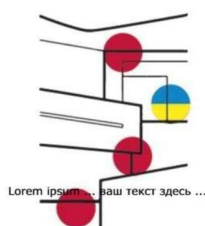


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО»
ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
ПРОФКОМ КПІ ІМ. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО



Профком КПІ ім. Ігоря Сікорського

БІБЛІОТЕКА
КПІ



Інститут досліджень науково-технічного потенціалу та історії науки
ім. Г. М. Доброва НАН України



Державний політехнічний музей імені Бориса Патона

ЗБІРНИК МАТЕРІАЛІВ
XXIV МІЖНАРОДНОЇ МОЛОДІЖНОЇ
НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
«ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ НАУКИ,
ТЕХНІКИ ТА ОСВІТИ»,

присвяченої 30-річчю заснування
фізико-математичного факультету
КПІ ім. Ігоря Сікорського

КИЇВ 2026

Редколегія:

Котовський В.Й. (головний редактор), доктор техн. наук, професор

Локтєв В.М., академік НАНУ

Ванін В.В., доктор техн. наук, професор

Решетняк С.О., доктор фіз.-мат. наук, професор

Литвинко А.С. (відповідальний редактор), доктор іст. наук, пров. наук.
співробітник

Рижко Л.В., доктор філософ. наук, професор

Шендеровський В.А., доктор фіз.-мат. наук, професор

Рецензенти:

Шут М.І., академік АПНУ

Збірник матеріалів XXIV Міжнародної молодіжної науково-практичної конференції «Історія розвитку науки, техніки та освіти», присвяченої 30-му ювілею заснування фізико-математичного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ, 23 квітня 2026 р. / Укладач Пономаренко Л.П. – Київ, 2026. – 409 с.

У збірнику опубліковано матеріали, підготовлені учасниками XXIV Міжнародної молодіжної науково-практичної конференції «Історія розвитку науки, техніки та освіти», присвяченої 30-річчю заснування фізико-математичного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського, яка проходить у рамках Молодіжного симпозіуму з історії науки і техніки «Пріоритети української науки». Висвітлюються найбільш актуальні проблеми історії вітчизняної і світової науки, техніки та освіти, а також розкривається внесок українських учених у формування сучасної науки.

ПЕРЕДМОВА

Дорогі друзі, шановні колеги!

Сьогодні ми маємо особливу нагоду представити збірник тез доповідей XXIV Міжнародної науково-практичної конференції «ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ НАУКИ, ТЕХНІКИ ТА ОСВІТИ» присвячений 30-річчю заснування фізико-математичного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського, що є важливою віхою в історії розвитку науки, освіти та інновацій.

Це видання є свідченням багаторічної праці наших викладачів, студентів, аспірантів та дослідників, які творили й продовжують творити історію нашого факультету.

За три десятиліття факультет став осередком формування наукових шкіл, виховання талановитих дослідників і викладачів, а також майданчиком для сміливих ідей, що знаходять своє застосування у сучасних технологіях.

Ми пишаємося тим, що факультет не лише зберігає традиції класичної освіти, а й активно інтегрується у світовий науковий простір, розвиваючи нові напрями досліджень у фізиці, математиці, інженерії та прикладних технологіях.

У цьому збірнику відображено широкий спектр досліджень та історичних фактів – від фундаментальних проблем фізики та математики до прикладних технологій, наукових шкіл, що знаходять своє місце у сучасному світі. Конференція об'єднує молодих дослідників і досвідчених науковців, щоб разом творити майбутнє науки. Це шанс ще раз відчувти, що ми – спільнота, яка рухається вперед, відкриває нові горизонти й не боїться мріяти.

Переконаний, що представлені матеріали стануть корисними для науковців, викладачів та студентів, сприятимуть розвитку міждисциплінарних зв'язків і надихатимуть на нові відкриття.

Дякую кожному з вас за те, що ви є частиною цієї великої історії. Бажаю цікавих дискусій, нових знайомств і натхнення для майбутніх звершень. А головне – нехай фізико-математичний факультет завжди буде місцем, куди хочеться повертатися, бо тут панує тепло, дружба і любов до науки.

Висловлюємо щирі вдячність усім авторам за їхній внесок, а також організаційному комітету за підготовку цього видання.

Бажаю читачам плідної роботи з матеріалами збірника та нових наукових звершень.

З повагою,

Декан фізико-математичного факультету Віталій КОТОВСЬКИЙ

ЗМІСТ

РОЗДІЛ І. РОЛЬ ОСОБИСТОСТІ В НАУЦІ. ФЕНОМЕН НАУКОВОЇ ТА НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ШКОЛИ.....	11
<i>Ванін В.В., Лебедева О.О.</i> ДО 225-РІЧЧЯ ВІД ДНЯ НАРОДЖЕННЯ МИХАЙЛА ВАСИЛЬОВИЧА ОСТРОГРАДСЬКОГО	11
<i>Диховичний О.О., Ферт А. М.</i> НАУКОВО-ПЕДАГОГІЧНА СПАДЩИНА ЄВГЕНА ВІКТОРОВСЬКОГО – «УКРАЇНСЬКОГО ГАЛУА».....	16
<i>Качкалда І.С., Листопадава В.В.</i> ВНЕСОК АКАДЕМІКА А. М. САМОЙЛЕНКА У ФОРМУВАННЯ СУЧАСНОЇ ІНЖЕНЕРНО-МАТЕМАТИЧНОЇ ШКОЛИ.....	19
<i>Кириченко А.В., Братусь Т.І.</i> ПРОФЕСОР МИХАЙЛО В'ЯЧЕСЛАВОВИЧ БІЛОУС – ВІДОМИЙ УКРАЇНСЬКИЙ ФІЗИК І МАТЕРІАЛОЗНАВЕЦЬ.....	24
<i>Кошель А. Р., Листопадава В. В.</i> ПРОФЕСОР ВАЛЕНТИН АНАТОЛІЙОВИЧ ЗМОРОВИЧ В ІСТОРІЇ КИЇВСЬКОЇ ПОЛІТЕХНІКИ	27
<i>Литвинко А.С., Звонкова Г.Л., Дороніна Г.А.</i> ЮРІЙ ХРАМОВ ТА ІНСТИТУАЛІЗАЦІЯ ІСТОРІЇ НАУКИ Й ТЕХНІКИ В УКРАЇНІ	31
<i>Міща О.С., Строкач М.С.</i> ВНЕСОК ІНЖЕНЕРА-КОНСТРУКТОРА ОЛЕКСАНДРА СЕМЕНОВИЧА ГУРІНА У РОЗВИТОК ГІДРОАКУСТИЧНИХ СИСТЕМ.....	37
<i>Парасотка С.Е., Коваль О.О.</i> ВИДАТНІ ПРОФЕСОРИ МАТЕМАТИКИ КПІ: ФЕДІР ПЕТРОВИЧ ЯРЕМЧУК.....	43
<i>Пономаренко Л.П.</i> ПРОФЕСОР ГЕОРГІЙ ДЕ МЕТЦ: СТАНОВЛЕННЯ ФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У КПІ ТА НОВІ ПІДХОДИ ДО ІНЖЕНЕРНОЇ ОСВІТИ.....	47
<i>Пушкар Р.М., Буценко Ю.П.</i> ПРОФЕСОР В. В. БУЛДИГІН: УЧЕНИЙ, ПЕДАГОГ, ОРГАНІЗАТОР. ДО 80-РІЧЧЯ З ДНЯ НАРОДЖЕННЯ	54
<i>П'ятецький Є.О., Листопадава В.В.</i> ВНЕСОК ПРОФЕСОРА О. С. СМОГОРЖЕВСЬКОГО У РОЗВИТОК МАТЕМАТИЧНОЇ ОСВІТИ КПІ	57
<i>Фокиа М.С., Подласов С.О.</i> ВНЕСОК МИХАЙЛА КРАВЧУКА У РОЗВИТОК МАТЕМАТИЧНИХ МЕТОДІВ У НАУЦІ.....	61

Фостенко А.С., Лінчевський І.В. МИХАЙЛО КРАВЧУК: ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ВЕЛИЧ,
ЗАКАРБОВАНА В ІСТОРІЇ СВІТОВОЇ НАУКИ ТА ПАМ'ЯТІ КИЇВСЬКОЇ
ПОЛІТЕХНІКИ 66

Shtofel O.O., Chyzhska T.G. FAMILY VALUES OF SCIENTIFIC DYNASTIES AS AN
EXAMPLE OF OVERCOMING COGNITIVE DEGRADATION OF SOCIETY 71

РОЗДІЛ II. СТОРІНКИ ІСТОРІЇ ПРИРОДНИЧИХ ТА ТЕХНІЧНИХ НАУК

В УКРАЇНІ ТА СВІТІ 76

Александрова А.С., Білий О.Г., Колесов О.Ю. НАРИС З ІСТОРІЇ ВИНИКНЕННЯ ТА
ДОСЛІДЖЕННЯ ДОСКОНАЛИХ ЧИСЕЛ 76

Антонов М.П., Захарченко Р.В. ФІЗИЧНІ АСПЕКТИ ЕВОЛЮЦІЇ БІЛА: ВІД
МЕХАНІЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДО АВТОНОМНИХ СИСТЕМ З ШІ..... 82

Бандурка А.А., Листопадава В.В. КАФЕДРА МАТЕМАТИЧНОЇ ФІЗИКИ І
ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ: ВІД ЗАСНУВАННЯ ДО СУЧАСНОСТІ..... 87

Бороздих Н.В. МЕТОДИ ОРГАНІЗАЦІЇ МІЖДИСЦИПЛІНАРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ:
ЕПІСТЕМОЛОГІЧНІ ВИКЛИКИ ТА НОВІ ПІДХОДИ..... 92

Брюховських Д.І., Захарченко Р.В. ДО ІСТОРІЇ РОЗВИТКУ ЗАЛІЗНИЧНОЇ
ЕЛЕКТРОТЯГИ..... 97

Ванін В.В., Вірченко Г.А. РОЗВИТОК ОСВІТНЬОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ТА НАУКОВОЇ
ШКОЛИ КАФЕДРИ НАРИСНОЇ ГЕОМЕТРІЇ, ІНЖЕНЕРНОЇ ТА КОМП'ЮТЕРНОЇ
ГРАФІКИ КИЇВСЬКОГО ПОЛІТЕХНІЧНОГО ІНСТИТУТУ ІМ. ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО 101

Грушицька І.Б. ДО 100-РІЧЧЯ ВІДКРИТТЯ НАУКОВО-ДОСЛІДНОГО ІНСТИТУТУ
ФІЗИКИ В ОДЕСІ 107

Данилевич В.Ю. СПІВПРАЦЯ КИЇВСЬКОГО РЕНТГЕНІВСЬКОГО ІНСТИТУТУ І
НАУКОВОГО ІНСТИТУТУ СЕЛЕКЦІЇ: ІСТОРІЯ ПЕРШИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ ІЗ
РАДІАЦІЙНОЇ СЕЛЕКЦІЇ НА ТЕРЕНАХ УКРАЇНИ (1929)..... 112

Дудкін М.Є. РОЗВИТОК ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ У КИЇВСЬКОМУ
ПОЛІТЕХНІЧНОМУ ІНСТИТУТІ 117

<i>Журавель Б.О., Строкач М.С.</i> ІСТОРИЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ СЕГНЕТОЕЛЕКТРИКІВ В УКРАЇНІ: ВІД ФУНДАМЕНТАЛЬНОЇ НАУКИ ДО ТЕХНОЛОГІЙ ПРИЗНАЧЕННЯ В УМОВАХ ВІЙНИ	121
<i>Зарубіна Н.Є., Пономаренко Л.П., Дрозденко О.В.</i> ФОРМУВАННЯ ЯДЕРНИХ ПРОГРАМ ТА ПОШИРЕННЯ ЯДЕРНОЇ ЗБРОЇ У СВІТІ.....	125
<i>Зубаков М.І., Коваль О.О., Поліщук О.Б.</i> ІЗ ІСТОРІЇ НАБЛИЖЕНИХ МЕТОДІВ	132
<i>Іванова І.М., Подольська Д.С., Смірнов М.О., Поставнича О.О., Борсук В.В.</i> ТАОН ТА ТАОННЕ НЕЙТРИНО: ІСТОРІЯ ВІДКРИТТЯ І СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ	136
<i>Князький Л.Б., Гуменна І.Л.</i> ТЕОРЕТИК ЗАЛІЗНИЧНОГО РУХУ ЛЬВІВСЬКОЇ ПОЛІТЕХНІКИ – БАРОН РОМАН ГОСТКОВСЬКИЙ	139
<i>Клесов О.І.</i> РОЗВИТОК ТЕОРІЇ ЙМОВІРНОСТЕЙ, МАТЕМАТИЧНОЇ СТАТИСТИКИ ТА ТЕОРІЇ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ НА ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНОМУ ФАКУЛЬТЕТІ КПІ	144
<i>Козирський В., Тимочко М., Шендеровський В.</i> МИКОЛА ВИТРИХОВСЬКИЙ – ТЕХНОЛОГ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ МАТЕРІАЛІВ	149
<i>Константинова О.Ю., Цюпа А.М., Лук'яненко Е.В.</i> МОЖЛИВІСТЬ СТВОРЕННЯ СУЧАСНОГО ТУРИСТИЧНОГО СУДНА ДЛЯ НЕВЕЛИКИХ РІЧОК З ВИКОРИСТАННЯМ РОЗРОБОК УКРАЇНСЬКИХ СУДНОБУДІВНИКІВ У 1934-1936 РОКАХ.....	154
<i>Литвин А.Р., Ляшенко Т.І.</i> ЕВОЛЮЦІЯ ІГРОВОЇ ФІЗИКИ В КОНТЕКСТІ ІСТОРИЧНОГО РОЗВИТКУ ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНИХ НАУК.....	160
<i>Ляшенко Т.І., Пушкарь Р. М.</i> ВІДКРИТТЯ P-N ПЕРЕХОДУ ТА ЙОГО ЗНАЧЕННЯ ДЛЯ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОНІКИ.....	164
<i>Макаренко Д.С., Пономаренко Л.П.</i> РОЛЬ ВІЙНИ У РОЗВИТКУ ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНИХ НАУК	168
<i>Пічкур Т.В.</i> РОЗВИТОК ОСНОВНИХ НАПРЯМІВ ДАРВІНІЗМУ В УКРАЇНІ (друга половина ХІХ ст. – перша чверть ХХ ст.).....	174
<i>Приходько М.В., Скіцько І.Ф.</i> ТЕОРІЯ РУХУ КОМЕТ У ДОСЛІДЖЕННЯХ ОЛЕНИ КАЗИМИРЧАК-ПОЛОНСЬКОЇ.....	178

<i>Рижко Л.В.</i> ФОРМУВАННЯ ТА ЕВОЛЮЦІЯ НАУКОВОГО ДИСКУРСУ.....	182
<i>Савченко Д.В.</i> НАУКОВА ДІЯЛЬНІСТЬ ГРУПИ «ОПТИЧНІ, ЕЛЕКТРИЧНІ ТА МАГНІТНІ ВЛАСТИВОСТІ ШИРОКОЗОННИХ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ SiC» (ДО 30-РІЧЧЯ ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНОГО ФАКУЛЬТЕТУ).....	187
<i>Соколова К.Ю.</i> ТРАНСФОРМАЦІЯ ІННОВАЦІЙНОГО ЗАКОНОДАВСТВА УКРАЇНИ: ПРАВОВІ ВИКЛИКИ ТА ЕКОНОМІЧНІ ПЕРСПЕКТИВИ РЕГУЛЮВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ	194
<i>Солдатова Г.В.</i> ІНСТИТУТ ФІЗІОЛОГІЇ РОСЛИН І ГЕНЕТИКИ НАН УКРАЇНИ: ДО 80-РІЧЧЯ СТВОРЕННЯ.....	197
<i>Хоменко Є.В.</i> МАШИНОБУДІВНИЙ ЗАВОД ГРЕТЕРА І КРИВАНЕКА: ЕТАПИ СПЕЦІАЛІЗАЦІЇ (1882–1908 рр.).....	202
<i>Шептак С.С., Хромова А.І.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ УКРАЇНСЬКИХ БІОЛОГІВ ТА ХІМІКІВ У СФЕРІ ЛІКУВАННЯ ІНФЕКЦІЙНИХ ХВОРОБ У РОКИ ДРУГОЇ СВІТОВОЇ ВІЙНИ	208
<i>Юрченко В.А., Хіст В.В.</i> ІСТОРИЧНИЙ РОЗВИТОК РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ БОРОТЬБИ: ВІД ПЕРШИХ ПЕРЕШКОД ДО СУЧАСНИХ СИСТЕМ РЕБ.....	211
РОЗДІЛ III. ФІЗИКА ТА СУЧАСНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ СВІТ	215
<i>Горбачук В.М., Снівак Ю.В.</i> ВЛАСТИВОСТІ РОЗВ'ЯЗКІВ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ З ОПЕРАТОРНИМИ КОЕФІЦІЄНТАМИ У БАНАХОВОМУ ПРОСТОРИ НА НЕСКІНЧЕННОМУ ІНТЕРВАЛІ.....	215
<i>Годис І.А., Хіст В.В.</i> ДО ІСТОРІЇ РОЗВИТКУ ДРОНІВ-ПЕРЕХОПЛЮВАЧІВ ТА ФІЗИЧНІ ПРИНЦИПИ ЇХ ФУНКЦІОНУВАННЯ.....	219
<i>Джежеря Ю.І., Кирилюк А.В.</i> РІВНОВАЖНА КІНКОПОДІБНА КРУТИЛЬНА ДЕФОРМАЦІЯ МАГНІТОАКТИВНОГО ЕЛАСТОМЕРУ ПІД ДІЄЮ МАГНІТНОГО ПОЛЯ.....	225

<i>Dombrovska M.V., Kozlenko O.V., Kovalenko O.V., Shtofel O.O.</i> ENERGY RECOVERY IN ELECTRIC TRAIN CARS AS AN EXAMPLE OF THE PRACTICAL APPLICATION OF PHYSICAL AND MATHEMATICAL KNOWLEDGE IN TECHNICAL EDUCATION ...	230
<i>Кирилюк А.В., Джежеря Ю.І.</i> КРИТИЧНИЙ ВИГИН МАГНІТОАКТИВНОГО ЕЛАСТОМЕРА В ПРУЖНІЙ М'ЯКІЙ ЕЛАСТОМЕРНІЙ МАТРИЦІ	234
<i>Коцунд А.І., Хіст В.В.</i> ІНЖЕНЕРНІ ПРИНЦИПИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ГУМАНОЇДНИХ РОБОТІВ: ВІД ЗВОРОТНОГО МАЯТНИКА ДО НЕЙРОМЕРЕЖЕВОГО КЕРУВАННЯ	240
<i>Kulynych M.V., Gareeva F.M.</i> FUNDAMENTAL LAWS OF PHYSICS AS THE BASIS FOR THE DEVELOPMENT OF MODERN TECHNOLOGIES.....	247
<i>Куліш В.В., Єрьомін С.І.</i> ADVANCES IN SPIN WAVES IN NANOSYSTEMS BASED ON MAGNETICALLY ORDERED MATERIALS DURING 2021–2026	252
<i>Momot A.S., Yakunina N.O.</i> MINIMISATION OF THE PARASITIC ELECTROMAGNETIC COMPONENT IN BROADBAND PVDF ULTRASONIC TRANSDUCERS	256
<i>Мосюк О.О., Хіст В.В.</i> ВПЛИВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ІМПУЛЬСУ НА ЕЛЕКТРИЧНІ СИСТЕМИ ТА МЕТОДИ ЇХ ЗАХИСТУ	261
<i>Нестеренко Д.Д., Строкач М.С.</i> РОЗВИТОК ДОСЛІДЖЕНЬ ПРО КВАНТОВІ ТОЧКИ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ В ЕЛЕКТРОНІЦІ.....	265
<i>Орел А.Б., Муравська І.О., Лепеха В.В., Лінчевський І.В.</i> СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАННЯ ЖЕСТІВ ДЛЯ ВІДДАЛЕНОГО ВВЕДЕННЯ ТЕКСТУ ЛЮДЬМИ З ЗАХВОРЮВАННЯМИ МОТОРНОЇ СИСТЕМИ	269
<i>Підгайний Я.І., Марчук К.А., Іванова І.М.</i> ЧАРІВНІ МЕЗОНИ: ЩО МИ ЗНАЄМО ПРО НИХ ЗАРАЗ?	274
<i>Решетняк С.О.</i> СПІНОВІ ХВИЛІ: ВІД ТЕОРІЇ ДО СПІНТРОННИХ ПРИЛАДІВ.....	278
<i>Русаков В.Ф., Чабаненко В.В.</i> МАГНІТНІ ВЛАСТИВОСТІ НАДПРОВІДНИКІВ.....	283
<i>Стеценко О.Є, Хіст В.В.</i> ФІЗИЧНІ ОСНОВИ РОБОТИ СИСТЕМ ППО: ВІД ВИЯВЛЕННЯ ДО УРАЖЕННЯ ЦІЛІ	289
<i>Тарас Є-Д.І., Чижська Т.Г.</i> ІНФРАЗВУК: КОРИСНИЙ І ШКІДЛИВИЙ.....	295

