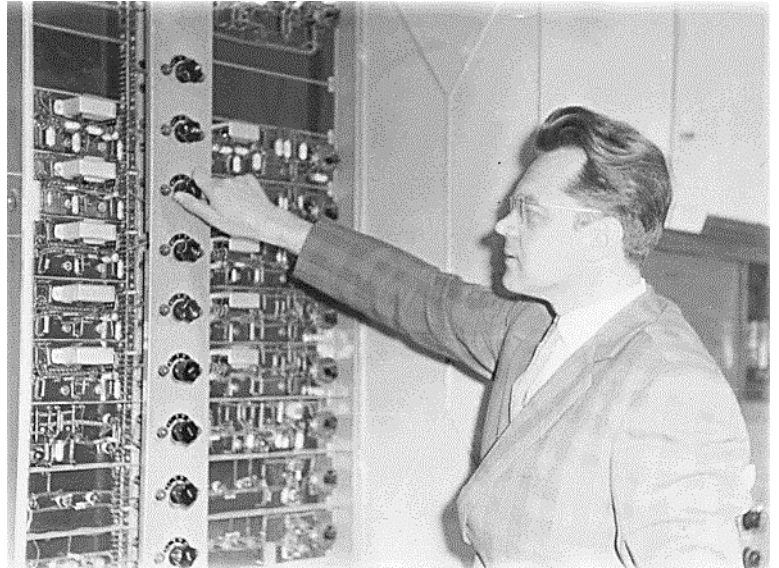


Державна екзаменаційна комісія, 1969 р.

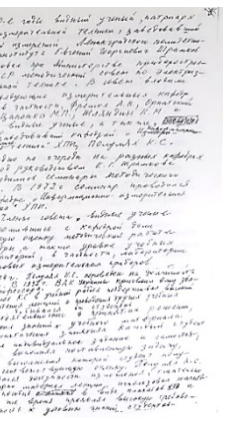
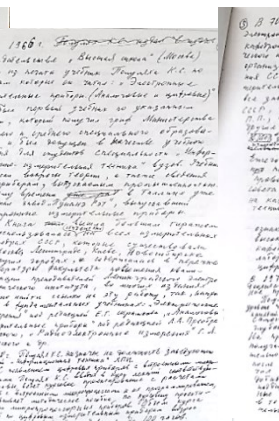
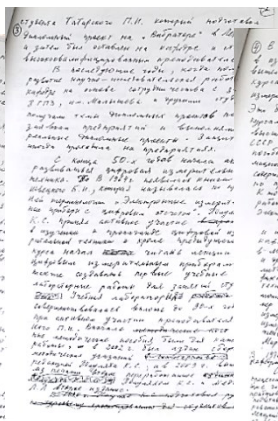
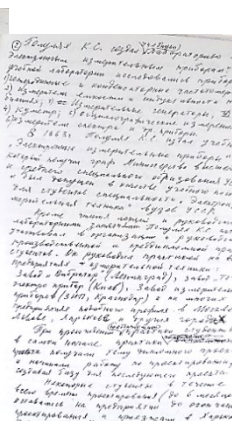
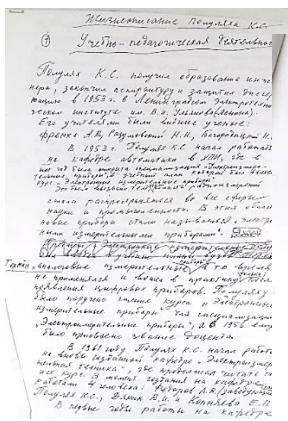


К. С. Полулях, 1965 р.

Завідувач кафедри
(1970–1975 рр.)
доц. К. С. Полулях



Підручники
К. С. Полуляха для
студентів спеціальності
«Електровимірювальна
техніка»
(Фото В. Ю. Хіхло)



Спогади К. С. Полуляха. Рукопис. 27 с. Музей кафедри ІВТ НТУ «ХП»
[241; 313]. (Фото В. Ю. Хіхло)



Викладачі кафедри, 1972 р.

Завідувач кафедри
(1975–1998 рр.)
проф. С. М. Терент'єв



Вручення
дипломів,
1976 р.