<i>Татуєва Є.О., Лінчевський І.В.</i> ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ НАНОТЕХНОЛОГІЙ.....	298
<i>Українець Б.В., Іванова І.М.</i> ЧАСТИНКА МАЙОРАНИ ТА ЇЇ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ ПОШУК.....	302
<i>Ферт А.М., Джежеря Ю.І.</i> КОМПЛЕКСНА ОПТИМІЗАЦІЯ ТРАЄКТОРІЙ ТА АЛГОРИТМІВ КЕРУВАННЯ РУХОМ АВТОНОМНИХ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ	306
РОЗДІЛ IV. РОЗВИТОК ОСВІТИ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ. МЕТОДОЛОГІЯ НАВЧАННЯ ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНИХ НАУК	311
<i>Авдєєва Т.В.</i> ТЕОРЕМА БАЙЄСА ЯК МЕТОДОЛОГІЧНА ОСНОВА ДЛЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У ЦИФРОВУ ЕПОХУ	311
<i>Білевич В.Д., Жилінська О.І.</i> ФАКТОРИ ПРОФЕСІЙНОЇ АДАПТАЦІЇ ВЕТЕРАНІВ У РІЗНИХ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМАХ	316
<i>Bondarenko Y.Y., Chyzhska T.H.</i> METHODOLOGICAL ASPECTS OF INTRODUCING AND DEVELOPING THE CONCEPT OF WORK IN THE SCHOOL PHYSICS CURRICULUM.....	321
<i>Гавриленко А.М., Скіцько І.Ф.</i> ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ НА ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТТЯХ	325
<i>Дрозденко О.В., Кузь О.П.</i> ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА ОСВІТА ЯК ФУНДАМЕНТ ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ	330
<i>Duzhenko A.I., Gareeva F.M.</i> CHALLENGES AND ADVANTAGES OF USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE EDUCATIONAL PROCESS.....	333
<i>Єр'омін С.І., Куліш В.В.</i> ПАРАМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ ЯК ІНСТРУМЕНТ ФОРМУВАННЯ ДОСЛІДНИЦЬКОГО МИСЛЕННЯ.....	338
<i>Irlianova O.O., Gareeva F.M.</i> FROM SCHOOL TO UNIVERSITY: THE TRAJECTORY OF SOFT SKILLS FORMATION IN CONTINUOUS EDUCATION	342

<i>Котовський В.Й., Дунаєвський В.І., Назарчук С.С.</i> ІНФРАЧЕРВОНА ТЕРМОГРАФІЯ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ	346
<i>Кушлик-Дивульська О.І, Авдєєва Т.В., Козак В.І., Реверук К.О.</i> ЗНАЧИМІСТЬ ЧИСЛА π	356
<i>Литвиненко А.О., Кушлик-Дивульська О.І., Авдєєва Т.В.</i> МАТЕМАТИКА В ПОВСЯКДЕННОМУ ЖИТТІ	360
<i>Місaiлова М.В.</i> МЕМОРІАЛЬНИЙ МУЗЕЙ ОЛЕКСАНДРА ПАЛЛАДІНА ЯК ІНСТРУМЕНТ ІНТЕГРАЦІЇ ІСТОРИКО-НАУКОВИХ ЗНАНЬ У СИСТЕМУ ВИЩОЇ ОСВІТИ	365
<i>Пальцун С.В.</i> РОЛЬ КЛУБІВ ЛЮБИТЕЛІВ ФАНТАСТИКИ У ПОПУЛЯРИЗАЦІЇ ТА ПОШИРЕННІ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ ЗНАНЬ.....	368
<i>Подласов С.О., Снарський А.О.</i> ДОМАШНІ ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ В КУРСІ ФІЗИКИ ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ	373
<i>Posokhin M.S., Gareeva F.M.</i> TRANSFORMATION OF SOFT SKILLS: FROM SCHOOL DESK TO UNIVERSITY AUDITORIUM	376
<i>Ремізова О. О., Лінчевський І.В.</i> РОЗВИТОК ЗНАНЬ ПРО ВЛАСТИВОСТІ ГАЗІВ І РІДИН У БІОІНЖЕНЕРІЇ	380
<i>Savych I.M.</i> GENERATING FUNCTIONS AS A MATHEMATICAL TOOL: HISTORICAL DEVELOPMENT AND MODERN APPLICATIONS.....	383
<i>Селезньова Н.П., Рудик Т.О.</i> ГАЙД КУРСАМИ ДЛЯ МАТЕМАТИКІВ НТУУ «КПІ»... 388	
<i>Tarasov M.O., Gareeva F.M.</i> FROM FUNDAMENTAL KNOWLEDGE TO PROFESSIONAL COMPETENCE: THE EDUCATIONAL PATH OF A FUTURE SPECIALIST	393
<i>Tsukanova A.O.</i> HISTORICISMS IN MATHEMATICAL PRACTICAL CLASSES	397
<i>Khaidakina E.I., Gareeva F.M.</i> TIME MANAGEMENT AND SELF-ORGANIZATION OF STUDENTS IN THE CONTEXT OF ONLINE EDUCATION.....	401
<i>Шульга А.В., Авдєєва Т.</i> БРЕЙН-РИНГ У НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ.....	406

РОЗДІЛ I
РОЛЬ ОСОБИСТОСТІ В НАУЦІ. ФЕНОМЕН НАУКОВОЇ ТА
НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ШКОЛИ

Ванін В.В., Лебедєва О.О.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна
email: vaninvladimir30@gmail.com; email: olhalebedieva@gmail.com*

ДО 225-РІЧЧЯ ВІД ДНЯ НАРОДЖЕННЯ
МИХАЙЛА ВАСИЛЬОВИЧА ОСТРОГРАДСЬКОГО

Анотація. Стаття присвячена 225-річчю від дня народження видатного українського вченого та педагога Михайла Васильовича Остроградського, внесок якого у розвиток світової науки є загально визнаним.

Ключові слова: Михайло Остроградський, математична фізика, аналітична механіка, математичний аналіз, геометрія, теорія пружності, теорія тяжіння, теорія чисел, педагогіка.

Abstract. This article is dedicated to the 225th anniversary of the birth of the eminent Ukrainian scientist and educator Mykhailo Vasylovych Ostrogradskyi, whose contribution to global science is widely recognized.

Keywords: Mykhailo Ostrogradskyi, mathematical physics, analytical mechanics, mathematical analysis, geometry, elasticity theory, theory of gravitation, number theory, pedagogy.

Михайло Васильович Остроградський – один із найвидатніших математиків ХІХ століття. Завдяки таланту, глибині, сміливості розуму та

широкій математичній освіті Михайло Васильович у своїх наукових працях отримав видатні результати в багатьох галузях математики і механіки, зокрема в математичній фізиці, аналітичній механіці, математичному аналізі, геометрії, теорії пружності, теорії тяжіння, гідростатиці, гідродинаміці, балістиці, теорії удару, алгебрі та теорії чисел.

У 2001 році на честь 200-річчя від дня народження видатного українського вченого-математика за пропозицією Національної комісії України у справах ЮНЕСКО Михайла Остроградського було занесено до списку видатних математиків світу, а цю ювілейну дату внесено до Календаря пам'ятних дат ЮНЕСКО [1].

Великий вчений народився 24 вересня 1801 року на хуторі Пашенна (нині с. Пашенівка) неподалік від містечка Козельщина Кобеляцького повіту Полтавської губернії в небагатій дворянській родині. По батьківській лінії він походив з відомого козацького роду Остроградських, а мати Михайла Васильовича була з роду Сахно-Устимовичів, який, у свою чергу, мав родинні зв'язки з гетьманом Данилом Апостолом.

Після закінчення Полтавської гімназії майбутній учений мріяв про кар'єру військового, але П. Устимович – рідний брат матері – зміг переконати Михайла готуватися до вступу до Харківського університету. Восени 1816 року М. Остроградський став вільним слухачем, а згодом студентом відділення фізичних та математичних наук Харківського університету.

Справжній інтерес до навчання у Михайла викликали лекції з вищої математики професора Андрія Федоровича Павловського. Професор Павловський став першим науковим наставником талановитого учня [3].

Закінчивши у 1818 році університет, Михайло Остроградський вирішив присвятити себе математиці і ухвалив рішення їхати до Парижа, де на той час працювали такі великі вчені, як П. Лаплас, С. Пуассон, О. Коші, Ж. Фур'є.

Талант молодого вченого привернув їхню увагу. У 1825 році О. Коші у своїх мемуарах згадує про оригінальні дослідження молодого вченого, «обдарованого великою проникливістю та дуже вправного в аналізі нескінченно малих». Лаплас називає його своїм сином і перед смертю дарує одну зі своїх ще не надрукованих на той час праць [3].

У 1826 році Михайло Остроградський представив Паризькій академії наук свою першу наукову працю з поширення хвиль на поверхні рідини: «Мемуар про поширення хвиль у циліндричному басейні». Дослідженням цих проблем займалися тоді також П. Лаплас, Ж. Лагранж, С. Пуассон, О. Коші, але саме робота Остроградського була удостоєна найвищої відзнаки, яку одержували іноземні автори, – публікації в «Записках учених сторонніх академій» (1832). Успішне дослідження молодого вченого стало значним внеском у гідродинаміку [5].

У 1828 році М. Остроградський повертається з Парижа вже відомим ученим. Він подає до Академії наук три праці, в одній з яких наводить оригінальне виведення рівняння Пуассона, створює потужне математичне забезпечення для розв'язання задач математичної фізики (формулу Остроградського – Гаусса тощо) [2], [4].

Діапазон наукової творчості Михайла Остроградського був надзвичайно широким. Учений займався аналітичною механікою, теорією удару, балістикою, варіаційним численням, алгеброю, теорією чисел, теорією ймовірностей тощо.

Цикл праць М. Остроградського з теорії інтегрування алгебраїчних функцій, започаткованої Н. Абелем, К. Гауссом і К. Якобі, поряд із роботами Ліувілля, справив помітний вплив на її подальший розвиток.

М. Остроградському належить чимало праць із конкретних задач математичної фізики, алгебри, спеціальних функцій, геометрії, теорії ймовірностей. Багато його теорем і формул увійшли до курсів математичного аналізу і диференціальних рівнянь.

Значна частина наукових праць М. Остроградського стосується механіки. Незалежно від відомого ірландського вченого У. Гамільтона він довів один з основоположних законів механіки – принцип найменшої дії; одержав узагальнене рівняння, яке знайшло численні застосування в сучасній фізиці під час вивчення руху частинок, в астрономії тощо [2, 4].

Як учений, М. Остроградський був видатним лектором та педагогом. Він присвячував свої наукові праці також методиці викладання у навчальних закладах. Головну мету освіти М. Остроградський вбачав у тому, щоб пробудити здатність до самостійного мислення. Великого значення вчений надавав підвищенню ролі фундаментальних знань в інженерно-технічних закладах освіти, формуванню технічної інтелігенції. Він залишив після себе велику кількість талановитих послідовників, серед яких відомі вчені у галузях теорії автоматичного регулювання – І. Вишнеградський, гідродинамічної теорії тертя – М. Петров, теорії розрахунку в мостобудуванні – Д. Журавський, фортифікації – Ц. Кюї [2, 5].

Наукові здобутки Михайла Остроградського були визнані вченими всього світу. Михайло Остроградський був обраний почесним доктором Віленського та Гельсінгфорського університетів, членом-кореспондентом Паризької академії наук, членом Американської, Римської та інших академій і наукових товариств. Наукові досягнення видатного українського вченого ще за життя високо оцінили сучасники. За життя М. Остроградський опублікував понад 100 наукових праць і написав більше ніж 60 наукових рецензій, зокрема на роботи Миколи Лобачевського. Критерієм цінності наукових праць він вважав їх практичне застосування.

Нині широко відомі рівняння Остроградського, метод Остроградського, формула Остроградського–Гаусса, принцип Остроградського–Гамільтона; у наукових журналах з математичної фізики з'явилися нові терміни: механіка

Остроградського, квантова теорія поля Остроградського, варіаційні принципи Остроградського [2, 5].

Завдяки добродійній матеріальній підтримці математичної секції Наукового товариства ім. Шевченка в Америці та зусиллями ювілейного оргкомітету у Полтаві споруджено пам'ятник Михайлу Остроградському.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Василенко, О. (2001). *Україна – світовій математиці: до 200-річчя від дня народження Михайла Остроградського*. Освіта.
- [2] Григоренко, М. О. (2001). *Михайло Васильович Остроградський – видатний математик і педагог*. Хмельницький: Збірник наукових праць.
- [3] Добровольський, В. О. (2001). *Михайло Васильович Остроградський: нарис життя та діяльності*. Київ: Інститут математики НАН України.
- [4] Шендеровський, В. (2009). *Нехай не гасне світ науки. Кн. 1: Остроградський Михайло – великий український математик*. Київ.
- [5] Відділ наукової інформації та бібліографії Чернігівської обласної універсальної наукової бібліотеки імені Софії та Олександра Русових. (2023). *Михайло Васильович Остроградський (1801–1862)*. <https://secinfchounbk.blogspot.com/2014/12/18011862.html>

Диховичний О.О., Ферт А. М.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна*

email: fert47336@gmail.com

НАУКОВО-ПЕДАГОГІЧНА СПАДЩИНА ЄВГЕНА ВІКТОРОВСЬКОГО – «УКРАЇНСЬКОГО ГАЛУА»

Анотація. Доповідь висвітлює життєвий і науковий шлях Є.Є.Вікторовського – видатного українського математика, ідеї якого на десятиліття випередили свій час. Проаналізовано вплив історичних обставин на формування його інтелектуального розвитку, а також ключовий науковий результат – розвиток теорії диференціальних рівнянь із розривною правою частиною. Окрему увагу приділено педагогічній діяльності вченого в КПІ та міжнародному визнанню його наукового доробку, зокрема впровадженню в науковий обіг понять «розв'язок у сенсі Вікторовського» та «воронки Вікторовського».

Ключові слова: історія математики, диференціальні рівняння, Євген Вікторовський, теорія оптимального керування, Київський політехнічний інститут, розривні оператори.

Abstract. The report explores the life and scientific journey of Y.Y.Viktorovskiy, an outstanding Ukrainian mathematician whose ideas were decades ahead of their time. The influence of historical events on the formation of his intellect is analyzed, as well as his key scientific breakthrough — the development of the theory of differential equations with a discontinuous operator. Special attention is paid to the scientist's pedagogical activity at KPI and the international recognition of his work, in particular, the emergence of the concepts of "Viktorovsky solution" and "Viktorovsky funnels".

Keywords: history of mathematics, differential equations, Yevhen Viktorovskyi, optimal control theory, Kyiv Polytechnic Institute, discontinuous operators.

XX століття поставило перед математиками новий виклик – перехід до дослідження складних динамічних систем. У цьому контексті постать Євгена Вікторовського (1926–1956) вирізняється як виняткова. Сучасники не дарма називали його «українським Галуа» [1]. Його становлення відбувалося на перетині родинних традицій та складних історичних обставин [2].

У роки Другої світової війни юнака було депортовано до Німеччини на примусові роботи. У цей період він самостійно опанував кілька європейських мов [2]. Це дало змогу Вікторовському читати праці провідних математиків мовами оригіналу, що забезпечило йому суттєву інтелектуальну перевагу в умовах інформаційної ізоляції радянської науки [3]. Після повернення до Києва, попри адміністративні труднощі, він за три роки екстерном завершив навчання у вчительському інституті [2]. Його здібності були відзначені відомими вченими Є.Ремезом та О.Смогоржевським, які сприяли отриманню ним посади асистента кафедри вищої математики в КПІ [1].

Головний науковий результат Вікторовського полягав у тому, що він звернувся до задач, які тогочасна наукова спільнота вважала майже нерозв'язними. Досліджуючи системи зі стрибкоподібними змінами, математик запропонував новий метод для диференціальних рівнянь із розривною правою частиною – так звані «поля конусів напрямків» [2, 3]. Там, де класична наука орієнтувалася на пошук єдиної гладкої траєкторії, Вікторовський працював із сукупностями кривих. Це дало змогу довести теореми існування розв'язків у випадках, для яких традиційні методи виявлялися неефективними [4].

Фактично, його підхід передував формулюванню принципу максимуму Понтрягіна і заклав підґрунтя для розвитку сучасної теорії оптимального

керування [3]. Захист його дисертації у 1956 році привернув значну увагу наукової спільноти: отримані результати виявилися настільки переконливими, що вчена рада ухвалила виняткове рішення. Без присвоєння ступеня кандидата наук молодому дослідникові було одразу надано ступінь доктора фізико-математичних наук [1].

Згодом ці ідеї набули поширення у світовій науковій літературі. У науковому обігу закріпилися терміни «розв’язок у сенсі Вікторовського» [3] та «воронки Вікторовського» [2, 4]. Водночас у стінах КПІ професор працював як викладач. Студенти відзначали його виняткову швидкість мислення: складні інтеграли він обчислював усно, без використання допоміжних записів [2].

На жаль, 19 грудня 1956 року тяжка хвороба призвела до передчасної смерті вченого. Для української науки ця втрата мала значні наслідки [1]. І хоча весь його науковий спадок обмежується шістьма публікаціями, їхня цінність є вагомим. Вони є свідченням здатності української математичної школи генерувати ідеї світового рівня [2].

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] КПІ ім. Ігоря Сікорського. (2016). До 90-річчя від дня народження Євгена Вікторовського.
- [2] КПІ ім. Ігоря Сікорського. (1968). Viktorovsky Evgen – “Ukrainian Galua”.
- [3] Sussmann, H. J. (1998). The Cold War and the Maximum Principle of Optimal Control. ResearchGate.
- [4] Kikuchi, N. (1980). On the Scorza-Dragoni property of Filippov mappings. Tohoku Mathematical Journal, 32(2).

Качкалда І. С., Листопадова В. В.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний

інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

email: kachkaldaira108@gmail.com; listopadovavv@gmail.com

ВНЕСОК АКАДЕМІКА А. М. САМОЙЛЕНКА У ФОРМУВАННЯ СУЧАСНОЇ ІНЖЕНЕРНО-МАТЕМАТИЧНОЇ ШКОЛИ

Анотація. У роботі розглядається життєвий шлях, наукова та педагогічна діяльність видатного українського математика, академіка НАН України А. М. Самойленка. Дослідження присвячене 30-річчю фізико-математичного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського та підкреслює значний вплив ученого на формування сучасної інженерно-математичної школи університету. Головна мета – продемонструвати, як класична фундаментальна математика перетворюється на практичний інструмент для розв’язання прикладних інженерних задач. На прикладі видатних здобутків ученого, зокрема розробки чисельно-аналітичного методу та теорії збурень інваріантних тороїдальних многовидів, показано застосування абстрактної науки для моделювання складних коливальних процесів. Окрему увагу приділено організаторському та викладацькому таланту академіка, чийі наукові методи і сьогодні слугують фундаментальною теоретичною базою для проведення точних розрахунків і підготовки висококваліфікованих інженерів.

Ключові слова: Анатолій Михайлович Самойленко, Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського, теорія диференціальних рівнянь, нелінійна механіка, чисельно-аналітичний метод, математичне моделювання, фізико-математичний факультет, інваріантні тороїдальні многовиди.

Abstract. The paper explores the life, scientific, and pedagogical activities of the prominent Ukrainian mathematician, Academician of the National Academy of

Sciences of Ukraine, A. M. Samoilenko. The research is dedicated to the 30th anniversary of the Faculty of Physics and Mathematics at Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute and emphasizes the scientist's significant impact on the formation of the university's modern engineering-mathematical school. The main goal is to demonstrate how classical fundamental mathematics transforms into a practical tool for solving applied engineering problems. Through the example of the scientist's outstanding achievements, particularly the development of the numerical-analytic method and the perturbation theory of invariant toroidal manifolds, the paper illustrates the application of abstract science in modeling complex oscillatory processes. Special attention is paid to the academician's organizational and teaching talents, whose scientific methods continue to serve as a fundamental theoretical basis for precise calculations and the training of highly qualified engineers.

Keywords: Anatoly Mykhailovych Samoilenko, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, theory of differential equations, nonlinear mechanics, numerical-analytic method, mathematical modeling, Faculty of Physics and Mathematics, invariant toroidal manifolds.

Вища математика відіграє значущу роль у інженерній галузі знань, адже є не лише обов'язковою дисципліною, а й інструментом для моделювання реальних фізичних та технічних процесів [3]. Особливе місце у цій галузі належить академіку Анатолію Михайловичу Самойленку (1938–2020), який очолював Інститут математики НАН України впродовж багатьох років і є класиком світової теорії диференціальних рівнянь. Анатолій Самойленко показав, що абстрактна математика є ефективною для інженерів: вона дозволяє створювати різні складні системи та процеси не лише у техніці, а й у природі.

Анатолій Михайлович Самойленко народився 2 січня 1938 року в селі Потіївка на Житомирщині. У 1960 році з відзнакою закінчив університет, після чого вступив до аспірантури Інституту математики АН УРСР. Закінчивши

аспірантуру і успішно захистивши кандидатську дисертацію, Анатолій Самойленко протягом 11 років працював в Інституті математики. У 1965 році вчений запропонував та довів новий ефективний метод відшукування періодичних розв'язків суттєво нелінійних диференціальних рівнянь, який і досі відомий як «чисельно-аналітичний метод Самойленка». У 1967 році видатний математик захистив докторську дисертацію на тему «Деякі питання теорії періодичних і квазіперіодичних систем», ставши наймолодшим доктором наук України. Протягом 1974 – 1987 років Самойленко очолював кафедру інтегральних та диференціальних рівнянь Київського державного університету ім. Т. Г. Шевченка. З його приходом на кафедру активізувалася науково-дослідна робота. У 1978 році був обраний членом-кореспондентом Академії наук УРСР [2]. У 1987 році Анатолій Самойленко повернувся до Інституту математики та у 1988 році став його директором, обіймаючи цю посаду 32 роки. За ці роки він довів, що є не тільки видатним ученим, а й ефективним організатором науки. У 1995 році Самойленка було обрано академіком Національної академії наук України, а згодом він став академіком-секретарем Відділення математики НАН України [2]. У 2001 та 2009 роках за його участю було проведено українські математичні конгреси. Протягом свого наукового життя вчений опублікував близько 400 наукових праць, серед яких 30 монографій та 15 навчальних посібників. Більше того, Анатолій Самойленко заснував відому наукову школу з теорії багаточастотних коливань та теорії імпульсних систем – напрям, що й досі залишається актуальним [1]. Його наукові досягнення були відзначені Державними преміями України (1985, 1996) та преміями імені М. М. Крилова (1981) та імені М. М. Боголюбова (1998) [2].

Анатолій Самойленко продовжував традиції Київської школи нелінійної механіки, яка була заснована М. М. Криловим, М. М. Боголюбовим та Ю. О. Митропольським [2]. Ці вчені створили фундамент, на якому базується опис коливальних процесів у природі та техніці – від механічних систем до

електричних кіл. Самойленко не просто успадкував цей напрям, а суттєво його розвинув. Його наукові дослідження розпочалися в період активного розвитку кібернетики та космічної галузі, що вимагало принципово нових методів опису складних систем.

Важливим етапом його діяльності стала робота в КПІ ім. Ігоря Сікорського. Протягом 1998 – 2001 років Анатолій Михайлович очолював кафедру диференціальних рівнянь університету [2]. За визначний внесок у розвиток наукової школи університету академіку було присвоєно звання Почесного доктора КПІ ім. Ігоря Сікорського [2]. Методи аналізу коливальних систем ученого забезпечили конкретний теоретичний інструментарій для розв’язання задач, що сприяло тіснішому поєднанню академічної науки з навчальним процесом.

Для КПІ ім. Ігоря Сікорського, де створено потужні школи механіки та електротехніки, методи Самойленка стали теоретичною базою для розрахунку складних задач. Це стосується як класичних проблем, так і сучасних розробок; учений переконливо довів, що математика є критично важливою для інженерів у проведенні точних розрахунків.

Окрім цього, Самойленко створив завершену теорію збурень інваріантних тороїдальних многовидів [2]. Він довів, що навіть під дією малих зовнішніх збурень інваріантний тор зберігає свою структуру. Це фундаментальне знання використовується сьогодні під час проєктування супутникових систем та стабілізації режимів напруги у великих електричних мережах.

Анатолій Михайлович відзначався як видатний організатор науки, який глибоко усвідомлював критичну роль молодого покоління у процесі розвитку держави. Тому, очолюючи Інститут математики НАН України, він розробив численні програми підтримки студентів та молодих учених [1]. Його підручник «Диференціальні рівняння» досі залишається базовим для студентів технічних спеціальностей багатьох ЗВО країни [4].

Результати робіт Самойленка з нелінійної механіки та диференціальних рівнянь активно використовуються у дослідженнях молодих науковців, допомагаючи розв'язувати складні прикладні задачі. З нагоди 30-річчя ФМФ КПІ ми з особливою шаную згадуємо його ідеї, які й досі використовуються в навчальних програмах, наукових працях викладачів та проектах студентів. Отже, наукові методи А. М. Самойленка залишаються дієвим інструментом сучасної інженерної освіти та базою для розв'язання складних прикладних задач.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Інститут математики НАН України. (н.д.). *Персональна сторінка А. М. Самойленка.*
- [2] КПІ ім. Ігоря Сікорського. (н.д.-а). *Біографія Самойленка А. М. та його методи.*
- [3] КПІ ім. Ігоря Сікорського. (н.д.-б). *Про факультет.*
- [4] Самойленко А. М. (2003). *Диференціальні рівняння: підручник.* Либідь.

Кириченко А.В., Братусь Т.І.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна
email: artemkyryshenko727@gmail.com; tatjana.bratus@gmail.com*

ПРОФЕСОР МИХАЙЛО В'ЯЧЕСЛАВОВИЧ БІЛОУС – ВІДОМИЙ УКРАЇНСЬКИЙ ФІЗИК І МАТЕРІАЛОЗНАВЕЦЬ

Анотація. У статті розглянуто біографію та основні етапи трудової діяльності відомого українського вченого, професора Білоуса Михайла В'ячеславовича, який понад 30 років завідував кафедрою загальної фізики і фізики твердого тіла КПІ імені Ігоря Сікорського. Професор М. В. Білоус – знаний фахівець у галузі теорії та практики фазових перетворень у сталях, а також фізики тонких плівок.

Ключові слова: відомий фізик, науково-дослідна робота, завідувач кафедри.

Abstract. The paper examines the biography and main stages of the professional activity of a prominent Ukrainian scientist, Professor Mykhailo Vyacheslavovych Bilous, who headed the Department of General Physics and Solid State Physics at Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute for over 30 years. Professor M. V. Bilous is a well-known specialist in the theory and practice of phase transformations in steels and in the physics of thin films.

Keywords: prominent physicist, research activity, head of department.

Михайло В'ячеславович народився 29 листопада 1930 року в місті Сімферополі, де його батько був лікарем. У 1954 році, після закінчення з відзнакою КПІ за спеціальністю «Фізика металів», М. В. Білоуса було залишено працювати асистентом щойно створеної кафедри термічної обробки і фізики металів, яку очолював академік В. Н. Гриднєв. Усе його подальше життя упродовж майже 60 років було тісно пов'язане з Київським політехнічним інститутом [1]. Саме тут відбулися становлення та непересічна діяльність



29.11.1930 – 26.01.2008

надзвичайно талановитого викладача-науковця, тонкого експериментатора й аналітика, організатора науки і навчання, усіма улюбленої та шанованої людини високого інтелекту й освіченості.

Широке коло наукових інтересів у галузі фізичного матеріалознавства, блискуча викладацька робота, насичена громадська й організаційна діяльність, працелюбність впливали на формування багатогранної особистості Михайла В'ячеславовича.

Захист кандидатської, а згодом, у 1972 році, докторської дисертації, стажування в Іллінойському університеті (США), присудження звання Соросівського професора (1996), звання заслуженого професора НТУУ «Київський політехнічний інститут» (1998), високофахова робота у вчених радах Інституту металофізики НАН України та Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського, понад 30 років (з 1973) завідування кафедрою загальної фізики і фізики твердого тіла КПІ імені Ігоря Сікорського – це лише окремі віхи життя та діяльності М. В. Білоуса [1].

Професор М. В. Білоус – знаний фахівець у галузі теорії та практики фазових перетворень у сталях, фізики тонких плівок, автор понад 160 наукових праць, двох десятків монографій і підручників з фізики та фізики металів, які стали незамінними посібниками для цілої плеяди студентів, викладачів, аспірантів, наукових співробітників. Він був відомим ученим у сфері фізики конденсованого стану. М. В. Білоус виконав глибокі дослідження з фазових перетворень у сталях, фізичного матеріалознавства тонких плівок, впливу процесів на поверхні на розвиток дифузійного масопереносу в об'ємі, дифузійного формування структури й фізичних властивостей металевих та споріднених систем. Він підготував понад 20 кандидатів та двох докторів

технічних наук. Основні праці М. В. Білоуса: «Перетворення при відпуску сталі» (1973), «Фізика металів» (1986, 1992), «Фізика» (1991) [2].

Михайло В'ячеславович – улюблений викладач багатьох поколінь студентів Київської політехніки, який умів не тільки майстерно зацікавити своїх слухачів, а й спонукати їх замислюватися над природою складних фізичних процесів, навчав розв'язувати різноманітні наукові проблеми. Михайло В'ячеславович ніколи не залишав без відповіді запитання студентів на лекціях і ніколи не забував продовжити обговорення, якщо вони здавалися йому дискусійними або нестандартними.

Інтелігентний, витриманий, бездоганно коректний... Іншим Михайла В'ячеславовича ми не знали. Однак, незважаючи на зовнішню м'якість, у відстоюванні принципових речей він був непохитний. Не прощав неуцтва. Усе, що міг зробити для поліпшення дисертацій здобувачів, робив, але якщо був проти з принципових міркувань, то залишався принциповим до кінця.

Михайло В'ячеславович мав глибокі, енциклопедичні наукові знання, широкі й різнобічні наукові інтереси. Про це свідчать не тільки написані ним монографії й підручники, нові актуальні наукові проєкти й підготовлені під його керівництвом дисертації, а й величезна кількість виступів як опонента на докторських і кандидатських дисертаціях. Його авторитет у наукових колах Національної академії наук України й системи вищої освіти України був винятково високим [3].

Унікально поєднавши в собі досвід багатьох сфер життя, Михайло В'ячеславович володів даром бачити те, що іншим було не дано. І сьогодні він немов приходить до нас – не з минулого, а ніби з майбутнього, у якому ми хотіли б бачити себе кращими, ніж, напевно, є сьогодні. Не стверджуючи безпосередньо, він своїм життям переконував, що таке майбутнє справді привабливіше.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Київський політехнік. (2010). № 37. Фізика. Білоус Михайло В'ячеславович.
- [2] Хто є хто: довідник. (1998). Професори Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Київ: Освіта, с.17.
- [3] Київський політехнік. (2011). № 2. Фізика. Білоус Михайло В'ячеславович.

Кошель А. Р., Листопадова В. В.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна
email:angelinakoshel0207@gmail.com; listopadovavv@gmail.com*

ПРОФЕСОР ВАЛЕНТИН АНАТОЛІЙОВИЧ ЗМОРОВИЧ В ІСТОРІЇ КИЇВСЬКОЇ ПОЛІТЕХНІКИ

Анотація. У тезах висвітлено науково-педагогічну діяльність математика В. А. Зморовича. Розкрито його внесок у геометричну теорію аналітичних функцій, багаторічне керівництво кафедрою вищої математики Київського політехнічного інституту та вагому роль у підготовці інженерних і наукових фахівців.

Ключові слова: історія науки, Київський політехнічний інститут, Валентин Зморович, геометрична теорія аналітичних функцій, вища математика.

Abstract. This paper explores the scientific and pedagogical activity of mathematician V. Zmorovych. His contribution to the geometric theory of analytic functions, his long-term leadership of the Department of Higher Mathematics at the Kyiv Polytechnic Institute, and his significant role in training engineering and scientific specialists are highlighted.

Keywords: history of science, Kyiv Polytechnic Institute, Valentyn Zmorovych, geometric theory of analytic functions, higher mathematics.

Історія Київського політехнічного інституту нерозривно пов'язана з іменами видатних науковців, які формували його авторитет і наукові школи. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю збереження історичної пам'яті про фундаментальний внесок українських математиків у розвиток науки та вищої освіти. Тому, метою цієї роботи є комплексне висвітлення життєвого

шляху, наукових здобутків і педагогічної спадщини професора Валентина Анатолійовича Зморовича – визначного математика, який відіграв важливу роль у становленні математичної підготовки в Київській політехніці.

Майбутній науковець народився 6 вересня 1909 року в Києві, у родині викладача гімназії. Вищу освіту В. А. Зморович здобував у 1928–1932 роках на фізико-математичному факультеті Київського інституту народної освіти (нині КНУ ім. Тараса Шевченка) [1]. Вирішальний вплив на формування його наукового світогляду справило наставництво представників Київської математичної школи — академіків АН УРСР Д. О. Граве та М. П. Кравчука, а також члена-кореспондента Н. І. Ахієзера [1].

За рекомендацією М. П. Кравчука та Н. І. Ахієзера у 1932 році В.А.Зморович розпочав викладацьку діяльність у Київському політехнічному інституті (на той час – Київському індустріальному інституті). У 1934 році він опублікував першу наукову працю, а в 1937 році захистив кандидатську дисертацію [1]. Період професійного становлення В. А. Зморовича припав на час політичних репресій. Свідченням його громадянської позиції стала відмова брати участь у публічному засудженні свого вчителя – академіка М. П. Кравчука, заарештованого у 1938 році [1]. Попри ідеологічний тиск і ризики для професійної діяльності, В.А.Зморович разом із дружиною заявили про переконаність у невинуватості вченого [1].

У роки Другої світової війни, під час евакуації інституту до Ташкента (1941–1944), В. А. Зморович поєднував викладацьку діяльність із виконанням прикладних розрахунків для потреб оборонної промисловості. Після повернення до Києва у 1944 році він зосередився на розвитку досліджень у галузі геометричної теорії функцій, результати яких стали основою його докторської дисертації [1].

У 1950 році науковець здобув ступінь доктора фізико-математичних наук за результатами дослідження «Дослідження з теорії аналітичних та узагальнених

аналітичних функцій», після чого йому було присвоєно звання професора. Основним напрямом його наукової діяльності була геометрична теорія аналітичних функцій, зокрема дослідження спеціальних класів функцій, регулярних та однолистих у крузі, круговому кільці, необмеженій круговій області та n -зв'язних кругових областях. Важливим результатом стала побудова узагальнень класичних інтегральних формул Пуассона, Шварца, Рісса–Герглотца та їх поширення на n -зв'язні кругові області [1]. Ці результати закріпилися в науковій літературі під назвою «формули В.А.Зморовича». Завдяки їм класи аналітичних функцій отримали зображення у вигляді Стілтєсових функціоналів [1].

У 1951 році загальноінститутську кафедру математики КПІ було поділено на кафедру вищої математики та кафедру математичної фізики. В.А. Зморовича призначено завідувачем кафедри вищої математики, яку він очолював до 1967 року [2]. Того ж року з його ініціативи було створено спеціалізований математичний семінар з теорії однолистих функцій комплексної змінної, а також теорії нескінченних рядів і нерівностей [1]. В.А.Зморович залишався його керівником до 1987 року [2]. Розроблені ним лекційні курси відзначалися чіткою логічною структурою та глибоким теоретичним обґрунтуванням, що забезпечувало високий рівень підготовки фахівців.

Важливим напрямом діяльності В. А. Зморовича була підготовка наукових кадрів. Показовим є захист Є. Є. Вікторовського. За його наукового керівництва спеціалізована вчена рада КПІ, враховуючи високий рівень дослідження, одразу присудила авторові ступінь доктора фізико-математичних наук [1]. Передавши керівництво кафедрою у 1973 році, В.А.Зморович продовжив науково-педагогічну діяльність як професор кафедри вищої математики №1 до 1987 року [1].

За багаторічну науково-педагогічну діяльність професора В.А.Зморовича було відзначено державними нагородами, зокрема двома орденами Пошани та низкою медалей [1]. Життєвий шлях ученого завершився у лютому 1994 року.

Діяльність професора В. А. Зморовича є вагомим внеском у розвиток математичної науки та освіти. Його результати в галузі геометричної теорії аналітичних функцій розширили теоретичну базу математики, а багаторічна робота в Київському політехнічному інституті сприяла підготовці кваліфікованих інженерних і наукових кадрів. Наукова спадщина вченого зберігає значення для сучасних досліджень.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

[1] Зморович Валентин Анатолійович. До 100-річчя з дня народження вченого-математика і педагог. (2009). КПІ ім. Ігоря Сікорського. <https://kpi.ua/zmorovych-about>

[2] Історія кафедри математичного аналізу та теорії ймовірностей. КПІ ім.Ігоря Сікорського. <https://matan.kpi.ua/uk/history-of-the-department.html>

Литвинко А.С., Звонкова Г.Л., Дороніна Г.А.

ДУ «Інститут досліджень науково-технічного потенціалу та історії науки ім. Г. М. Доброва НАН України», м. Київ, Україна

email: alla.litvinko@gmail.com

ЮРІЙ ХРАМОВ ТА ІНСТИТУАЛІЗАЦІЯ ІСТОРІЇ НАУКИ Й ТЕХНІКИ В УКРАЇНІ

Анотація. У статті висвітлено внесок професора Ю. Храмова та його наукової школи в інституціоналізацію та методологію досліджень з історії науки й техніки в Україні.

Ключові слова: історія науки й техніки, Юрій Храмов, наукова школа.

Abstract. The article highlights Professor Yu's contribution. Khramov and his scientific school to the institutionalization and methodology of research on the history of science and technology in Ukraine.

Keywords: history of science and technology, Yuriy Khramov, scientific school.



14.05.1933 – 28.06.2025

Історія науки й техніки як науковий напрям має суттєвий загальнокультурний, популяризаційний та іміджевий потенціал. Її становлення та розвиток в Україні значною мірою пов'язані з діяльністю відомого українського вченого та організатора науки, фундатора київської наукової школи істориків науки й техніки, доктора фізико-математичних наук, професора, президента Українського товариства істориків науки Юрія Храмова, зnanого своїми працями з історії фізики, теорії та історії наукових шкіл, історії НАН України, історії Києва, наукового книговидання.

Дослідник народився 14 травня 1933 року у Харкові в родині науковця. Наукова традиція продовжилася й у власній сім'ї вченого – дружина Вікторія Храмова та син Юрій Павленко стали визнаними філософами, професорами, докторами філософських наук в галузі категоріального синтезу теоретичного знання та історії цивілізаційного розвитку. Молодший син Олексій Храмов – відомий фахівець у галузі видавничої справи.