Викладачі кафедри, 1980 р.



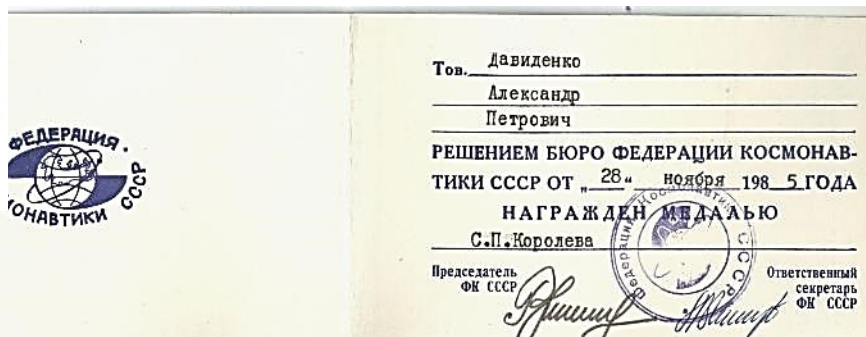
Співробітники кафедри, 1980 р.

Лабораторії
кафедри ВІТ





Нагорода наукового керівника теми
«Мікродеформатор» для станції
«Салют-7» О. П. Давиденка, 1985 р.



Лабораторія мікропроцесорних
систем (створена у 1985 р.)
на базі комплексів МікроДАТ



Завідувач кафедри
1998–2004 рр.
проф. К. І. Діденко



Завідувач кафедри
2004–2025 рр.
проф. С. І. Кондрашов

ДОДАТОК Л

АГРЕГАТНИЙ КОМПЛЕКС

ЗАСОБІВ ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

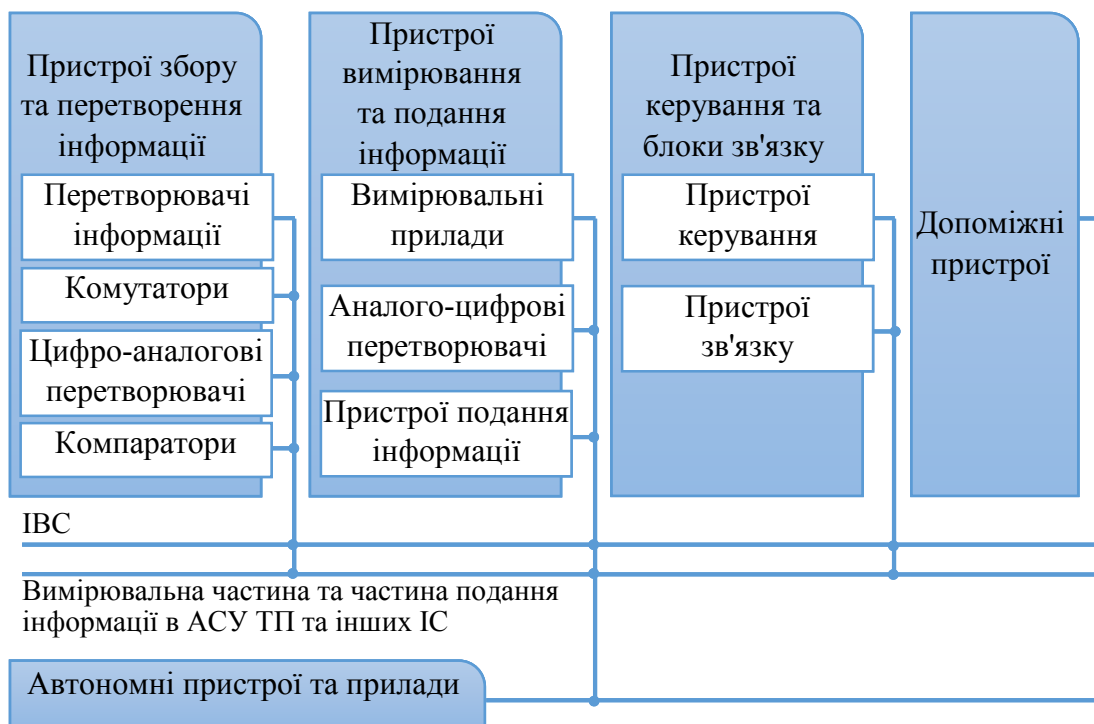


Рисунок Л.1 – Структура та склад агрегатного комплексу засобів електровимірювальної техніки [142; 340]

ДОДАТОК М

ЕТАПИ РОЗВИТКУ ІНФОРМАЦІЙНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

Таблиця М.1 – Етапи розвитку інформаційних вимірювальних систем
друга половина ХХ ст. – початок ХХІ ст.*

Етап	Характеристика	Елементна база
I етап кінець 1950-х – початок 1960-х років	Формування концепції ІВС: системна організація спільної автоматичної роботи засобів отримання, обробки та передачі кількісної інформації. Системи першого покоління – це системи переважно централізованого циклічного отримання вимірювальної інформації з елементами обчислювальної техніки з урахуванням дискретної напівпровідникової техніки. Для аналізу в ІВС використовувався добре розроблений апарат аналітичної математики	дискретні напівпровідникові прилади
II етап 1965 – 1980 рр	Використання адресного збирання інформації, обробка інформації з допомогою вбудованих ЕОМ. Цей період характерний вирішенням низки питань теорії систем у рамках теорії випадкових процесів та математичної статистики	електронні схеми малого та середнього ступеня інтеграції
III етап перша половина 1980-х рр.	Характеризується широким введенням у ІВС великих інтегральних схем, мікропроцесорів та мікропроцесорних наборів, мікроЕОМ та промислових функціональних блоків, сумісних між собою за інформаційними, метрологічними, енергетичними та конструктивними характеристиками, а також створенням розподілених ІВС. Цей період характерний тим, що з'явилися адаптивні ІВС	великі інтегральні схеми, мікропроцесори, мікроЕОМ
IV етап друга пол. 1980-х рр.	Поява гнучких програмованих ІВС у зв'язку з розвитком системотехніки та обчислювальної техніки	великі інтегральні схеми, мікро- процесори, мікроЕОМ
V етап 1990-ті – до сьогодення	Інтелектуальні та віртуальні ІВС, побудовані на базі ПЕОМ, а також сучасного математичного та програмного забезпечення	SCADA-системи, програмне забезпечення типу LabVIEW

*Таблицю складено автором за матеріалами [67, 95, 131, 174, 221, 325, 347].

ДОДАТОК Н

ЖИТОМИРСЬКИЙ ЗАВОД «ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЧ»

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ "ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬ"

Житомирское ПО "Электроизмеритель" создано в 1956 году на базе завода "Электроизмеритель". Общая численность работающих около 5600 человек. Номенклатура выпускаемой продукции - более 50 наименований.