У 1956 році Юрій Храмов закінчив фізико-математичний факультет Київського педагогічного інституту, у 1956–1959 роках працював викладачем фізики в середній школі № 117 у Києві, у 1960–1964 роках – науковим редактором Української енциклопедії. Надалі його діяльність була пов'язана з Національною академією наук України. У 1964–1992 роках науковець працював у видавництві «Наукова думка» (з 1967 – головний редактор, у 1975–1986 – директор). Очолюване Ю. Храмовим видавництво стало центром академічного наукового книгодрукування в Україні, яке здійснило значний внесок також у сферу культури. Було започатковано та видано 12 томів багатотомної серії «Бібліотека української літератури», тритомний словник наукової термінології, семитомну монографію про природу України, 50-томне зібрання творів Івана Франка, серії біографій діячів науки, тематичні енциклопедичні довідники, книги з української історії, культури, мови, мистецтвознавства, літератури, становлення природничих, технічних і гуманітарних наук в Україні. Окремі фрагменти історії науки України, написані під орудою вченого, увійшли як розділи до п'ятитомної монографії «Історія української культури». Він став одним із авторів і відповідальним редактором довідкового тритомного видання про Київ – «Нарис історії Києва», «Визначні пам'ятки Києва» та «Кияни».

Протягом 1986 – 2023 років Ю. Храмов очолював відділ історії науки і техніки Центру досліджень науково-технічного потенціалу та історії науки АН УРСР (нині – відділ історії та соціології науки і техніки, ДУ «Інститут досліджень науково-технічного потенціалу та історії науки ім. Г. М. Доброва НАН України»). У 2024–2025 роках обіймав посаду головного наукового

співробітника. За час керівництва Ю. Храмова відділ став координаційним центром наукових студій з історії науки й техніки в Україні. За його підтримки в Україні було створено мережу регіональних осередків з вивчення історії науки й техніки, зокрема, профільні кафедри в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» та в Державному університеті інфраструктури та технологій.

Вчений першим серед українських науковців у 1988 році захистив докторську дисертацію зі спеціальності «Історія науки й техніки» на тему «Історико-науковий аналіз виникнення та розвитку провідних фізичних шкіл першої половини ХХ ст. та їхнього внеску у створення основ сучасної фізики», де було досліджено передумови виникнення, форми та особливості наукових шкіл; розроблено модель для виявлення наукових шкіл у фізиці та показано можливість її застосування в інших науках.

Чимало сил та енергії Юрій Храмов віддавав науково-організаційній та громадській діяльності. З 1993 по 2025 роки він – засновник і президент Українського товариства істориків науки; з 1986 року – головний редактор періодичного збірника «Нариси з історії природознавства і техніки» та у 1997–2007 рр. – біографічного щорічника «Імена України»; з 2000 року – заступник головного редактора журналу «Наука і наукознавство», з 2005 року – культурологічного журналу «Софія». У 1981–1992 роки вчений був членом Національної Комісії України у справах ЮНЕСКО, з 1986 року – керівником Всеукраїнського наукового семінару з історії науки й техніки, у 2004–2021 роках – головою Спеціалізованої вченої ради із захисту докторських і кандидатських дисертацій зі спеціальності «Історія науки і техніки», в якій було захищено 43 дисертації. Науковець підготував 7 докторів та 16 кандидатів наук з історії науки й техніки. Як вчений високої кваліфікації, який збагатив історію і культуру України вагомими результатами, Ю. Храмов був відзначений орденом «Знак Пошани» (1981).

Значущим є впровадження результатів Ю. Храмова, які використовуються в курсах з історії науки в університетах і наукових працях вчених. Дослідник розробив наукові засади національної історії науки України, показав, що її необхідно відтворювати в контексті розвитку світової науки, а також національної історії та особливостей суспільно-культурного розвитку. Історія фізики у працях Ю. Храмова розглядається як еволюція фундаментальних ідей, теорій і окремих напрямів у межах розробленої періодизаційної схеми з урахуванням історико-культурного контексту, історичної біографістики провідних науковців-фізиків й діяльності колективів дослідників. Такий підхід дозволив запровадити в науковий обіг чимало нових і маловідомих фактів з історії фізики, відновити пріоритети. Це втілювалося у понад 400 наукових праць вченого, серед яких 14 індивідуальних та 26 колективних монографій, 3 науково-популярні книги. Наприклад, у монографії «Біографія фізики» (1987) зібрано понад 4000 відкриттів, винаходів та теорій, розкрито їх зміст та значення для подальшого розвитку науки, дано характеристику основних етапів розвитку фізики. У монографіях «Фізика. Історія фундаментальних ідей, теорій та відкриттів» (2012) та «Історія фізики» (2015) вчений запропонував інноваційну модель історії фізики.

Важливим науковим напрямом Ю. О. Храмова є вивчення формування та розвитку неформальних творчих колективів (наукових шкіл), які є осередками інтенсивної концентрації творчої енергії та забезпечують розширене відтворення наступних поколінь дослідників під керівництвом наукового лідера. Визначними стали монографії Ю. Храмова «Наукові школи у фізиці» (1977), «Історія формування та розвитку фізичних шкіл в Україні» (1991), «Історія фізики» (2006) та «Історична фізика України» (2020), де досліджено діяльність провідних фізичних шкіл України та світу.

Науковець зробив істотний внесок у розвиток історичної біографістики вчених і організаторів науки, ввів у науковий обіг чимало несправедливо забутих або політично репресованих персоналій, є автором понад 6 тис. енциклопедичних

біографічних статей. Це дістало узагальнення в книгах: «Фізики» (1974, 1977, 1980), «Історія фізики» (2006), «Зарубіжні вчені-вихідці з України в галузі фундаментальних і технічних наук» (2017). У 7-ми виданнях «Національна академія наук України. Персональний склад» (1979–2018 роки), вміщено відомості про життя, наукову та організаційну діяльність академіків, членів-кореспондентів й іноземних членів Національної академії наук України за час її існування, наведено дані про лауреатів Державних премій України в галузі науки і техніки (з 2021 року – Національна премія України імені Бориса Патона), іменних премій НАН України, Золотої медалі імені В. І. Вернадського НАН України, Заслужених діячів науки і техніки України.

Юрій Храмов сприяв утвердженню погляду на історію науки як частину громадянської історії, з такого погляду реконструював історію Української академії наук, в тісному зв'язку з процесами державотворення в Україні (колективні монографії «Рання історія Академії наук України (1918–1921)» (1993), «Історія Національної академії наук України в суспільно-політичному контексті. 1918–1998» (2000), «Національна академія наук України. Хронологія» (2013, 2018). Розвитком цього підходу стала монографія у співавторстві з Ю. Павленком «Українська державність у 1917–1919 роки (історико-генетичний аналіз)» (1995). Інша колективна монографія «„Справа” УФТІ. 1935–1937» (1998) розкрила ранню історію Харківського фізико-технічного інституту на тлі політичних репресій у 1930-і роки в Україні

Визнаючи глибину володіння Ю. Храмовим знаннями з фізики та її історії, до нього з повагою ставилися вчені-фізики та ставали співавторами публікацій. Серед них академіки Бар'яхтар В.Г., Давидов О.С., Ситенко О.Г., Ахієзер О.І., Веркін Б.І., Пастур Л.А., Загородній А.Г., Самойленко А.М., доктори фіз.-мат. наук Антонченко В.Я., Гредескул С.А., Фрейман Ю.О. Статті вченого з історії фізики виходили у авторитетних фахових фізичних та загальноакадемічних журналах і виданнях: збірники «Активні діелектрики та їх застосування» (1969), «Напівпровідникова техніка та мікроелектроніка» (1969, 1970), Праці

міжнародної конференції з фізики плазми (1987), Книга «Нільс Бор і наука ХХ століття (1988); препринти Інституту теоретичної фізики АН УРСР (1978, 1980), «Український фізичний журнал» (1985, 1987, 1988, 1990), журнали «Фізика низьких температур» (1985), «Природа» (1989), Український радіологічний журнал (2000), Вісник НАН України (1989, 1999, 2009).

Феномен Ю. Храмова як науковця полягає в тому, що він був дослідником поняття наукової школи та водночас фундатором і керівником власної наукової школи з історії науки й техніки, у якій проводилися міждисциплінарні дослідження на стику соціогуманітарних, природничо-наукових і технічних дисциплін, комплексне використання методології яких сприяло виходу на рівень світоглядних узагальнень і значущості результатів для розвитку суспільства (Коллективні монографії «Природознавство в Україні на початку ХХ ст.» (2001), «Історія ракетно-космічної науки і техніки України» (2021)).

У колективних статтях з учнями та послідовниками Ю. Храмовим було висвітлено діяльність наукової школи академіка М. Боголюбова, зокрема пріоритет українських вчених у запровадженні поняття «колір» (з А. Литвинко); історію НАН України, передусім її раннього етапу, досліджено спільно з С. Рудою; історію електрозварювання в Україні – з О. Корнієнком; еволюцію ракетно-космічної науки і техніки – з О. Корнієнком, А. Литвинко, Ю. Мушкалом, О. Луговським, Г. Костюк, В. Гармасар, Г. Звонковою, Г. Дороніною, О. Колтачихіною, С. Хорошевою; історію радіофізики – з А. Глебовою; історію фізики низьких температур – з Л. Пономаренко.

Нині відділ історії та соціології науки і техніки активно сприяє популяризації науки, включенню у навчальний процес університетів історико-наукових курсів; проводить щорічні конференції молодих істориків науки, техніки та освіти, важливі для формування наукового та державницького світогляду майбутніх фахівців.

Мища О.С., Строкач М.С.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

email: mishcha.o.s.-dg51@lil.kpi.ua

ВНЕСОК ІНЖЕНЕРА-КОНСТРУКТОРА ОЛЕКСАНДРА СЕМЕНОВИЧА ГУРИНА У РОЗВИТОК ГІДРОАКУСТИЧНИХ СИСТЕМ

Анотація. У статті досліджено внесок Олександра Гуріна у розвиток вітчизняної гідроакустики. Розглянуто його роль у створенні систем «Лиман», «Олімп» та «Ятрань», а також розробку радіогідроакустичних буїв для протичовнової авіації.

Ключові слова: Олександр Семенович Гурін, гідроакустика, радіогідроакустичний буй, система «Ятрань», КНДІ гідроприладів.

Abstract. The article examines Oleksandr Gurin's contribution to the development of domestic hydroacoustics. It considers his role in creating the «Lyman», «Olymp», and «Yatran» systems, as well as in developing radio-hydroacoustic buoys for anti-submarine aviation.

Keywords: Oleksandr Semenovych Gurin, hydroacoustics, radio-hydroacoustic buoy, "Yatran" system, KRI of Hydro-devices.



Гурін Олександр Семенович народився 10 березня 1931 року в м. Умань, Черкаської області. В 1948 році закінчив школу та вступив до Одеського вищого морехідного училища (нині Національний університет «Одеська морська академія») де закінчив два курси, а потім вступив на третій курс Київського інституту кіноінженерів (який згодом

увійшов до складу КПІ). В 1953 році він здобув спеціальність «інженер-електрик зі звукотехніки».

У 1953 – 1960 роках він працював викладачем у різних технікумах, а з серпня 1960 року перейшов на роботу до Київського НДІ гідроприладів.

Працюючи в КНДІ гідроприладів, О. С. Гурін пройшов значний професійний шлях від старшого інженера до начальника комплексного науково-дослідного відділу, головного наукового співробітника та головного конструктора кількох поколінь складних гідроакустичних і радіогідроакустичних комплексів, які були успішно завершені та прийняті на озброєння. Така трудова діяльність була заслужено відзначена Державною премією СРСР, орденом Трудового Червоного Прапора, медалями та почесним знаком «Винахідник СРСР».

Зокрема, Державну премію він отримав за безпосередню участь у створенні гідроакустичної системи захисту морської зони, що простягалася вздовж підльодового виходу в північних районах Радянського Союзу – від острова Нова Земля до Землі Франца-Йосифа. У межах дослідно-конструкторської роботи «Лиман» було створено 144 гідроакустичні приймальні модулі, що працювали в пасивному режимі, розгорнуті на протяжності близько 1500 км і з'єднані єдиною кабельною лінією. Цей кабель, прокладений уздовж усєї траси, забезпечував передавання гідроакустичної інформації на приймальний пост, а також керування модулями та подачу електроживлення.

Для налаштування, встановлення та перевірки працездатності апаратури й приймальних модулів такої протяжної та складної системи О. С. Гуріну доводилося неодноразово тривалий час перебувати на Новій Землі. Це відбувалося навіть у періоди проведення ядерних випробувань у цьому регіоні, коли рівень радіації був настільки високим, що дозиметри під час вимірювань на палубі корабля виходили за межі шкали [1].

Перші роботи за ДКР «Лиман» (головний конструктор Тарасевич В. Г.) розпочалися у 1962 році, а у 1967 році вся стаціонарна позиційна станція була

успішно прийнята на озброєння. Колектив її розробників, зокрема О. С. Гурін був удостоєний Державної премії СРСР [1].

Після завершення ДКР «Лиман» О. С. Гурін брав участь у низці розробок, спрямованих на створення та впровадження у серійне виробництво кількох типів зв'язкових гідроакустичних і радіогідроакустичних станцій за ДКР «Гамма», «Корпус» і «Валун», а також станції підводної розвідки за ДКР «Кумач». Зокрема, у 1982 році розпочалася розробка РГБ-95 за ДКР «Корпус»; для її експлуатації були модернізовані кілька літаків Ту-142, призначених для постановки на воду та роботи зі зв'язковим буєм.

У 1987 році Олександр Семенович очолив комплексний науково-дослідний відділ № 11, що стало початком його діяльності як головного конструктора окремого науково-технічного напрямку. Під його керівництвом було успішно завершено розробку та впроваджено у серійне виробництво три типи радіогідроакустичних буїв для авіаційних систем «Коршун» та «Заріччя», а також створено авіаційний гідроакустичний сигналізатор (складову частину бортових реєстраторів польотної інформації) за ДКР «Трубка». Зазначений сигналізатор виконував функцію активного гідроакустичного маяка: він призначався для автоматичної подачі сигналів у разі потрапляння авіаційного об'єкта у воду, що забезпечувало можливість виявлення та локалізації місця аварії за допомогою спеціальної приймальної апаратури навіть на значних глибинах.

У незалежній Україні, працюючи на посаді головного конструктора, він завершив створення авіаційної пошуково-прицільної системи (ППС) на базі літаків ДП «Антонов». Ця система пройшла повний цикл випробувань і брала участь у міжнародних морських навчаннях, що підтвердило високий рівень вітчизняних гідроакустичних розробок.

Проте найвагомим внеском у сучасну гідроакустику була його робота над перспективними позиційними засобами. Ключовим етапом стала НДР «Якір», метою якої був пошук і опрацювання шляхів створення малогабаритних

автономних радіогідроакустичних станцій (АРГАС) із векторно-фазовими антенами та цифровою обробкою сигналів.

Результати НДР «Якір» дали змогу розпочати повномасштабні ДКР за напрямом «Олімп». Під керівництвом Олександра Семеновича як головного конструктора було створено експериментальні зразки АРГАС із комбінованими *pV*-антенами. Фізична суть такої антени полягає у поєднанні приймачів тиску (*p*) та коливальної швидкості (*V*). Це дозволило отримувати інформацію за координатами *X, Y, Z*, що забезпечило можливість визначення пеленга на ціль.

За останні роки під керівництвом Гуріна було створено три покоління позиційних автономних гідроакустичних станцій (ПАГАС) шифру «Олімп», які постачалися за контрактами іноземним замовникам. Станції першого та другого поколінь («Олімп-1» та «Олімп-2») будувалися за двомодульною архітектурою. Модуль 1 виконував функції прийому, обробки інформації, виявлення, класифікації та визначення пеленга, тоді як модуль 2 забезпечував передачу даних на приймальний пост.

Працездатність розроблених систем головний конструктор перевіряв особисто: своє 80-річчя у березні 2011 року Олександр Семенович зустрів безпосередньо під час морських випробувань станції «Олімп-2» в Індійському океані. Технологічна складність «Олімпу» полягала у використанні інфразвукового діапазону частот. Оскільки низькочастотні акустичні хвилі мають мінімальний коефіцієнт загасання у водному середовищі, це дозволило системі реалізувати принцип наддалекого виявлення цілей. Крім того, в «Олімпі-2» було застосовано керовану лебідку для примусового занурення радіобуя. Це не лише підвищувало скритність, а й дозволяло адаптувати положення антени відносно гідрологічних шарів (стрибків температури та солоності), мінімізуючи викривлення акустичного променя.

Паралельно вирішувалася фундаментальна задача ізоляції авіаційних гідроакустичних засобів від гідродинамічних завад. Ця проблема була глибоко досліджена під час розробки базових буїв РГБ-16 («Нашатир») та інших виробів

цієї лінійки. Під час хвилювання моря коливання поверхневого поплавка збуджували в кабель-тросі поздовжні та поперечні коливання, що призводили до так званого «кабельного дзвону» та виникнення інтенсивних паразитних шумів.

Під керівництвом Гуріна було впроваджено багаторівневу систему еластичного демпфування. Шляхом точного розрахунку мас і коефіцієнтів пружності було зміщено власну резонансну частоту підвісу, що дозволило перетворити його на ефективний механічний фільтр коливань. У результаті антена залишалася практично нерухомою у водному середовищі.

Надійність цих фізичних рішень дала змогу створити новітні модифікації: пасивні ненаправлені буї РГБ-16В та направлені РГБ-26В, які успішно пройшли випробування у 2012–2013 роках за участю літаків Ту-142 та гелікоптерів Ка-27ПЛ.

Фінальним результатом цих досліджень стала система «Ятрань», прийнята на озброєння у 2019 році. Вона об'єднала масив пасивних буїв РГБ-16В у єдину інтелектуальну інформаційно-вимірювальну мережу, що забезпечує їхню мінімальну помітність для противника.

Система спрацьовує при фіксації шуму від працюючих гвинтів підводного човна й використовує алгоритми спектрального аналізу для виділення характерних частотних компонент (техногенних ліній) у загальному акустичному фоні морського середовища. Завдяки просторово рознесеному прийому сигналів та цифровій обробці даних за координатами X , Y , Z , «Ятрань» забезпечує оперативну побудову траєкторії руху підводного об'єкта з високою точністю [3–5].

Надвисока чутливість системи «Ятрань» пояснюється складними хвильовими процесами всередині антенної решітки. «Це обумовлено взаємодією перетворювачів між собою під час їх роботи у складі антенної решітки, внаслідок чого при радіальній симетрії електричного навантаження відбувається порушення радіальної симетрії радіаційного навантаження перетворювачів. Це порушення зумовлене плоскою формою випромінювальної поверхні антенної

решітки, за якої різні випромінювачі по-різному навантажуються реакцією навколишнього середовища на збудження в ньому звукових хвиль, а також взаємодією між собою через акустичне поле, зумовленою багаторазовим обміном випромінюваними та розсіяними (відбитими) хвилями між елементами антенної решітки» [2].

Важко переоцінити історичне значення внеску Олександра Семеновича Гуріна у розвиток вітчизняної та світової гідроакустики. Його ім'я назавжди закарбоване в історії інженерної думки як одного з піонерів створення стаціонарних позиційних радіогідроакустичних систем.

Завдяки його невтомній діяльності було закладено фундамент сучасної української гідроакустичної школи, а держава отримала сучасні високоефективні технології моніторингу морських акваторій. Відданість науці та справі забезпечення обороноздатності була настільки глибокою, що Олександр Семенович завершив професійну діяльність лише у віці 87 років, успішно завершивши розробку новітніх систем.

Життєвий шлях Олександра Семеновича завершився 24 серпня 2022 року, проте його унікальна наукова спадщина та створені ним комплекси залишаються визначними зразками професійного служіння науці та інженерній справі.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Фалесєв, І. М., & Антосік, А. П. (2016). *З історії гідроакустики в Україні: Київський НДІ гідроприладів у спогадах співробітників*. НДІ «Гідроприлад».
- [2] Нижник, О. І. (2018). *Випромінювання гідроакустичних сигналів планарними антенними решітками, утвореними із циліндричних п'єзокерамічних перетворювачів* (дис. ... канд. техн. наук, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»).
- [3] Павлюк, О. Є., Гурін, О. С., Білоус, В. В., та ін. (2016). *Позиційна шумопеленгаторна станція* (Патент України на корисну модель № 105308). Державна служба інтелектуальної власності України.
- [4] РГАС «Ятрань» за результатами державних випробувань прийнята на озброєння ЗСУ. (2018, 10 жовтня). *Ukrainian Military Pages*.
- [5] Радіогідроакустична система «Ятрань» прийнята на озброєння ВМС ЗС України. (2019, 12 вересня). *АрміяInform*.