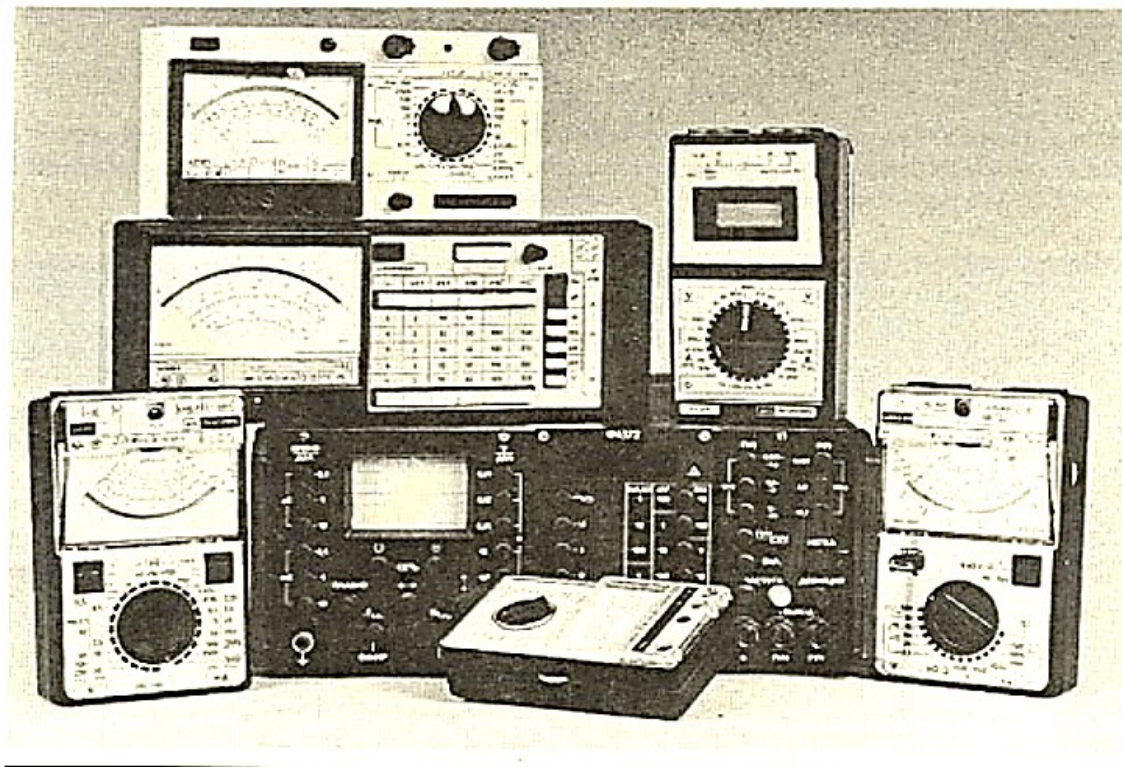
ПО "ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬ" ПРЕДЛАГАЕТ ОТЕЧЕСТВЕННЫМ И ЗАРУБЕЖНЫМ ПАРТНЕРАМ

КОМБИНИРОВАННЫЕ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ АНАЛОГОВЫЕ

Предназначены для измерения силы и напряжения постоянного тока, среднеквадратического значения силы и напряжения переменного тока синусоидальной формы, сопротивления постоянному току, абсолютного уровня сигнала по напряжению переменного тока, параметров транзисторов, электрической емкости. Класс точности - 1,0-4,0. Диапазон измерения: силы постоянного тока - 0-10000 мА; силы переменного тока - 0-6 А; напряжения постоянного тока - 0-1200 В; емкости - 0-0,5 мкф; сопротивления постоянному току - 0-10000 кОм. Габаритные размеры 215x115x90 мм. Масса 1,0 кг.

КОМБИНИРОВАННЫЕ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ АНАЛОГОВЫЕ С ЭЛЕКТРОННЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ

Класс точности - 1,0-4,0. Диапазон измерений: силы постоянного тока - 0-30 А; силы переменного тока - 0-30 А; напряжение постоянного тока - 0-1500 В; напряжение переменного тока - 0-1500 В; сопротивление постоянному току - 0-30000 кОм; емкости - 0-500 мкф. Габаритные размеры 215x45x90 мм; 185x110x55 мм. Масса 1,2; 0,65 кг



Рисисунок Н.1 – Фрагмент реклами виробів ВО «Електровимірювач» [248, с. 91]



Рисунок Н.2 – директор заводу М. І. Невмержицький у цеху № 6, 1969 р. [248, с. 35]

Невмержицький Микола Іванович.

1934 р.н. інженер-електрик (приборист), заслужений машинобудівник РРФСР.

Після закінчення Львівського політехнічного інституту в 1957 р. був направлений на роботу на завод «Електровимірювач».

На заводі фактично працював:

- з 15.08.1957 р. по 31.09.1958 р. – начальник складального цеху
- з 01.10.1958 р. по 19.04.1960 р. – начальник виробництва
- з 20.04.1960 р. по 31.03.1965 р. – головний конструктор
- з 01.04.1965 р. по 31.12.1966 р. – головний інженер СКБ
- з 01.01.1967 р. по 02.06.1968 р. – головний конструктор
- з 03.06.1968 р. по 17.06.1968 р. – в.о. головного інженера
- з 18.06.1968 р. по 28.11.1968 р. – головний інженер
- з 29.11.1968 р. по 11.04.1969 р. – в. о. директора
- з 12.04.1969 р. по 14.08.1978 р. – директор
- з 15.08.1978 р. по 09.08.1979 р. – генеральний директор ВО «Електровимірювач»

З 15.08.1979 р. переведений на роботу до Москви начальником ВПО «Союзточмашприлад» Мінприладу СРСР.



Рисунок Н.3 – Після узгодження всіх питань чергового контракту на постачання приладів фірмі «Бюрклін» (м. Мюнхен, ФРН) [248, с. 44]

Зліва направо: директор заводу М. І. Невмержицький, власник фірми «Бюрклін» Ганс Бюрклін, директор контори № 2 ЗТО «Машприладінторг» МВТ СРСР Л. Б. Островський, головний інженер СКБ заводу А.А. Певко

ДОДАТОК П

ОСНОВНІ ВІНАХОДИ ЕЛЕКТРОНІКИ

Таблиця П.1 – Основні винаходи електроніки кінець XIX – упродовж XX ст.

Елементна база	Характеристика
Вакуумний діод	1883 р. – Т. Едісон винайшов вакуумний діод (двоелектродну лампу). Вперше діод з термоелектронною емісією Д. Амброзом Флемінгом (Англія), 16 листопада 1904 р. (патент США № 803684 від листопада 1905 р.)
Електронно-променева трубка	1897 р. – К. Ф. Браун на основі трубки У. Крукса, сконструював першу катодну, або електронно-променеву трубку, яку він запропонував застосувати як індикаторний прилад для дослідження електромагнітних коливань
Транзистор	23.12.1947 р. – В. Браттейн, Д. Бардін та В. Шоклі продемонстрували перший у світі транзистор із точковим контактом 1959 р. – Мохамед Аталла та Давон Канг запропонували кремнієвий МОН-транзистор та у 1960 р. успішно продемонстрували робочий МОН-пристрій зі своєю командою Bell Labs
Інтегральна мікросхема	12.09.1958 р. – перша мікросхема була створена в компанії Texas Instruments і продемонстрована Джеком Кілбі
Мікропроцесор	15.11.1971 р. – розроблений перший мікропроцесор, велика інтегральна схема із програмованими функціями. Розробник Тедд Хофф – співробітник Intel
Персональний комп'ютер	1980-ті рр. – з'явилися та розповсюдилися персональні комп'ютери, які стали важливим елементом різних високопродуктивних автоматизованих інформаційно-вимірювальних пристроїв, комплексів, систем, а також систем керування
Цифровий процесор сигналів	Історію цифрових сигнальних процесорів відраховують від 1979–1980 рр., коли Bell Labs представила перший однокристальний ЦСП Mac 4.

*Таблицю складено автором за матеріалами [2; 10; 39; 41; 46; 53; 55; 67; 131; 330; 337]

ДОДАТОК Р

НАУКОВО-ВИРОБНИЧИЙ КЛАСТЕР ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ



Рисунок Р.1 – Структура науково-виробничого кластеру електровимірювальної техніки