Парасотка С. Е., Коваль О. О.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна
email:sonya16122007@gmail.com, koval_o_a@ukr.net*

ВИДАТНІ ПРОФЕСОРИ МАТЕМАТИКИ КПІ:

ФЕДІР ПЕТРОВИЧ ЯРЕМЧУК

Анотація. Висвітлено історичні передумови формування особистості професора Федіра Петровича Яремчука, проаналізовано ключові етапи його науково-педагогічної діяльності в Київському політехнічному інституті імені Ігоря Сікорського. Обґрунтовано його внесок у розвиток математичної підготовки інженерів в Україні, зокрема у формуванні системи неперервної математичної освіти та створенні навчально-методичних праць.

Ключові слова: історія математики, КПІ, математична освіта, методика викладання, науковець.

Abstract. The historical preconditions for the formation of Professor Fedir Petrovych Yaremchuk's personality are highlighted, and the key stages of his scientific and pedagogical activity at Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute are analyzed. His contribution to the development of mathematical training for engineers in Ukraine is substantiated, particularly through the establishment of a system of continuous mathematical education and the development of educational and methodological works.

Keywords: history of mathematics, KPI, mathematics education, methodology of teaching, scientist.

Федір Петрович Яремчук народився 29 лютого 1920 року в селі Великий Молодьків на Житомирщині в селянській родині, де й минуло його дитинство. Формування Яремчука Ф. П. відбувалося у надзвичайно складних історичних умовах: сім'я пережила жахи Голодомору 1933 року, а 1937 року батька було розстріляно за сфабрикованим звинуваченням у «шпигунстві», що зробило

Федора сином «ворога народу». Через цей статус юнака виключали зі школи, не приймали до інституту, проте у 1939 році йому все ж вдалося стати вчителем математики в Гірківській сільській школі. Переживши окупацію, з 1944 року Ф. П. Яремчук воював розвідником-артилеристом, був нагороджений орденом Вітчизняної війни II ступеня та двома медалями «За відвагу».

Незважаючи на всі перешкоди, талант і жага до знань перемогли. Федіру вдалося вступити та закінчити Київський педагогічний інститут імені М. Горького (нині НПУ імені М. П. Драгоманова). Саме там відбулося його становлення як фахівця під впливом видатних педагогів. Вищу математику йому викладав професор О. С. Смогоржевський – один із найкращих учнів академіка М. Кравчука. Іншим наставником став засновник кафедри елементарної математики і методики професор Олександр Астряб, який прищепив студентові інтерес до методики викладання. Хоча Ф. Яремчук блискуче закінчив інститут і мав рекомендації до аспірантури від видатних учених, йому відмовили через тавро сина «ворога народу», що змусило розпочати кар'єру з посади завідувача кабінету математики на Львівщині у 1950 році, де він здобув вагомий практичний досвід роботи з педагогами. Отже, науково-педагогічний світогляд Федіра Петровича Яремчука формувався на перетині глибоких математичних традицій і передової педагогічної практики.

1954 року Яремчук Ф. П. розпочинає свій плідний шлях у Київському політехнічному інституті. У 1962 році він успішно захистив кандидатську дисертацію «Застосування методу послідовних конформних відображень до вирішення завдань вільної фільтрації з відкритих русел». Ці дослідження мали важливе практичне значення для повоєнного будівництва гідротехнічних споруд, розв'язуючи задачі фільтрації води з каналів довільного перерізу.

Головним здобутком Ф. П. Яремчука стала його науково-методична діяльність. Очолюючи кафедру вищої математики КПІ протягом 1976–1982 років (один із найпотужніших колективів, що налічував понад 100 співробітників, серед яких було 5 професорів, 36 доцентів, 3 старших наукових співробітників), а

згодом і кафедру вищої математики №1, він запровадив систему неперервної математичної освіти, що включала чітку структуру контрольних робіт, семестрових екзаменів, типових розрахунків та курсових проєктів.

Окрім керівництва кафедрою, професор Ф. П. Яремчук вів активну науково-організаційну та просвітницьку діяльність як член Науково-методичної комісії з математики при Мінвузі України (1959–1969), а згодом – заступник голови цієї комісії (1969–1988), де розробляв єдині стандарти викладання для технічних закладів вищої освіти. Крім того, протягом 1973–1979 років він входив до складу Методичної ради з математики при Мінвузі СРСР. Учений був учасником численних республіканських та союзних симпозіумів, семінарів і нарад. За свою віддану працю він отримав низку нагород, серед яких почесні знаки «Відмінник народної освіти УРСР» та Мінвузу СРСР.

Федір Петрович є автором понад 120 наукових і науково-методичних праць, серед яких 17 книг, підручників і навчальних посібників. Окремо варто відзначити: «Збірник конкурсних задач з математики» (у співавторстві з Ш. Горделадзе та М. Кухарчуком), що став настільною книгою для кількох поколінь абітурієнтів; «Алгебра і елементарні функції. Довідник» (з П. Рудченком) та «Довідник з елементарної математики» – фундаментальні праці, які структурували шкільну програму для потреб вищої школи; багатотомний курс «Вища математика» (з П. Овчинниковим), що забезпечував ґрунтовну теоретичну підготовку майбутніх інженерів.

За життя Федір Петрович користувався беззаперечним авторитетом і повагою студентів та колег. Він був самовідданим, талановитим педагогом, чії лекції вирізнялися глибиною, доступністю викладу та оригінальним гумором. Сучасники згадують його відому метафору, в якій процес вивчення математики порівнювався з вивченням пісні: кожна контрольна робота – це перевірка засвоєння окремого куплету, а підсумковий іспит – цілісне виконання твору. Найбільш влучну характеристику Ф. П. Яремчуку дала видатна професорка Ніна Опанасівна Вірченко, яка протягом багатьох років працювала поруч із ним на кафедрі вищої математики: «Понад 60 років свого життя Федір Петрович віддав

педагогічній праці. Він не міг жити без праці, без математики! Його життя – це воістину блискучий приклад самовідданого служіння справі освіти».

Ідеї Ф. П. Яремчука суттєво вплинули на математичну підготовку в Україні. Він поєднав високий рівень науковості з доступною методикою викладання, що дало змогу кафедрі математики КПІ якісно навчати значну кількість майбутніх інженерів. Запропоновані ним стандарти інтенсифікації навчального процесу залишаються актуальними й сьогодні. Навіть у XXI столітті його методичні розробки та принципи побудови екзаменаційних і контрольних завдань залишаються базовими у практиці викладання вищої математики, а підручники зберігають свою цінність для вчителів, керівників гуртків і факультативів, викладачів.

Отже, можна стверджувати, що як талановитий лектор і керівник професор Федір Яремчук примножив традиції математичної школи КПІ, започатковані В. Єрмаковим та М. Кравчуком, забезпечивши високий рівень підготовки українських інженерів.

Відповідаючи на питання «Яким є головний здобуток цієї людини?», можна впевнено стверджувати, що Федір Петрович Яремчук став взірцем досконалості викладання, навчив математики покоління вітчизняних інженерів і створив стандарт методичної та навчальної літератури, актуальний і сьогодні.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Баштова, Л. С. (2013, 31 жовтня). *Математичне сузір'я КПІ. До 115-річчя Київської політехніки*. Київський політехнік, (32). https://kpi.ua/kpi_2013-32
- [2] Баштова, Л. С. (2020, 5 березня). *Педагог-новатор Федір Петрович Яремчук*. Київський політехнік, (7). <https://kpi.ua/2020-7-2>
- [3] Колектив кафедри математичного аналізу та теорії ймовірностей ФМФ. (2010). *Яремчук Федір Петрович. Пам'яті вчителя. До 90-річчя від дня народження*. Сайт кафедри МАТП ФМФ КПІ ім. Ігоря Сікорського. <https://matan.kpi.ua/uk/yaremchuk-f-p-pamyati-vchitelya.html>
- [4] Вірченко, Н. О. (2010). *Світлій пам'яті вчителя, колеги, друга... (до 90-річчя від дня народження Ф. П. Яремчука)*. Київський політехнік.
- [5] Яремчук, Федір Петрович. (2025, 15 квітня). https://uk.wikipedia.org/w/index.php?title=Яремчук_Федір_Петрович&oldid=45125261

Пономаренко Л.П.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна
email: Ponomarenko.lilia@lil.kpi.ua*

**ПРОФЕСОР ГЕОРГІЙ ДЕ МЕТЦ:
СТАНОВЛЕННЯ ФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У КПІ ТА
НОВІ ПІДХОДИ ДО ІНЖЕНЕРНОЇ ОСВІТИ**

Анотація. У статті проаналізовано діяльність професора Георгія Де Метца в Київському політехнічному інституті в контексті інституціоналізації фізичних досліджень в Україні наприкінці ХІХ – на початку ХХ століття. Висвітлено його роль у формуванні матеріально-технічної інфраструктури фізичних досліджень і освіти, орієнтованої на підготовку майбутніх інженерів, а також у впровадженні новітніх наукових напрямів. Обґрунтовано, що діяльність Г. Г. Де Метца сприяла становленню нової моделі інженерної підготовки. Показано зв'язок із європейською експериментальною традицією, зокрема зі школою Августа Кундта.

Ключові слова: Георгій Де Метц, Київський політехнічний інститут, інституціоналізація науки, фізичні дослідження, інженерна освіта, матеріально-технічна інфраструктура, школа Кундта.

Abstract. The paper analyzes the activity of Professor Georgii De Metz at the Kyiv Polytechnic Institute in the context of the institutionalization of physical research in Ukraine at the turn of the nineteenth and twentieth centuries. It highlights his role in developing the material and technical infrastructure of physical research and education oriented toward the training of future engineers, as well as in introducing new scientific fields. The study argues that his work contributed to the formation of a new model of

engineering education. It also demonstrates the connection with the European experimental tradition, particularly the school of August Kundt.

Keywords: Georgii De Metz, Kyiv Polytechnic Institute, institutionalization of science, physical research, engineering education, material and technical infrastructure, Kundt school



1861 – 1947

У цьому році виповнюється 165 років від дня народження першого завідувача кафедри фізики КПІ, професора Георгія Георгійовича де Метца, внесок якого у становлення фізичних досліджень і фізичної освіти в Україні є неоціненним. Попри це, його роль у формуванні інституційних засад української фізичної науки та освіти досі залишається недостатньо висвітленою в історико-наукових дослідженнях.

Наприкінці XIX століття Україна гостро потребувала інженерних кадрів. Харківський практичний технологічний інститут, заснований у 1885 році, не міг задовольнити зростаючий попит. Проблема полягала не лише в кількісному дефіциті спеціалістів, а й у відсутності сучасної науково-освітньої інфраструктури. Ця ситуація відображала глибшу системну проблему – розрив між темпами індустріалізації та рівнем розвитку науково-освітнього середовища.

25 листопада 1896 року в Києві відбулася нарада щодо організації політехнічного інституту. У ній взяли участь представники не лише академічного середовища, а й промислових і транспортних структур, що свідчить про міжгалузевий характер цієї ініціативи. Професор Георгій де Метц увійшов до редакційної комісії, яка розробляла статут і навчальні плани [1, 2]. Саме на цьому етапі були закладені принципи поєднання фундаментальної фізичної науки з прикладною підготовкою інженерів. У цьому процесі Де Метц виступав не лише

як учасник, а як носій нової моделі технічної освіти, зорієнтованої на інтеграцію науки, експерименту та інженерної практики.

1 червня 1898 року розпочав роботу Київський політехнічний інститут, а 15 серпня Георгій Де Метц був призначений ординарним професором кафедри фізики КПІ [1]. Одночасна викладацька діяльність в університеті Св. Володимира означала, що він фактично забезпечував трансфер знань і методів між класичною університетською та новою технічною освітою. Участь Де Метца у заснуванні КПІ не обмежувалася адміністративними функціями. Ключовим завданням на цьому етапі стало формування належної матеріально-технічної бази, що відповідала новим науковим і освітнім вимогам.

Він ініціював рішення щодо архітектури корпусу інституту, підпорядковуючи її дослідницьким потребам [2]. Участь Де Метца мала чітко виражений практичний характер. Зокрема, спеціально спроектований коридор довжиною 42 м використовувався для оптичних та акустичних дослідів, що потребували значної бази вимірювання. Башти забезпечували можливість проведення експериментів із падінням тіл і вимірюванням часу, а балкони – спостереження відкритого горизонту. Такі архітектурні рішення не були випадковими, а відображали конкретні експериментальні практики того часу.

Велика фізична аудиторія, розрахована на 400–500 осіб, мала 14 рядів і кілька входів. Наявність електричного освітлення із 200 лампами розжарювання була технічно інноваційною для кінця XIX століття і давала змогу проводити вечірні демонстрації дослідів. Розподільники струму (250 В постійного та 140 В змінного) забезпечували демонстрацію електричних явищ у реальному часі [1, 2].

Велика фізична аудиторія та її технічне оснащення засвідчували орієнтацію на масову інженерну освіту, поєднану з експериментом. Це дає підстави говорити про формування нового типу навчального простору, в якому лекція і демонстраційний експеримент утворювали єдину навчальну систему.

Особливої уваги заслуговує лабораторія. Її створення можна розглядати як відповідь на ключову методологічну проблему того часу – перехід від описової до експериментально-вимірювальної фізики. У 1898 році Де Метц здійснив спеціальну поїздку до Німеччини, Франції та інших країн, де закупив обладнання у провідних наукових фірм, що свідчить про цілеспрямоване перенесення європейських стандартів на український ґрунт.

Принципово важливим є те, що лабораторія Де Метца виконувала подвійну функцію – навчальну і дослідницьку, що на той час не було загальноприйнятою практикою. Це мало забезпечити формування у студентів навичок роботи з точними вимірюваннями та експериментом. Лабораторія КПІ стала однією з найкращих у тогочасній імперії [1, 2]. Можна стверджувати, що саме через лабораторну практику відбувалася модернізація фізичної освіти.

Створення Г. Г. Де Метцем Музею фізичних приладів і Зразкового кабінету при Педагогічному музеї Києва розширювало функції фізики як навчальної дисципліни, перетворюючи її на інструмент наукової комунікації та популяризації.

Саме в Київському політехнічному інституті найповніше розкрився науковий потенціал Георгія Де Метца, де його діяльність набула системного та інституційного характеру. Тут відбулося не лише продовження попередніх наукових зацікавлень, а й їхня якісна трансформація в умовах новоствореного технічного закладу, що вимагало поєднання фундаментальних досліджень із практичними потребами інженерної освіти.

У науковому плані діяльність Де Метца в КПІ характеризується тематичною широтою та цікавістю до новітніх відкриттів. Ця риса була зумовлена як його попередньою підготовкою в європейських наукових центрах, так і усвідомленням необхідності оперативного впровадження нових знань у навчальний процес. Особливе значення мають дослідження рентгенівських

променів. Швидкість реагування на відкриття Рентгена свідчить про включеність Де Метца у глобальний науковий процес.

Одразу після відкриття рентгенівського випромінювання він відтворив відповідні експерименти в Києві та розгорнув власні дослідження, спрямовані на вивчення проникної здатності променів, впливу фізичних чинників на якість зображення та можливостей їх застосування в медицині. Зокрема, він отримав чіткі рентгенівські знімки біологічних об'єктів і дослідив дію магнітного поля на рентгенівське випромінювання, що свідчить про експериментальну новизну його робіт для того часу. Виконані дослідження не обмежувалися відтворенням відкриття Рентгена, а передбачали подальший розвиток і адаптацію до прикладних завдань, що дає підстави вважати професора Де Метца як одного із засновників прикладної рентгенології в Україні.

Логічним продовженням цих робіт стало звернення до проблем радіоактивності, яка на початку ХХ століття була одним із найдинамічніших напрямів фізики. Дослідження у цій сфері демонструють еволюцію наукових інтересів Де Метца від класичної до новітніх напрямів фізики ХХ століття. Монографія 1905 року «Вчення про радіоактивність та радіоактивні речовини» та подальші праці свідчать про спробу теоретичного осмислення нових фізичних явищ у контексті світової науки [3]. Особливої уваги заслуговують дослідження радіоактивності живих організмів, які можна розглядати як ранній етап становлення радіобіології, що значно випереджав розвиток цієї галузі в Україні [4].

У своїх роботах Де Метц не лише узагальнював світові досягнення, а й проводив власні експерименти, зокрема досліджував вміст радію у воді та рослинних організмах Київського ботанічного саду. Він дійшов висновку про здатність живих тканин накопичувати радіоактивні елементи, що фактично заклало основи радіобіологічних досліджень в Україні. У цьому контексті його

роботи виходили за межі класичної фізики, демонструючи міждисциплінарний характер наукового пошуку [4].

Водночас наукова діяльність професора Г. Г. Де Метца в КПІ не обмежувалася вузькоспеціалізованими дослідженнями. Важливою складовою його наукової стратегії була популяризація новітніх фізичних ідей та формування наукового світогляду майбутніх інженерів. Він активно працював у цій сфері, публікуючи праці, присвячені електриці, фотографії та новітнім фізичним експериментам, що сприяло включенню інженерного середовища в сучасний науковий дискурс.

Через участь у наукових товариствах і міжнародних конгресах він інтегрував київську фізичну науку у світовий контекст, сприяючи обміну ідеями та технологіями. Це, у свою чергу, сприяло подоланню наукової ізоляваності та включенню української науки до глобальних процесів розвитку фізики [1, 2].

Отже, наукову діяльність Де Метца в КПІ доцільно розглядати не лише як сукупність окремих досліджень, а як комплексну науково-освітню практику, спрямовану на формування експериментальної фізики в Україні. Його внесок полягає у поєднанні трьох взаємопов'язаних компонентів: формування матеріально-технічної бази наукових досліджень, розвитку новітніх дослідницьких напрямів (рентгенівські промені, радіоактивність) та інституціоналізації експерименту як основи інженерної освіти. Принципово важливо, що ці компоненти реалізовувалися не ізольовано, а у взаємодії, формуючи нову модель організації науково-освітнього процесу. Саме такий підхід забезпечив довготривалий вплив діяльності професора Г. Г. Де Метца на розвиток фізики і технічної освіти в Україні.

У цьому контексті наукова діяльність Де Метца в КПІ постає як логічне продовження його попереднього наукового становлення, пов'язаного з європейською експериментальною традицією. Його ранні дослідження в оптиці та механіці рідин демонструють саме ту культуру прецизійного експерименту,

яка була характерною для школи Августа Кундта. Порівняння з Августом Кундтом дозволяє глибше осмислити масштаб діяльності Георгія Де-Метца: якщо Кундт сформував одну з найвпливовіших експериментальних шкіл у Європі, то Де-Метц фактично відтворив її принципи в українському науково-освітньому середовищі, поєднавши їх із завданнями технічної модернізації суспільства. Водночас його роль не обмежувалася наслідуванням: він адаптував ці принципи до умов політехнічної освіти, зробивши експеримент не лише інструментом наукового дослідження, а й основою масової підготовки інженерів. Саме ця адаптація і трансформація становлять його ключовий внесок у розвиток фізики в Україні.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Гутник, М. В. (2019). *Професор Георгій Георгійович Де-Метц (1861–1947): біобібліографія*. Харків: НТУ «ХПІ».
- [2] Пасічник, Ю. А. (2011). Георгій Георгійович Де-Метц: (До 150-річчя з дня народження заслуженого професора фізики). У Є. І. Коваленко (ред.), *Наукові записки. Серія «Психолого-педагогічні науки» (Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя)* (№ 7, с. 182). Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя.
- [3] Де-Метц, Г. Г. (1929). *Загальна методика навчання фізики: теорія та практика викладання*. Київ: Укрдержвидав.
- [4] Майдебур, О. П. (2012). Перші радіобіологічні дослідження в Україні. *Сумський історико-архівний журнал*, XVIII–XIX, 67–71.