Таблиця Р.1 – Науково-виробничий кластер електровиміральної техніки

Установа	Підрозділ	Вчені	Розробки
Інститут електротехніки АН УРСР з 1963 р. – Інститут електродинаміки НАН України	Структурна лабораторія електричних вимірювань (1947 р.), з 1963 р. відділ електричних і магнітних вимірювань. Відділ автоматизації електричних систем (1963 р.)	А. Д. Нестеренко, Ф. Б. Гриневич, Є. О. Андрієвський, А. Д. Ніженський, А. І. Новік, М. М. Сурду, Ю. О. Скрипник, С. Г. Таранов, З. Я. Монастирський Б. С. Стогній, М. Ф. Сопель	Науковий напрям – прецизійні вимірювання комплексних електричних величин. Наукова школа з електричних і магнітних вимірювань. Інформаційно-діагностичні комплекси
Інститут кібернетики Академії наук УРСР	Відділення кібернетичної техніки (1962 р.) Відділ перетворювачів форми інформації (1963 р.) Відділ мікропроцесорної техніки (1980 р.) Відділ сенсорних пристроїв, систем та технологій безконтактної діагностики (1980 р.)	В. М. Глушков Б. М. Малиновський, А. І. Кондалев, О. В. Палагін, В. М. Єгіпко, В. І. Скурихін, О. М. Лучук, В. І. Гриценко, Г. І. Корнієнко, П. М. Сіверський, В. І. Сігалов, І. Д. Войтович	Перетворювачі форми інформації; мікропроцесорний комплект гібридних інтегральних схем; інформаційно-вимірвальні і керуючі системи; сенсорні пристрої, систем та технологій безконтактної діагностики
Львівська політехніка	Кафедра Електричні вимірювання (1919 р.) з 1952 р. Автоматичні і вимірчі пристрої 1954 Електричних вимірювань і приладів 1967 Інформаційно-вимірвальна техніка	К. Б. Карандєєв, А. Я. Шрамков, С. С. Обозовський, М. В. Кіріанакі, Є. І. Шморгун, В. О. Кочан, Є. С. Полішук, Б. І. Стадник	У 1931 р. створено першу потенціометричну установку для державної атестації електричних вимірвальних приладів та перевірки державного еталону електрорушійної сили. Наукова школа з теорії електричних вимірювань та вимірвальних інформаційних систем
	Експериментальна лабораторія № 1. (з 1945 по 1961 рр. – експериментальна лабораторія № 1 і перший науково-дослідний сектор (НДС-1), з 1961 по 1973 рр. – Відділ електронного вимірвального приладобудування (ВЕВП), з 1973 по 1988 рр. – Особливе конструкторське бюро (ОКБ), з 1988 р. по теперішній час – Науково-дослідний конструкторський інститут електронної вимірвальної та обчислювальної техніки (НДКІ ЕЛВІТ))	О. О. Харкевич, Б. Й. Швецький, К. Б. Карандєєв, І. М. Вишенчук, Г. О. Асаєвич, М. Т. Фучила	У 1961 році впровадили у виробництво перший в країні серійний електронний цифровий вольтметр В7-8. Вимірвальні прилади загального й спеціального призначення для промисловості, економіки, збройних сил

Київський політехнічний інститут Електротехнічний факультет з 1963 р. факультет Автоматики та приладобудування	Кафедра електричних вимірювань, електроматеріалів та світлотехніки (1925 р.)	П. В. Окулов	Методи електричних і магнітних вимірювань, електричні методи вимірювання неелектричних величин
	Кафедра Електроприладобудування (1945 р.) з 1963 р. Інформаційно-вимірювальна техніка	А. Д. Нестеренко, П. П. Орнатський, Є. Т. Володарський, Ю. М. Туз, В. І. Губар, В. Д. Ціделко, С. М. Маєвський	Наукова школа «Методи підвищення точності вимірювальних пристроїв»
Харківський політехнічний інститут факультет Автоматики та приладобудування	Кафедра Електровимірювальна техніка (1961 р.) з 1970 р. Вимірювально-інформаційна техніка	О. В. Федоров, К. С. Полулях, В. І. Дякін, П. І. Татарський, В. І. Піскляров, П. Ф. Щапов, С. М. Терентьев, С. І. Кондрашов, К. І. Діденко	Розроблення та дослідження аналого-цифрових перетворювачів неелектричних величин на основі бігенераторних схем, випробування феромагнітних матеріалів та їх використання для вимірювання електричних та неелектричних величин
ХІГМАОТ (з 1966 року Харківський інститут радіоелектроніки (ХІРЕ) Радіотехнічний факультет	Кафедра Радіовимірювань (1964 р.) з 1996 р Метрології та вимірювальної техніки	В. Д. Кукуш, А. Б. Єгоров, І. Ф. Демьянков, Н. К. Гордієнко, І. П. Захаров	Наукова школа – вимірювання потужності на надвисоких частотах.
Спеціальне конструкторське бюро м. Львів (1956 р.), з 1966 р. – Львівське конструкторське бюро (ЛКБ), з 1969 р. – Львівський науково-дослідний радіотехнічний інститут (ЛНДРТИ))		Виробництво контрольно-вимірювальних приладів та осцилографічної техніки (В. І. Гудик, Д. І. Грицак, І. І. Халавка, М. В. Юшин)	
Спеціальне конструкторське бюро «Системи автоматичного управління» (м. Харків)		Комплекси технічних засобів для локальних інформаційно-керуючих систем та мікропроцесорні засоби диспетчеризації, автоматики, телемеханіки	
Спеціальне конструкторське бюро Київського заводу «Точелектроприлад»		Виробництво електровимірювальних приладів та апаратури для їх повірки	
Науково-дослідний інститут «Мікроприлад» (1966 р.)		Створення гібридних інтегральних схем та мікропроцесорів (С. О. Моральов, К. М. Кролевець, О. І. Корнєв, Ю. А. Петін, А. І. Молчанов, В. Г. Табірний, А. В. Кобилянський)	
Науково-дослідний відділ № 99 (1973 р.) з 1976 р. Спеціальне конструкторсько-технологічне бюро комбінованих приладів м. Житомир		Розроблення комбінованих електровимірювальних приладів та систем	
Завод № 87 п/с 49 (1945 р), в подальшому завод «Львівприлад»		Виробництво стрілочних електровимірювальних приладів	
Київський завод електротехнічної апаратури (КЗЕТА) (1938 р), з 1944 р. завод № 786 п/с 58, з 1954 р. Київський завод «Точелектроприлад»		Виробництво електровимірювальних приладів та апаратури для їх повірки	
Завод «Електровимірювач» м. Житомир (1956 р.)		Виробництво комбінованих електровимірювальних приладів та систем	

*Таблицю складено автором за матеріалами [85; 108; 109; 131; 137; 141; 146; 149; 158; 171; 179; 185; 186; 187; 202; 207; 225; 243; 247; 248; 255; 342]

ДОДАТОК С

НАУКОВІ ШКОЛИ В ГАЛУЗІ ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ



Рисунок С.1 – Наукова школа ІЕД НАН УРСР*

*Схему створено автором за матеріалами [85; 103; 104; 105; 106; 107; 131; 145; 185; 209; 210]

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Київський індустріальний інститут (1934 р.)
Київський політехнічний інститут (1948 р.)**

Наукова школа

Методи підвищення точності вимірювальних пристроїв

А. Д. Нестеренко, П. П. Орнатський, В. І. Губар, С. М. Маєвський,
Ю. М. Туз, В. Д. Ціделко, Є. Т. Володрський, В. В. Літвіх,
К. Л. Шевченко, Ю. М. Самарцев, Ю. С. Шумков,
М. В. Добролюбова, О. П. Красковський, С. А. Богомазов

1945 р. Кафедра «Електроприладобудування»
з 1970 р. Кафедра «Інформаційно-вимірювальна техніка»

1978 р. Кафедра «Автоматизація експериментальних
досліджень» (зав. каф. Ю. М. Туз)

1981 р. Кафедра «Приладів і систем неруйнівного
контролю» (зав. каф. С. М. Маєвський)

- методи та засоби підвищення точності вимірювання напруги змінного струму;
- методи відтворення одиниці напруги змінного струму;
- метрологічне забезпечення систем та комплексів;
- методи та системи контролю і діагностики;
- методи та програмне забезпечення в інформаційних технологіях;
- цифрова обробка сигналів;
- дослідження стабільності компонентів вимірювальної техніки;
- методи неруйнівного контролю.

Підготовлено понад 100 кандидатів і 16 докторів технічних наук

Рисунок С.2 – Наукова школа КПІ*

*Схему створено автором за матеріалами [144; 151; 187; 243; 276; 342]

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

Львівський політехнічний інститут (1944 р.)

Наукова школа

**Теорія електричних вимірювань та
вимірювальних інформаційних систем**

К. Б. Карандєєв, А. Я. Шрамков, С. С. Обозовський, М. В. Кіріанакі,
Є. І. Шморгун, В. О. Кочан, О. Л. Івахів, В. І. Зорій, Є. С. Поліщук,
А. В. Серкіз, М. М. Дорожовець, Б. І. Стадник

Кафедра «Електричні вимірювання та прилади»
1967 р. Кафедра «Інформаційно-вимірювальна техніка»

- методи електричних вимірювань;
- мостові методи вимірювань;
- розроблення теоретичних і практичних основ побудови цифрових електро-механічних вимірювальних приладів;
- дослідження цифрових електровимірювальних приладів;
- спеціальні методи вимірювань;
- вимірювальні інформаційні системи;
- засоби вимірювання фізичних величин;
- термометрія.