Пушкар Р. М., Буценко Ю.П.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна
email: rostikaakauntplz@gmail.com*

**ПРОФЕСОР В. В. БУЛДИГІН: УЧЕНИЙ, ПЕДАГОГ, ОРГАНІЗАТОР.
ДО 80-РІЧЧЯ З ДНЯ НАРОДЖЕННЯ**

Анотація. Доповідь присвячена науково-педагогічній спадщині професора В. В. Булдігіна та підсумкам його багаторічної діяльності на посаді керівника провідної у галузі математичної освіти кафедри КПІ. Проаналізовано його внесок у розвиток теорії ймовірностей, зокрема дослідження субгауссових випадкових величин і псевдорегулярно змінних функцій, а також вплив його наукової та педагогічної діяльності на формування сучасної математичної школи.

Ключові слова: історія математики, теорія ймовірностей, субгауссові випадкові величини, псевдорегулярно змінні функції, В. В. Булдігін, Київський політехнічний інститут.

Abstract. The paper is devoted to the scientific and pedagogical legacy of Professor V. V. Buldygin and the results of his long-term activity as the head of a leading department in mathematical education at the Kyiv Polytechnic Institute. It analyzes his contribution to probability theory, in particular the study of sub-Gaussian random variables and pseudo-regularly varying functions, as well as the impact of his academic and teaching work on the development of the modern mathematical school.

Keywords: history of mathematics, probability theory, sub-Gaussian random variables, pseudo-regularly varying functions, V. V. Buldygin, Kyiv Polytechnic Institute.

Валерій Володимирович Булдігін народився 5 листопада 1946 року в Тбілісі, проте вже його шкільні роки минули у Києві [2]. Закінчивши з відзнакою Київський технікум радіоелектроніки у 1965 році (зауважимо, що на той час він здобув кваліфікацію фахівця з експлуатації електронно-обчислювальної техніки), він, працюючи за отриманим фахом, вступив на вечірнє відділення механіко-математичного факультету Київського державного університету імені Тараса Шевченка. Його дослідницький потенціал був помічений ще у студентські роки: невдовзі його перевели на денне відділення, а дипломна робота отримала золоту медаль за найкращу студентську наукову роботу в тодішньому Радянському Союзі [3]. Ще до закінчення аспірантури В. В. Булдігін став викладачем КДУ, а у 1973 році захистив кандидатську дисертацію на тему випадкових рядів у банахових просторах. У 1982 році, вже працюючи в Інституті математики Академії наук, він став доктором фізико-математичних наук, досліджуючи збіжність випадкових елементів у нескінченновимірних топологічних просторах [3].

У 1986 році професор Булдігін очолив кафедру вищої математики № 1 у КПІ, якою керував протягом 26 років, аж до своєї передчасної смерті від тяжкої хвороби, згодом перетворивши її на кафедру математичного аналізу та теорії ймовірностей. Під його керівництвом на кафедрі радикально активізувалася наукова діяльність: він заснував потужну наукову школу, підготував 3 докторів і 13 кандидатів наук. З ініціативи Валерія Володимировича відбулося масштабне оновлення математичної підготовки інженерів: до навчальних планів було інтегровано сучасні розділи функціонального аналізу, теорії міри та статистики випадкових процесів, розпочалося запровадження гнучких процедур оцінювання студентів, зокрема рейтингової системи. Варто зазначити, що саме він наполіг на впровадженні важливого кроку у вирішенні однієї з найгостріших проблем студентів-першокурсників КПІ: вивчення фізики починалося з другого семестру, що значно покращило взаємодію цих принципово важливих для майбутніх

інженерів навчальних дисциплін. Під керівництвом В. В. Булдігіна кафедра тісно співпрацювала зі створеним на той час у КПІ факультетом довузівської підготовки, що дозволило останньому відіграти вирішальну роль у підвищенні рівня знань абітурієнтів та, відповідно, студентів університету.

Не можна не згадати також про його роль як одного з ініціаторів та фундаторів фізико-математичного факультету КПІ: саме завдяки йому кафедра стала єдиною за всю історію цього славного вишу випускною кафедрою математичного профілю. Наступником В. В. Булдігіна на посаді керівника кафедри став професор О. І. Клесов, який за життя Валерія Володимировича тісно співпрацював із ним.

Наукова спадщина професора В. В. Булдігіна є прикладом поєднання глибоких фундаментальних досліджень із потребами прикладної науки. Розроблені ним геометричні методи, теорія субгауссових просторів та концепція регулярно змінних функцій дотепер залишаються надійною математичною базою для аналізу сучасних стохастичних моделей. За свої наукові досягнення він був удостоєний Державної премії України у галузі науки та техніки за 2003 рік, а 2008 року – звання Заслуженого діяча науки і техніки України. Нині сформований ним колектив кафедри продовжує активно працювати як у напрямі наукових досліджень, так і у напрямі підготовки майбутніх математиків та математичної освіти студентів інженерних спеціальностей. Усі, кому випало працювати з Валерієм Володимировичем, зберігають пам'ять про цю чудову людину: видатного вченого, талановитого педагога, енергійного та вдумливого керівника, особистість якого вражала глибиною та різнобічністю інтересів.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського. (б. д.). *Кафедра математичного аналізу та теорії ймовірностей: Історія та напрями.*
- [2] Вікіпедія. (б. д.). *Булдігін Валерій Володимирович.*
- [3] Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського. (б. д.). *Булдігін Валерій Володимирович (Пам'ять).*

П'ятецький Є. О., Листопадова В. В.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний

інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

email:bandurist14@gmail.com;listopadovavv@gmail.com

ВНЕСОК ПРОФЕСОРА О. С. СМОГОРЖЕВСЬКОГО У РОЗВИТОК МАТЕМАТИЧНОЇ ОСВІТИ КПІ

Анотація. У тезах розглянуто внесок професора О. С. Смогоржевського у розвиток математичної освіти в Київському політехнічному інституті імені Ігоря Сікорського. Показано, як його дослідження геометрії Лобачевського та створені ним довідники вплинули на формування просторового мислення майбутніх інженерів.

Ключові слова: історія математики, КПІ, Олександр Смогоржевський, геометрія Лобачевського, математична освіта, інженерне мислення.

Abstract. The paper examines the contribution of Professor O. S. Smogorzhevsky to the development of mathematical education at the Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute. It shows how his research on Lobachevskian geometry and the reference books he created influenced the formation of spatial thinking among future engineers.

Keywords: history of mathematics, KPI, Oleksandr Smogorzhevsky, Lobachevskian geometry, mathematical education, engineering thinking.

У 2026 році фізико-математичний факультет Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» відзначає своє тридцятиріччя. Як окремий підрозділ факультет був створений у 1996 році, проте основа для підготовки фахівців із точних наук формувалася в інституті десятиліттями [5]. Рівень викладання математики в КПІ

завжди спирався на здобутки видатних науковців, які працювали на відповідних кафедрах. Одним із таких дослідників і викладачів був доктор фізико-математичних наук, професор Олександр Степанович Смогоржевський. Без згадки про його спадщину історія математичної школи Київської політехніки була б неповною. Тому в цій роботі проаналізовано, як саме він своєю науковою та викладацькою працею долучився до розбудови інституту.

Олександр Степанович Смогоржевський народився 6 березня 1896 року в селі Лісовому на Вінниччині. Після закінчення гімназії в Немирові він понад десять років працював учителем математики в сільських школах [2]. Цей тривалий період роботи в умовах, коли часто бракувало навіть елементарних підручників, навчив його пояснювати найскладніші просторові концепції максимально просто. Згодом це вміння доступно пояснювати матеріал стане фірмовим стилем його університетських лекцій. Вищу освіту майбутній учений здобув у 1929 році, закінчивши Київський інститут народної освіти з ґрунтовним педагогічним досвідом за плечима.

Восени 1930 року Смогоржевський розпочав роботу в Київському політехнічному інституті. Його кар'єра тут розвивалася послідовно: від посади асистента кафедри вищої математики до доцента, професора, а згодом – і завідувача кафедри [3]. Визначальну роль у його науковому становленні відіграв видатний український математик, академік Михайло Кравчук. Смогоржевський став одним із його найталановитіших учнів. Кравчук розгледів у колишньому вчителі потужний дослідницький хист і залучив його до вивчення теорії ортогональних перетворень та систем ортонормованих поліномів. Їхня плідна співпраця швидко дала практичний результат: у 1934 році вони видали першу частину фундаментального посібника «Вища математика». Для багатьох тодішніх студентів, які приходили до інституту з виробництва і мали прогалини в базовій освіті, цей підручник став надійною опорою завдяки своїй логічності та доступності викладу [3].

Справжнє визнання Олександр Степанович здобув завдяки дослідженням у галузі геометрії. Основний акцент його робіт був зосереджений на площині Лобачевського [4]. Він розв'язував украй нетипові проблеми: виконання геометричних побудов за допомогою лише одного інструмента – або тільки циркуля, або тільки лінійки. Ці задачі мали глибокий практичний сенс. Вони змушували майбутніх інженерів шукати нестандартні шляхи розв'язання та працювати в умовах жорстких обмежень. Це стало ідеальним тренажером для технічного мислення студентів. Смогоржевський знаходив розв'язки задач там, де інші заходили в глухий кут, і цим довів логічну цілісність гіперболічного простору.

Поза суто теоретичними дослідженнями професор активно дбав про прикладні потреби інженерів. У 1961 році в співавторстві з Оленою Столовою він видав «Довідник з теорії плоских кривих третього порядку» [1]. Такі криві масово застосовуються в аеродинаміці, суднобудуванні та проєктуванні складних архітектурних форм. Довідник перекладав мову вищої математики на зрозумілу для інженера-практика мову, суттєво скорочуючи час на рутинні розрахунки за креслярською дошкою.

Паралельно з написанням книжок тривала розбудова кафедри в умовах повоєнної відбудови. Країні критично бракувало технічних фахівців із хорошим просторовим баченням. Для їх підготовки Смогоржевський заснував геометричний семінар, який успішно працював понад двадцять років. Цей гурток став справжньою школою підготовки фахівців. Саме тут зростав і формувався як науковець один із його найкращих учнів – Федір Яремчук. Переїнявши від наставника високі стандарти логічної строгості, Яремчук згодом сам став видатним методистом і надійним колегою Олександра Степановича. Така спадкоємність поколінь дала змогу сформувати в КПІ ту неповторну атмосферу, яка виховувала справжніх творців нових технічних рішень [3].

Олександр Степанович Смогоржевський відіграв ключову роль у розвитку математичної освіти та науки в Київському політехнічному інституті. Він залишив після себе вагомий спадок: від глибоких праць із гіперболічної геометрії до практичних довідників і базових підручників. Його багаторічна робота в КПІ, починаючи від посади асистента і закінчуючи керівництвом кафедрою та геометричним семінаром, заклала підґрунтя для формування стійких традицій викладання точних дисциплін. Сьогодні, коли фізико-математичний факультет святкує своє 30-річчя, важливо пам'ятати, що високі стандарти навчання ґрунтуються саме на таких історичних фундаментах і щоденній праці таких викладачів [5].

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Смогоржевський, О. С., & Столова, О. С. (1961). *Довідник з теорії плоских кривих третього порядку*. Державне видавництво фізико-математичної літератури.
- [2] Боголюбов, О. М. (1983). *Математики і механіки: Біографічний довідник*. Наукова думка.
- [3] Згуровський, М. З. (Ред.). (1995). *Київський політехнічний інститут: Нарис історії*. Наукова думка.
- [4] Смогоржевський, О. С. (1951). *Про геометричні побудови в площині Лобачевського*. Видавництво Київського університету.
- [5] Фізико-математичний факультет КПІ ім. Ігоря Сікорського. (б. д.). *Історія фізико-математичного факультету*.

Фокиа М.С., Подласов С.О.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна*

email: razk16118@gmail.com

ВНЕСОК МИХАЙЛА КРАВЧУКА У РОЗВИТОК МАТЕМАТИЧНИХ МЕТОДІВ У НАУЦІ

Анотація. У роботі досліджується наукова діяльність Михайла Пилиповича Кравчука та його внесок у розвиток фізико-математичних наук. Аналізуються його роботи з алгебри, математичного аналізу, теорії наближених обчислень, диференціальних рівнянь та методу моментів, а також створення системи поліномів Кравчука. Окрему увагу приділено застосуванню результатів Кравчука у фізиці, інженерії та комп'ютерних технологіях, зокрема підготовці видатних інженерів та впливу на розвиток ранніх електронних обчислювальних машин.

Ключові слова: Михайло Кравчук, математична фізика, диференціальні рівняння, метод моментів, поліноми Кравчука, комп'ютерні технології, українські вчені.

Abstract. The paper examines the scientific activities of Mykhailo Pylypovych Kravchuk and his contribution to the development of physical and mathematical sciences. His works on algebra, mathematical analysis, the theory of approximate computation, differential equations, and the method of moments, as well as the creation of the Kravchuk polynomial system, are analyzed. Special attention is paid to the application of Kravchuk's results in physics, engineering, and computer technologies, in particular to the training of outstanding engineers and the influence on the development of early electronic computers.

Keywords: Mykhailo Kravchuk, mathematical physics, differential equations, method of moments, Kravchuk polynomials, computer technologies, Ukrainian scientists.

Вагоме місце серед українських учених ХХ століття займає Михайло Пилипович Кравчук – видатний математик, педагог і науковець світового рівня. Його дослідження були тісно пов’язані з розвитком математичної фізики, теорії обчислень та підготовкою інженерних кадрів. Наукова спадщина Кравчука сприяла розвитку сучасних математичних методів, що застосовуються у фізиці, інженерії та комп’ютерних технологіях, а його результати отримали світове визнання і продовжують використовуватися в сучасних дослідженнях.

Михайло Пилипович Кравчук народився 27 вересня 1892 року в селі Човниця Волинської губернії в родині землеміра. У родині панувала атмосфера високої культури та освіти, що сприяло розвитку інтересу до науки. Після закінчення із золотою медаллю Луцької гімназії він вступив на математичне відділення фізико-математичного факультету Київського університету Св.Володимира. Він став одним із учнів видатного математика Дмитра Граве. Університет закінчив із дипломом 1-го ступеня [6].

Після закінчення університету у 1914 році Кравчук залишився на кафедрі для підготовки до професорського звання та розпочав викладати [4].

У 1924 році блискуче захистив докторську дисертацію на тему “Про квадратичні форми та лінійні перетворення”, а наступного року отримав вчене звання професора. Дмитро Граве при цьому зазначав: “Кравчук є представником нової, сучасної математики і досяг у ній великих і видатних результатів” [6].

Велику частину життя вчений присвятив педагогічній роботі, зокрема у Київському політехнічному інституті, де викладав вищу математику для студентів інженерних спеціальностей. Його лекції відзначалися високим рівнем

науковості та педагогічною майстерністю. Серед його учнів були майбутні конструктори світового рівня – Сергій Корольов, Володимир Челомей та Архип Лялька. Фундаментальна математична підготовка, отримана під керівництвом Кравчука, як показало життя, стала основою їхніх інженерних досягнень у галузі ракетно-космічної техніки та авіабудування [8].

Михайло Кравчук вважав себе патріотом України і багато уваги приділяв питанням освіти. Активно розробляв математичні курси та термінологію українською мовою, виступав за українізацію освіти.

Наукові дослідження вченого охоплювали алгебру, математичний аналіз, теорію наближених обчислень та диференціальні рівняння. Чільне місце у його працях посідав розвиток методу моментів та узагальнення методу найменших квадратів, які використовуються для розв'язання задач математичної фізики. Науковець застосував ці методи до розв'язання лінійних диференціальних та інтегральних рівнянь, що широко використовуються для опису фізичних процесів у механіці, теорії коливань, електродинаміці та теплопровідності. Результати його роботи було викладено у фундаментальній двотомній монографії «Застосування способу моментів до розв'язання лінійних диференціальних та інтегральних рівнянь» (1936) [1].

Коло наукових інтересів Михайла Кравчука було надзвичайно широким. Він написав понад 180 наукових робіт, з них понад 10 монографій, які стосувалися алгебри, математичного аналізу, диференціальних та інтегральних рівнянь, теорії лінійних перетворень, ортогональних многочленів, теорії функцій, теорії ймовірностей, математичної статистики, наближених обчислень, історії математики [6]. Наукові досягнення Михайла Пилиповича отримали світове визнання ще за життя вченого. У 1928 році він брав участь у Міжнародному математичному конгресі в Болоньї, де встановив контакти з відомими європейськими математиками, серед яких Жак Адамар, Давид Гільберт, Ріхард

Курант та Тулліо Леві-Чівіта. Він також виступав із доповідями у Парижі та Цюриху, що сприяло поширенню його наукових ідей у Європі. У 1929 році Михайло Пилипович став наймолодшим академіком ВУАН [4, 5]. Особливо важливим є використання його наукових результатів за кордоном. Американський винахідник Джон Атанасов при розробці першого у світі електронного цифрового комп'ютера (1937) використовував науковий доробок Михайла Кравчука. У своїх листах він зазначав, що роботи українського вченого були надзвичайно корисними для розв'язання обчислювальних задач. Поліноми Кравчука застосовуються у США у теорії кодування та цифровій обробці сигналів, у Японії – у дослідженнях квантових систем і комп'ютерному моделюванні, у Франції та Німеччині – у телекомунікаціях і статистичній фізиці. Вони також використовуються у сучасних алгоритмах обробки зображень, системах розпізнавання образів і чисельних методах математичної фізики.

Наявність міжнародних зв'язків для вченого в епоху сталінського терору виявилася фатальною. Його звинуватили у “шпигунстві” та “буржуазному націоналізмі” на підставі того, що він багато публікувався українською, французькою, німецькою мовами і листувався з ученими математико-фізичної секції НТШ у Львові. 21 лютого 1938 року його заарештували і засудили до 20 років ув'язнення та 5 років заслання [6]. Помер у 1942 році на Колимі. Лише через 14 років його реабілітували посмертно після початку хрущовської “відлиги” [8].

І хоча прожив він коротке і трагічне життя, його наукова спадщина зберегла значення та активно використовується у науці. У 1992 році ім'я Михайла Кравчука було внесене до календаря визначних діячів науки ЮНЕСКО, а його наукова діяльність стала предметом міжнародних конференцій і досліджень.

Отже, діяльність Михайла Пилиповича Кравчука відіграла важливу роль у розвитку математичних методів та їх застосуванні в різних галузях науки. Його дослідження з алгебри, математичного аналізу, диференціальних рівнянь і

методу моментів стали основою для розв'язання багатьох практичних і теоретичних задач. Особливе місце займають поліноми Кравчука, які й сьогодні використовуються у фізиці, теорії інформації, обробці сигналів і сучасних комп'ютерних технологіях. Значним був внесок ученого і на педагогічній ниві, адже він підготував чимало майбутніх інженерів та науковців. Хоча він прожив трагічне життя, його наукова спадщина не втратила актуальності та продовжує впливати на розвиток сучасної науки.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Вірченко, Н. О. (2003). *Михайло Кравчук – математик світового рівня* (256 с.). Київ: Освіта.
- [2] Гайдей, В. О. (2004). *Розвиток математичних ідей Михайла Кравчука* (312 с.). Київ: Наукова думка.
- [3] Кравчук, М. П. (2002). *Вибрані математичні праці* (Н. О. Вірченко, упоряд.). Київ–Нью-Йорк: НТУУ «КПІ».
- [4] Київський політехнічний інститут. *Офіційний сайт*.
- [5] Луговська, А. В. (Укл.). (2017). *Академік Кравчук Михайло Пилипович: біобібліографія* (25 с.). Міністерство освіти і науки України, Державна науково-технічна бібліотека України.
- [6] Мараєв, В. (2025). *Михайло Кравчук: моя любов Україна і математика*.
- [7] Сорока, М. О. (1968). *Поет німого числа* (198 с.). Київ.
- [8] *Енциклопедія сучасної України*. Михайло Кравчук.