Наукова школа

**Вимірювальні прилади загального
й спеціального призначення**

Б. Й. Швецький, Р. С. Кравцов, І. М. Вишенчук, Г. О. Асаєвич,
М. Т. Фучила, М. Д. Марченко, В. І. Видоняк та І. Г. Грибок

1945 р. Перша експериментальна лабораторія № 1 та НДС-1
1961 р. Відділ електронного вимірювального приладобудування

- електронні цифрові вимірювальні прилади;
- вимірювальні інформаційні системи.

Рисунок С.3 – Наукова школа ЛПІ*

*Схему створено автором за матеріалами [97; 98; 146; 158; 247; 330; 349]

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Харківський політехнічний інститут (1948 р.)

Наукова школа

Електричні і магнітні вимірювання та інформаційно-вимірювальні системи

О. В. Федоров, В. І. Дякін, К. С. Полулях, С. М. Терентьєв,
П. І. Татарський, Є. М. Гончаров, Ю. І. Роздовський, В. І. Піскляров,
П. Ф. Щапов, В. К. Гусельников, М. В. Кривоґін, Л. О. Медведєва,
І. І. Тополов, В. І. Бондаренко, С. І. Кондрашов, О. П. Давиденко,
О. І. Овчаренко, В. П. Себко, Б. М. Горкунов, О. О. Авраменко, К. І. Діденко

1961 р. Кафедра «Електровимірювальна техніка»

1970 р. Кафедра «Вимірювально-інформаційна техніка»

- випробування феромагнітних матеріалів та їх використання для вимірювання електричних та неелектричних величин;
- резонансні методи вимірювання електричних та неелектричних величин;
- аналогові та цифрові вимірювальні прилади;
- статистичні методи оброблення сигналів та теорії інформації;
- оптимізація систем цифрової передачі сигналів;
- методи, прилади та системи неруйнівного контролю для технічної і медичної діагностики;
- тестові методи підвищення точності;
- вбудовані засоби контролю метрологічних характеристик засобів вимірювання і каналів вимірювальних систем.

Рисунок С.4 – Наукова школа ХПІ*

*Схему створено автором за матеріалами [199; 213; 214; 215; 241; 313; 332]

ІНСТИТУТ КІБЕРНЕТИКИ ІМЕНІ В. М. ГЛУШКОВА НАН УКРАЇНИ

Інститут кібернетики імені АН УРСР (1944 р.)

Наукова школа

Кібернетична техніка

Перетворювачі форми інформації

Мікропроцесорної техніки

Сенсорних пристроїв, систем та технологій безконтактної діагностики

В. М. Глушков, Б. М. Малиновський, В. С. Михалевич, І. В. Сергієнко,
В. М. Єгіпко, А. І. Кондалев, В. І. Скурихін, В. І. Гриценко,
Г. І. Корнієнко, П. М. Сіверський, О. М. Лучук,
О. В. Палагін, В. І. Сігалов, І. Д. Войтович

1962 р. Відділення кібернетичної техніки (Відділення комп'ютерних засобів і систем)

1963 р. Відділ перетворювачів форми інформації

1980 р. Відділ мікропроцесорної техніки

1980 р. Відділ сенсорних пристроїв, систем та технологій
безконтактної діагностики

- розроблення мікропроцесорів та мікроЕОМ;
- розроблення перетворювачів форми інформації;
- комп'ютерні засоби, прилади та системи експрес-діагностики стану біологічних об'єктів;
- теоретичні основи та методологія створення інформаційних технологій автоматизованого проєктування комп'ютерних засобів і систем для перетворення та обробки інформації високопродуктивні пристрої та комплекси цифрової обробки сигналів та їх застосування;
- координація робіт в галузі мікропроцесорної техніки;
- теоретичні основи та технічні засоби безконтактної діагностики в медицині, біології, екології, техніці;
- нові інформаційні технології на основі вимірювань електричних, магнітних і оптичних сигналів та їх просторово-часового аналізу.

Рисунок С.5 – Наукова школа ІК АН УРСР*

*Схему створено автором за матеріалами [108; 179; 183; 212; 229; 230; 231; 267; 268; 302; 309]