Фостенко А.С., Лінчевський І.В.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний

інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

email: fostenko.a.s.-zf51@edu.kpi.ua, igorvl2009@gmail.com

**МИХАЙЛО КРАВЧУК: ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ВЕЛИЧ,
ЗАКАРБОВАНА В ІСТОРІЇ СВІТОВОЇ НАУКИ ТА ПАМ'ЯТІ
КИЇВСЬКОЇ ПОЛІТЕХНІКИ**

Анотація. У роботі розглянуто наукову діяльність Михайла Кравчука та її значення для розвитку математики й суміжних галузей. Проаналізовано внесок ученого у формування української наукової термінології, його педагогічну діяльність і вплив його ідей на становлення обчислювальної техніки. Особливу увагу приділено збереженню пам'яті про вченого в сучасному академічному середовищі.

Ключові слова: Михайло Кравчук, многочлени Кравчука, історія математики, перша ЕОМ, наукова спадщина, термінологія.

Abstract. The paper examines the scientific activity of Mykhailo Kravchuk and its significance for the development of mathematics and related fields. It analyzes his contribution to Ukrainian scientific terminology, his pedagogical work, and the influence of his ideas on the emergence of computing technologies. Special attention is given to preserving his legacy in the modern academic environment.

Keywords: Mykhailo Kravchuk, Kravchuk polynomials, history of mathematics, early computers, scientific heritage, terminology.

Михайло Пилипович Кравчук – видатний математик, пам'ять про якого 14 березня 2024 року було вшановано встановленням меморіальної дошки в КПІ. Із 1921 року він викладав у політехніці, а в 1934–1938 роках очолював кафедру

вищої математики. Кравчук вважав розвиток талантів обов'язком патріота, залишивши визначний слід в історії закладу. Він був справжнім «учителем геніїв», підтримавши в КПІ таланти, що згодом змінили світ: засновника космонавтики Сергія Корольова, конструктора авіадвигунів Архипа Люльку та творця ракетно-космічної техніки Володимира Челомея [1].

Наукове становлення вченого відбулося під впливом академіка Д. О. Граве, чий семінар в Київському університеті заклали підвалини славетної Київської алгебраїчної школи. Із цього середовища, поруч із Кравчуком, вийшла плеяда видатних учених: О. Шмідт, М. Чеботарьов, Б. Делоне, Є. Жилінський та О. Островський. Коло інтересів вченого охоплював філософію, фізику, біологію та хімію (праці «Простір, час і матерія», «Сучасний атомізм», «Про зростання організмів»). Він також досліджував історію науки у працях «Математична наука на Україні» та «Вплив Ейлера...». Прагматичний підхід Кравчука до застосування математики втілено у праці «Математика на службі народного господарства», що демонструє поєднання фундаментальної науки з розв'язанням актуальних проблем суміжних галузей [2].

М. Кравчук поєднував наукову діяльність з активною методичною роботою. У 1920–30-х роках він створив низку навчальних посібників: «Елементи вищої математики в пристосуванні до сільського господарства», «Вступ до вищої математики», «Елементи теорії детермінантів». Його методика ґрунтувалася на візуалізації та розв'язуванні прикладних задач, а ключовим принципом була безперервність освіти – формування системних знань із раннього віку [3].

4–5 вересня 1935 року вчений організував першу математичну олімпіаду в Україні, очолив її журі та виступив із промовою про методи математичних наук. Метою заходу було виховання самостійного мислення школярів. Завдання цієї олімпіади залишаються актуальними й сьогодні та включені до сучасних

підручників А. Мерзляка і В. Полонського, а самі олімпіади стали безпосереднім продовженням справи академіка [4].

Наукова спадщина Кравчука невіддільна від розбудови вітчизняного наукового апарату. Із 1918 року він працював у термінологічній комісії, результатом діяльності якої став тритомний математичний словник. Ця праця заклала фундамент української технічної мови й стала для вченого виявом патріотизму, втіленого в його кредо: «Моя любов – Україна і математика».

Доробок Михайла Кравчука охоплює теорію матриць, чисел і функцій. Створений ним метод моментів та многочлени Кравчука стали світовими стандартами, що сьогодні застосовуються в теорії кодування, захисті даних, медичній діагностиці (зокрема у США та Малайзії) та квантовій фізиці. Його ідеї лежать в основі сучасних методів розпізнавання текстів і аналізу кореляцій.

Дослідження Івана Качановського (Торонто, Канада), здійснені на основі архівних матеріалів, підтверджують, що творець першої ЕОМ Джон Атанасов спирався на ідеї Михайла Кравчука. Атанасов тривалий час не афішував цей зв'язок і навіть відмовився від патентування винаходу. В умовах сталінського терору 1937 року листування з іноземними науковцями було для радянського вченого прямим шляхом до звинувачення у шпигунстві [5].

Науковий зв'язок підтверджується листом Джона Атанасова від 9 вересня 1937 року. У ньому винахідник комп'ютера зазначав: «Ваша серія публікацій з наближеного розв'язання диференціальних рівнянь виявилась дуже корисною в моїй роботі. Я хотів би отримати копії будь-яких публікацій, що Ви маєте. Я особливо зацікавлений в одержанні копій Ваших робіт, опублікованих в українських журналах, тому що мені майже неможливо їх дістати». 16 листопада 1937 року Джон Атанасов надіслав до Києва повторний запит, зазначивши, що його університет уже замовив повне зібрання праць Кравчука через німецьких посередників. Дослідник Іван Качановський припускає, що саме цим шляхом Атанасов отримав фундаментальну працю академіка, яку власноруч переклав

англійською мовою для використання у власних розробках. Цей ланцюг подій свідчить про те, як наукова думка долала кордони навіть в умовах тотальної ізоляції СРСР.

У період інтенсивної розробки першої у світі ЕОМ (1937–1942 роки) будь-які контакти радянських учених із закордоном трактувалися органами НКВС як шпигунство. Для репресій проти Михайла Кравчука слідству вистачило його зв'язків із Володимиром Левицьким (головою секції НТШ у Львові). Звинувачення в «українському націоналізмі» ґрунтувалися, зокрема, на використанні вченим української мови в наукових працях, попри те, що він вільно публікувався французькою та німецькою. НКВС інкримінувало М. Кравчуку, демографу М. Птусі, історику К. Грушевській та іншим інтелектуалам членство в підпільній націоналістичній організації, пов'язаній з еміграцією. Джон Атанасов усвідомив смертельну небезпеку свого листування лише в середині 1940-х років, дізнавшись про сталінський терор та спілкуючись із фізиком-емігрантом Георгієм Гамовим. Унаслідок цього Атанасов припинив патентування комп'ютера, відійшов від цієї галузі та почав систематично вилучати ім'я Кравчука зі своїх мемуарів. Винахідник, який раніше популяризував «метод Кравчука» і власноруч перекладав його праці, згодом уникав будь-яких згадок про українського академіка, навіть відхиляючи ініціативи щодо перевидання його монографій у Принстоні [2].

Через самовіддане служіння науці Михайло Кравчук став жертвою репресій: у 1938 році його засудили до 20 років ув'язнення, а в березні 1942 року вчений помер на Колимі. Його ім'я було відновлено лише через десятиліття – шляхом посмертної реабілітації (1956) та повернення статусу академіка (1992). Пам'ять про Михайла Кравчука вшановують у Київській політехніці: тут проводять міжнародні конференції, функціонують іменна аудиторія та пам'ятник. Його спадщину і трагічну долю популяризовано у виданнях 2000-х

років і документальному фільмі «Голгофа академіка Кравчука», а саме ім'я вченого стало символом інтелектуальної величі та патріотизму [3].

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Ліберт, Н. Є. (2020). *Пам'ятники і пам'ятні знаки КПП: путівник-довідник територією КПП ім. Ігоря Сікорського* (с. 43). <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/37224>
- [2] Ломакович, А., Рац, В., & Костюченко, А. (2013). Наукова діяльність Михайла Пилиповича Кравчука. *Актуальні проблеми гуманітарної освіти: збірник наукових праць*, 22–25. Кременець: ВЦ КОГП ім. Тараса Шевченка. <https://surl.li/daorpm>
- [3] Возняк, Г., Бабій, Н., & Камінська, О. (без року). Михайло Кравчук – велет української математики. *Актуальні проблеми гуманітарної освіти: збірник наукових праць*, 13–16. Кременець: ВЦ КОГП ім. Тараса Шевченка. <https://surl.li/fnvcsu>
- [4] Задерей, Н. М., Нефьодова, Г. Д., Стаднійчук, Т. Д., & Хохотва, М. О. (2025). Академік Михайло Кравчук – зачинатель олімпіадного руху з математики в Україні. У *Матеріали XX Міжнародної наукової конференції імені академіка Михайла Кравчука* (с. 215–216). <https://matan.kpi.ua/media/2025/kravchuk-conf-2025/kravchuk-conf-2025-abstracts.pdf#page=215>
- [5] Ромашевська, М., & Волянюк, Р. Михайло Кравчук і його безпосередня участь у створенні комп'ютера. *Актуальні проблеми гуманітарної освіти: збірник наукових праць*, 31–32. Кременець: ВЦ КОГП ім. Тараса Шевченка. <https://surl.li/cc/mrwoky>

Shtofel O.O., Chyzhska T.G.

National Technical University of Ukraine

“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

email: o.shtof@gmail.com; chijskaya@gmail.com

FAMILY VALUES OF SCIENTIFIC DYNASTIES AS AN EXAMPLE OF OVERCOMING COGNITIVE DEGRADATION OF SOCIETY

Abstract. Family values form the foundation of a future specialist’s personality. In technical universities, a family’s attitude toward education significantly influences a student’s motivation. Amidst martial law, the link between upbringing and professional training has become even more vital, as the family serves as the primary environment for shaping professional interests. This background determines whether a student views higher education merely as a social ladder or as an essential path for self-development. Consequently, faculty members must work with diverse motivations to carefully "shape" these partially formed personalities into skilled specialists.

Keywords: family values, technical higher education, personality formation, professional training, motivation for learning, future specialist, upbringing, social ladder.

Анотація. Сімейні цінності формують основу особистості майбутнього фахівця. У технічних університетах ставлення сім’ї до освіти суттєво впливає на мотивацію студента. В умовах воєнного стану зв’язок між вихованням і професійною підготовкою набуває ще більшого значення, оскільки саме сім’я виступає основним середовищем формування професійних інтересів. Цей контекст визначає, чи сприймає студент вищу освіту лише як соціальний ліфт, чи як необхідний шлях до саморозвитку. Відповідно, викладачі мають працювати з різними мотиваціями, щоб обережно «формувати» ці частково сформовані особистості у кваліфікованих фахівців.

Ключові слова: сімейні цінності, технічна вища освіта, формування особистості, професійна підготовка, мотивація до навчання, майбутній фахівець, виховання, соціальний ліфт.

This “firmware” determines whether a graduate will become merely a “craftsman” or a true intellectual capable of creative breakthroughs.

Although scientific and technological progress provides incredible tools for research, it creates hidden pitfalls for the cognitive development of young people. There are key reasons why the accessibility of technology leads to the “degradation” of deep scientific understanding: the “ready-made solution” effect, clip-based thinking, cognitive offloading (digital amnesia), pseudo-competence, and role reversal.

Whereas in the past, solving a physics problem required deriving formulas on one’s own, today there are calculators and AI that provide answers instantly. As a result, the skill of logical reasoning is lost. The brain gets used to consuming a ready-made product, leading to the formation of clip-based thinking—the ability to perceive only short, vivid fragments of information without a deep analysis of connections. We delegate the functions of our memory and attention to gadgets, because why memorize constants or historical facts if they’re available online? However, scientific understanding requires a fundamental knowledge base “in the head” to create new neural connections, and consequently, if memory is not exercised, the ability to synthesize complex ideas diminishes. Today, access to information is very often confused with the possession of knowledge. Any user of a smartphone or other gadget with internet access can quickly find information and feel that they “understand” the topic. But this is an illusion. After all, true scientific knowledge is a long journey from ignorance to knowledge, the development of skills and abilities, and progress makes this journey far too short, depriving the consumer of the necessary “intellectual labor.” The changing role of the teacher and the authority of science: in an age of information overload, it becomes difficult to distinguish scientific fact from manipulation. Network

algorithms “push” what the user likes, rather than what is true, necessary, relevant, and of high quality for personal development. Consequently, for young people, scientific knowledge becomes “just one opinion,” which undermines science’s status as objective truth.

In families of scientists, the “degradation” of knowledge takes on a special character. On the one hand, the child grows up in an environment of the intellectual elite, and on the other, they feel even more acutely the contrast between their parents’ “fundamental world” and the “world of quick fixes” of the digital age. However, there are ways to counteract the degradation of knowledge and preserve scientific continuity: exploration-learning to construct logical chains rather than simply consuming ready-made content; experimentation-gaining an understanding that behind every digital signal lies a physical process; discussion-combating the “illusion of knowledge” by comprehending the meaning of “smart words” from the internet; reading-training cognitive endurance.

A scientific dynasty is not about forcing children to follow in their parents’ footsteps, but about passing on a way of thinking. An interesting observation is that in families of scientists, there is often a continued respect for “hands-on” intellectual work: sketching with a pencil, deriving formulas on paper, crafting one’s own devices. This is the very “antivirus” against cognitive decline.

A striking example of the transmission of high ethical and professional values is the figure of Anatoliy Fedotovych Chyzhsky [1]. The Chyzhsky scientific dynasty: a model of intellectual continuity, whose work is closely linked to the formation of the Ukrainian scientific school. Founder – Anatoliy Fedotovych Chyzhsky (1910–1974): a scientist and dean of the Metallurgical Faculty, which later became the Engineering Physics Faculty of the Kyiv Polytechnic Institute [2] (now the E. O. Paton Electric Welding Institute at the Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute). His contribution to the development of higher technical education laid the foundation for the formation of

professional standards and ethical norms within the engineering community. Key milestones of his career:

I. Education and Early Career: He graduated from the Kyiv Polytechnic Institute (KPI) in 1931. He worked as a mechanical engineer and began teaching in 1933.

II. War: From 1941 to 1945, he served in the army. He returned to KPI immediately after the war ended in November 1945.

III. Career at KPI: He [3] rose through the ranks from assistant to professor. Before becoming dean, he served as associate dean. From 1962, he was an associate professor in the Department of Foundry Production.

In the memories of colleagues and students, Anatoliy Fedotovych [4] is remembered as a man of “high culture and a lively mind” who saw the individuality in every student. The Second Generation – Continuing the Traditions. Grigory Anatolyevich Chizhsky – the son who realized his scientific potential in the field of creating new materials at the V. M. Bakul Institute of Superhard Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine. Unfortunately, he passed away at a very young age.

The third generation-pedagogical continuity. Tetyana Hryhorivna Chyzhska—the granddaughter, who currently works at the Department of General Physics and Modeling of Physical Processes, embodies the mission of transmitting fundamental knowledge. By teaching physics as the foundation of worldview, Tetiana Hryhorivna counters the fragmentation of knowledge (clip-based thinking) among today’s youth. As a representative of the third generation of the dynasty, she focuses her efforts on solving a fundamental problem in modern pedagogy—ensuring the accessibility and reliability of scientific knowledge. In the context of an aggressive information environment, her methodological developments are aimed at popularizing physics among students. This allows not only for the training of specialists but also for the development of intellectual resilience in young people, restoring the prestige of fundamental science as the foundation of engineering thinking.

The fourth generation-contemporary scientific research. Olga Oleksandrivna Shtofel is the great-granddaughter of Anatoliy Fedotovych Chyzhsky. A representative of the younger generation, she teaches and serves as the associate dean of the Faculty of Physics and Mathematics at Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, and also conducts research on physicochemical processes at the E. O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine.

I will reiterate that students come from diverse family backgrounds. And our educational mission, as teachers, lies in fostering and upholding values rooted in scientific knowledge and in developing professional ethics.

Therefore, to restore the prestige of technical education, we must return to a model where professionalism is inseparable from the moral values instilled by the family and reinforced by authoritative mentors in higher education institutions.

REFERENCES

- [1] Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute. (n.d.). *Chyzhskiy Anatolii Fedotovych*
- [2] EverybodyWiki. (n.d.). *Faculty of Engineering and Physics of Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute* [українською].
- [3] Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute. (2010, August 29). *Conference “Thermotechnological processes in metallurgy” in memory of A. F. Chyzhskiy*
- [4] Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute. (2009, August 1). *Educational and methodical seminar in memory of Professor A. F. Chyzhskiy* [українською].

РОЗДІЛ II

СТОРІНКИ ІСТОРІЇ ПРИРОДНИЧИХ ТА ТЕХНІЧНИХ НАУК В УКРАЇНІ ТА СВІТІ

Александрова А.С., Білий О.Г., Колесов О.Ю.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна*

Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації, м. Київ, Україна

email: alexandrova23042009@gmail.com; belyi.oleksandr@gmail.com,

sanyakolesov348@gmail.com

НАРИС З ІСТОРІЇ ВИНИКНЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ДОСКОНАЛИХ ЧИСЕЛ

Анотація. У цій роботі розглянуто проблему досконалих чисел як з історичної, так і з математичної точок зору – від античних алгоритмів Евкліда до сучасних обчислювальних можливостей (GIMPS). Головним здобутком є розроблення інноваційного матричного підходу: у тезах показано зв'язок парних досконалих чисел із поворотною послідовністю 5-го порядку та запропоновано спосіб їх побудови шляхом обчислення визначника канонічної матриці Тепліца–Гессенберга з надбудовою на 1 рядок і 1 стовпець відповідно.

Ключові слова: досконале число, сума, дільник, гіпотеза, число-імітація, матриця Тепліца–Гессенберга, поворотна послідовність, рекурентне співвідношення, просте число Мерсенна, проєкт GIMPS.

Abstract. In this paper, we examine the problem of perfect numbers from both historical and mathematical perspectives, from the ancient algorithms of Euclid to modern computational capabilities (GIMPS). The main achievement is the

development of an innovative matrix approach: the theses show the connection of even perfect numbers with a 5th-order recurrent sequence and propose a way to construct them by computing the determinant of the canonical Toeplitz–Hessenberg matrix with an extension by one row and one column, respectively.

Keywords: perfect number, sum, divisor, hypothesis, imitation number, Toeplitz–Hessenberg matrix, recurrent sequence, recurrence relation, Mersenne prime, GIMPS project.

Натуральне число n називається досконалим, якщо сума всіх його власних дільників дорівнює самому числу n . Використовуючи σ -функцію Ейлера, яка визначається як сума всіх дільників d числа n , включаючи саме число n , означення набуває такого вигляду: число n є досконалим тоді і тільки тоді, коли виконується рівність: $\sigma(n) = \sum_{d|n} d = 2n$.

Позначимо множину парних досконалих чисел через «*perfect*», тоді:

Def. $n \in \text{perfect} \Leftrightarrow \sigma(n) = 2n, n \in \mathbb{N}$.

Історія дослідження досконалих чисел налічує понад дві тисячі років і бере свій початок ще в античні часи. Близько 300 р. до н.е. Евклід відкрив закономірність появи парних досконалих чисел на основі сум геометричної прогресії послідовних степенів двійки. Пізніше, близько 100 року н.е., грецький філософ Нікомах Гераський запропонував 5 гіпотез про їхні властивості. Хоча ці ідеї століттями вважалися істиною, більшість із них виявилася хибною. Справжній прорив в дослідженні досконалих чисел здійснив Леонард Ейлер у 1732 році. Використовуючи мультиплікативні властивості σ -функції, він довів теорему Евкліда: парне натуральне число n є досконалим тоді і тільки тоді, коли воно має вигляд $n = 2^{p-1}(2^p - 1)$, де вираз $(2^p - 1)$ є простим числом Мерсенна $M \equiv 2^p - 1$, а p – просте число, однак не для кожного простого числа p число Мерсенна є простим. Зазначимо, що прості числа Мерсенна застосовуються в

сучасній еліптичній криптографії, а також є фундаментом для забезпечення надійного супутникового та глибокого космічного зв'язку.

Історичні дослідження дозволили встановити низку важливих властивостей досконалих чисел, які відіграють ключову роль у їх сучасному дослідженні. Наприклад, усі вони є «трикутними» числами, тобто такими, що дорівнюють кількості точок, з яких можна скласти рівносторонній трикутник, вони утворюють послідовність $\{T_n\} = \{1, 3, 6, 10, 15, 21, 28, \dots, T_n, \dots\}$, де $T_n = \frac{n(n+1)}{2}$. Крім

того, будь-яке досконале число (виняток – число 6), є сумою послідовних

непарних кубів: $N \in \text{perfect} \Rightarrow N = \sum_{k=1}^n (2k-1)^3$; Приклади. $28 = 1^3 + 3^3$;

$$496 = 1^3 + 3^3 + 5^3 + 7^3; 8128 = 1^3 + 3^3 + 5^3 + 7^3 + 9^3 + 11^3 + 13^3 + 15^3.$$

У двійковій системі числення кожне парне досконале число має вигляд послідовності одиниць, за якою слідує послідовність нулів, що є наслідком властивості про добуток послідовних степенів двійки.

Приклади. $6 = 110_2$, $28 = 11100_2$, $496 = 111110000_2$, $8128 = 1111111000000_2$.

Узагальнення цих властивостей призводить до можливості їх дослідження за допомогою нових математичних підходів, зокрема матричних методів. Як було зазначено раніше, якщо N – парне досконале число (виняток число 6), то воно є певним елементом числової послідовності $\{S_n\}$, $S_n = 1^3 + 3^3 + 5^3 + \dots + (2n-1)^3 = n^2(2n^2-1)$. Неважко показати, що це поворотна послідовність 5-го порядку з рекурентним співвідношенням $S_n = 5S_{n-1} - 10S_{n-2} + 10S_{n-3} - 5S_{n-4} + S_{n-5}$. У роботі [2] показано, що якщо відповідна базова матриця $A_n(a_0; a_1, a_2, \dots, a_k)$ типу Тепліца-Гессенберга узгоджена з поворотною послідовністю k -го порядку, для якої $S_n = a_1 S_{n-1} + a_2 S_{n-2} + \dots + a_k S_{n-k}$, $a_0 = -1$, то загальний член S_n цієї послідовності може бути поданий у вигляді $S_n = \det A_n(-1; a_1, a_2, \dots, a_k)$. Якщо ж початкові умови S_1, S_2, \dots, S_k не узгоджені з

відповідними $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_k$ и – визначниками цієї матриці, то $S_n = \det \hat{A}_n(-1; a_1, a_2, \dots, a_k; b_1, b_2, \dots, b_k)$, де \hat{A}_n – канонічна матриця Тепліца-Гессенберга з надбудовою, тобто з надбудованим верхнім рядком $b_1, b_2, \dots, b_k, 0 \dots$ та стовпцем зліва $(b_1, -1, 0 \dots)^T$. В нашому випадку, це

$$S_n = \det \hat{A}_n = \begin{vmatrix} 1 & 23 & 23 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ -1 & 5 & -10 & 10 & -5 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 5 & -10 & 10 & -5 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 5 & -10 & 10 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 5 & -10 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & -1 & 5 \end{vmatrix},$$

де загальний член такої послідовності обчислюється через визначник відповідної матриці. Тоді $\{S_n\} = \{1, 28, 153, 496, 1225, 2556, 4753, 8128, \dots\}$. На жаль, алгоритм виокремлення із цієї послідовності підпослідовності досконалих чисел $\{S_{n_m}\}$ – невідомий на сьогодні, аналогічно, як невідомо, чи є ця підпослідовність – скінченна чи нескінченна.

Однак практичне дослідження досконалих чисел пов’язане з необхідністю опрацювання надзвичайно великих чисел Мерсенна, що створює значні труднощі з огляду на високу алгоритмічну складність відповідних обчислень. Проте розвиток обчислювальної техніки та засобів автоматизації наприкінці ХХ століття суттєво розширив можливості їх пошуку. Зокрема, у 1996 році було започатковано міжнародний проєкт Great Internet Mersenne Prime Search (*пошук великих простих чисел Мерсенна в Інтернеті*), метою якого є пошук великих простих чисел Мерсенна шляхом використання розподілених обчислень. Цей проєкт розподілених обчислень для пошуку $M \equiv 2^p - 1$ дозволив розділити задачу

перевірки таких чисел на простоту між волонтерами всього світу. Завдяки GIMPS відкрито найбільші з відомих простих чисел (наприклад, 51-ше число містить понад 24 000 000 знаків). Щодо непарних досконалих чисел, питання про їх існування досі залишається однією з найскладніших загадок математики, яку людство не може розв'язати вже другу тисячу років. Проте, досліджуючи її, видатний французький філософ, математик та фізик Рене Декарт припустив, що такі числа мали б загальну структуру $p \cdot m^2$, де $m \in \mathbb{N}$. Він також знайшов так звані числа-імітації "*spoofs*". Це складені числа, які ідеально імітують властивості досконалих, якщо один з їхніх множників помилково приймається за просте число. Головною метою їх пошуку є знаходження такої властивості даних імітацій, що унеможливило б існування справжніх непарних досконалих чисел.

Приклад. Аналіз 1-го числа-імітації Декарта. Розглянемо складене число $198585576189 = 3^2 \cdot 7^2 \cdot 11^2 \cdot 13^2 \cdot 22021$. Якщо помилково прийняти множник 22021 за просте число, то обчислення σ -функції дасть ідеальний результат $\sigma(n) = 2n$, імітуючи досконалисть. Однак, перевірка доводить, що $22021 = 19^2 \cdot 61$. Тому число є ні простим, ні досконалим.

Примітка. У 2022 році команда Університету Бригама Янга (BYU) відкрила ще 21 подібне число-імітацію. Цікаво, що Карл Померанс сформулював евристичний аргумент, проти їх існування, на основі частоти розподілу простих чисел, де зазначив, що частота їх зустрічі настільки мізерна, що фактично, прямує до нуля. Згідно з його розрахунками, ймовірність існування хоча б одного непарного досконалиго числа в діапазоні від сучасних перевірених обчислювальних меж (понад 10^{2200}) до нескінченності становить не більше ніж 10^{-540} . Хоча цей аргумент не замінює строгого алгебраїчного доведення, він дає вагомій підставі сучасній математичній спільноті схилитися до ідеї, що непарних досконалих чисел не існує.

Отже, проблема досконалих чисел, попри свою багатовікову історію, залишається яскравим прикладом справжньої математичної краси. Вона стимулювала створення нових математичних інструментів – від алгоритмів

Евкліда та σ -функції Ейлера до сучасних розподілених мереж пошуку GIMPS і матричного підходу. Питання про скінченність множини парних досконалих чисел та неможливість існування непарних досконалих чисел досі чекає свого доведення, або ж спростування.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Veritasium. (2024, March 8). The Oldest Unsolved Problem in Math [Відео]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=Zrv1EDIqHkY>
- [2] Александрова А. С., Білий В. О., Колесов О. Ю. (2025). $(k+1)(k+1)(k+1)$ -діагональні матриці та їх зв'язок з поворотними послідовностями k -го порядку. У: Матеріали XX Міжнародної наукової конференції імені академіка Михайла Кравчука (с. 47–48). Київ: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». <https://matan.kpi.ua/media/2025/kravchuk-conf-2025/kravchuk-conf-2025-abstracts.pdf>

Антонов М.П., Захарченко Р.В.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний

інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

email: antonov.m.p.-et51@edu.kpi.ua; romars@iit.kpi.ua

ФІЗИЧНІ АСПЕКТИ ЕВОЛЮЦІЇ БПЛА: ВІД МЕХАНІЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДО АВТОНОМНИХ СИСТЕМ З ШІ

Анотація. У статті досліджено та узагальнено історію еволюції безпілотних літальних апаратів – від перших нефункціональних прототипів до сучасних автономних систем і перспективних високоефективних рушійних технологій майбутнього.

Ключові слова: безпілотні літальні апарати, БПЛА, Арчібальд Лоу, електромагнітна сумісність, пілот, безпілотник, мікроелектромеханічні системи (MEMS), радіоелектронна боротьба (РЕБ), ройовий інтелект.

Abstract. The paper examines and synthesizes the historical evolution of unmanned aerial vehicles, from early non-functional prototypes to modern autonomous systems and advanced high-efficiency propulsion technologies of the future.

Keywords: unmanned aerial vehicles, UAV, Archibald Low, electromagnetic compatibility, pilot, unmanned aircraft, micro-electromechanical systems (MEMS), electronic warfare (EW), swarm intelligence.

Безпілотні літальні апарати є дистанційно керованими або повністю автономними апаратами, здатними здійснювати політ без екіпажу на борту. Історія розвитку дронів починається у XIX столітті із застосування безпілотних повітряних куль (1849 Balloon Attack) і простежується до створення серійних БПЛА типу Radioplane OQ-2 під час Другої світової війни [1–3]. Ключовою фізичною проблемою їхнього розвитку є забезпечення стійкості польоту та

керованого руху в умовах змінного середовища за обмежених енергетичних ресурсів.

Арчібальд Лоу розробив один із перших прототипів БПЛА. Це був радіокерований літак, двигун якого під час першого польоту у 1917 році створював радіоперешкоди, через що сталася аварія. Як з'ясувалося, іскри на свічках запалювання генерували радіошум, який пригнічував слабкий сигнал пульта керування. Винахід отримав назву «Ruston Proctor Aerial Target», але так і не був задіяний на полі бою [4].

Перші спроби створення керованих дистанційно літальних апаратів базувалися на класичній механіці Ньютона та рівняннях Нав'є–Стокса. Подальша еволюція БПЛА характеризується переходом від жорстко детермінованих механічних систем до адаптивних комплексів керування [5, 6].

Масове застосування безпілотних літальних апаратів розпочалося під час Другої світової війни. Першим серійним БПЛА став розроблений у США військовий безпілотник Radioplane OQ-2. Винахід голлівудського актора та авіатора Реджинальда Денні довів практичну ефективність безпілотників. Компанія Radioplane протягом Другої світової війни виготовила майже 15 000 дронів. Двоциліндровий двотактний двигун потужністю 6 к. с. забезпечував можливість польоту, зокрема на низьких швидкостях, що робило апарат ефективним тренажером для зенітних підрозділів [2, 7].

Подальший розвиток БПЛА відбувався в період Холодної війни. Зростаюча потреба в отриманні розвідувальної інформації про противника зумовила інтенсифікацію розробок висотних безпілотних розвідувальних апаратів. Серед найбільш відомих зразків доцільно виокремити Lockheed D-21 та Ryan Firebee. Унаслідок впровадження новітніх технологій безпілотні літальні апарати набули меншої маси, вищих швидкісних характеристик і розширених функціональних можливостей [2, 8, 9].

З часом габаритні та дорогі гіроскопи й акселерометри, а також важкі нікелеві акумуляторні батареї були замінені на мікроелектромеханічні системи (MEMS), які характеризуються високим рівнем мініатюризації, економічною ефективністю та інтегрованістю, а також літій-полімерні акумулятори (LiPo), що забезпечують високу питому енергоємність при відносно малій масі. Значне поширення безпілотні літальні апарати отримали після 2010 року, коли компанія Parrot SA представила безпілотний апарат «Parrot AR.Drone», керування яким здійснювалося за допомогою смартфона (зокрема iPhone). Це ознаменувало початок нового етапу розвитку БПЛА у цивільному секторі [10].

Нині розвиток безпілотних літальних апаратів доцільно розглядати як другу технологічну революцію. Якщо перша була пов'язана з реалізацією можливості польоту апарата без пілота на борту, то друга характеризується інтелектуалізацією систем керування, зростанням рівня автономності та забезпеченням ефективного функціонування в умовах радіоелектронної боротьби (РЕБ).

На початковому етапі повномасштабної війни було встановлено, що комерційні безпілотні апарати, зокрема «Mavic», демонструють високу ефективність при виконанні розвідувальних завдань. У подальшому були розроблені спеціалізовані кріплення для FPV-систем, які забезпечують можливість транспортування необхідних матеріалів у польових умовах. Паралельно набули розвитку практики застосування безпілотних апаратів для скидання боєприпасів на позиції противника, що свідчить про їхню високу адаптивність до умов сучасних бойових дій.

Застосування безпілотних літальних апаратів обома сторонами конфлікту стимулювало розвиток засобів протидії, зокрема систем радіоелектронної боротьби (РЕБ). Використання РЕБ, своєю чергою, зумовило появу оптоволоконних безпілотників, які є стійкими до радіоелектронного придушення, оскільки керування здійснюється через дротовий канал зв'язку –

тонке оптоволокно довжиною кілька кілометрів [2, 11]. Очікується, що до 2030 року безпілотні літальні апарати досягнуть рівня повної автономності польоту. У такому разі роль оператора зводиться до функцій моніторингу, що призведе до суттєвої трансформації підходів до застосування БПЛА.

Вагомий вплив на подальший розвиток галузі може мати впровадження технологій ройового інтелекту. У разі здатності групи безпілотних апаратів до самостійної координації дій та колективного виконання завдань відкривається значний потенціал підвищення ефективності їх застосування. На сучасному етапі літій-полімерні акумулятори обмежують тривалість польоту приблизно до 20–30 хвилин, тоді як їх перспективна альтернатива – водневі паливні елементи – здатна забезпечити тривалість роботи протягом кількох годин [2, 12].

Отже, узагальнюючи, можна виокремити ключові етапи еволюції БПЛА:

- розвиток аеродинамічних і механічних моделей, що супроводжувався оптимізацією співвідношення тяги до маси апарата та впровадженням систем зворотного зв'язку для забезпечення стійкості польоту;
- енергетична трансформація, зумовлена переходом від двигунів внутрішнього згоряння до літій-полімерних акумуляторів, що змінила характер енергоспоживання та забезпечила можливість прецизійного керування завдяки швидкій зміні кутової швидкості;
- еволюція систем керування та стабілізації, яка перейшла від масивних гіроскопів до мікроелектромеханічних систем (MEMS) і одометрії, що дало змогу досягти мініатюризації без втрати точності просторової орієнтації;
- зростання рівня автономності та інтеграція штучного інтелекту, що дозволяє сучасним системам застосовувати комп'ютерний зір і нейронні мережі для розв'язання динамічних задач, зокрема обходу перешкод і стабілізації в умовах турбулентності.

Підсумовуючи, слід зазначити, що, попри незмінність фундаментальних фізичних принципів польоту, інтелектуальна складова безпілотних систем

знала якісної трансформації. Перспективним напрямом розвитку є використання роїв автономних апаратів, здатних до координації дій на основі спільних моделей штучного інтелекту. Отже, сучасний етап характеризується переходом до широкого практичного застосування БПЛА з акцентом на автономність, адаптивність і ефективність рушійних систем.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Baig, S. History Series: The First Pilotless Aircraft. <https://www.vertiq.co/blog/cppt1c729y702e6euknix94atry3o5>
- [2] Історія БПЛА: як з'явилися дрони та чому вони стали технологією майбутнього. <https://duan.edu.ua/news-and-articles/istoriya-bpla-yak-zyavylysyadrony-ta-chomu-vony-staly-tekhnohyyeyu-maybutnoho/>
- [3] The Complete History of Drone Technology. <https://www.zenatech.com/history-of-drone-technology/>
- [4] Арчибальд Монтгомери Лоу. https://uk.wikipedia.org/wiki/Арчибальд_Лоу
- [5] Горбач, В. Я., Бондаренко, Ю. Л. Літальні апарати: аеродинаміка, силові установки, обладнання, озброєння та застосування. Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. 2020. № 2(64). С.45–52. <https://journal-hnups.com.ua/index.php/zhups/article/download/269/207/>
- [6] Корнага, Я. І., Мухін, В. Є., Миронюк, М. Ю., Майстров, О. О. Забезпечення стійкості на етапі стабілізації безпілотних літальних апаратів з нейромережевим регулятором. Наукові записки ДУТ. 2023. № 2(4). С. 32–38. [7] OQ-2A Radioplane. <https://mapsairmuseum.org/wp-content/uploads/2024/02/OQ-2A-Radioplane.pdf>
- [8] Widlake, P. The D-21 Tagboard: Its Life and Legacy.
- [9] Ryan Model 147. https://gropedia.com/page/Ryan_Model_147
- [10] Evolution of the Drone Threat: Part 3. <https://www.robinradar.com/blog/evolution-of-the-drone-threat-part-3>
- [11] Тимошенко, М. Еволюція FPV-дронів: які інновації з'явилися упродовж повномасштабної війни. <https://texty.org.ua/articles/114727/evolyuciya-fpv-droniv-yaki-innovaciyi-zyavylysyau-prodovzh-povnomasshtabnoyi-vijny/>
- [12] Explore 5 Trends Shaping the Future of UAV Technology. <https://xbstation.com/resources/news/12>

Бандурка А.А., Листопадова В.В.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний

інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

email: ania.bandurkaa@gmail.com; listopadovavv@gmail.com

КАФЕДРА МАТЕМАТИЧНОЇ ФІЗИКИ І ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ: ВІД ЗАСНУВАННЯ ДО СУЧАСНОСТІ

Анотація. У статті розглянуто історичний розвиток кафедри математичної фізики та диференціальних рівнянь КПІ від моменту її заснування до сучасності, висвітлено внесок провідних учених, які її очолювали.

Ключові слова: кафедра математичної фізики, КПІ, історія науки, математична фізика, наукові школи.

Abstract. This article examines the historical development of the Department of Mathematical Physics and Differential Equations at the Kyiv Polytechnic Institute from its foundation to the present day and highlights the contributions of the leading scholars who have headed the department.

Keywords: Department of Mathematical Physics, KPI, history of science, mathematical physics, scientific schools. У 2026 році фізико-математичний факультет відзначає 30-річчя свого заснування. В його структурі важливе місце займають кафедри математичного спрямування.

Метою цієї роботи є дослідження історичного розвитку кафедри вищої математики Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського та висвітлення ролі видатних учених, які її очолювали.

Кафедра вищої математики була заснована у 1898 році одночасно з відкриттям Київського політехнічного інституту імператора Олександра II. У перший навчальний рік інститут мав чотири відділення: механічне, інженерне,

хімічне та сільськогосподарське. Кафедру математики очолив Василь Петрович Єрмаков. Його наукова діяльність охоплювала диференціальні рівняння, теорію ймовірностей, алгебру та механіку. Він заклав основу математичної підготовки інженерів. У 1900 році під його керівництвом було створено комісію викладачів математики, яка стала прообразом кафедри. Серед його учнів і колег були Б. Я. Букреєв, І. І. Белянкін, І. І. Панфілов, Г. В. Пфейфер, М. П. Кравчук, Б. М. Делоне.

У 1922–1930 роках кафедру очолював професор Б. Я. Букреєв, який розширив наукові дослідження, організував підготовку аспірантів і залучив до співпраці молодих учених, серед яких важливе місце посідав М. П. Кравчук.

Після реорганізації інституту та його об'єднання в Київський індустріальний інститут кафедру очолив академік Михайло Пилипович Кравчук. Його наукові праці в галузі алгебри, математичного аналізу, теорії ймовірностей і чисельних методів отримали міжнародне визнання. У період його керівництва кафедра стала одним із провідних центрів математичних досліджень в Україні: розвивалася наукова школа, удосконалювався зміст математичної освіти та впроваджувалися прикладні напрями підготовки.

У 1938–1941 роках кафедру очолював Юрій Дмитрович Соколов, який досліджував наближені методи розв'язання диференціальних рівнянь. Під час Другої світової війни інститут було евакуйовано до Ташкента, де він функціонував у складі Середньоазіатського індустріального інституту [2].

Після повернення до Києва у 1944 році кафедру очолив професор Олександр Сергійович Смогоржевський, який організував науковий семінар із неевклідової геометрії, що став осередком розвитку відповідних досліджень.

У 1951–1952 роках кафедру було поділено на кафедру вищої математики та кафедру математичної фізики. Першу очолив В. А. Зморевич, другу – О. С. Смогоржевський. Кафедра вищої математики зосередилася на викладанні фундаментальних дисциплін (математичний аналіз, лінійна алгебра, аналітична геометрія, теорія функцій) і розвитку досліджень у галузі комплексного аналізу та теорії рядів. Кафедра математичної фізики стала осередком прикладних

досліджень, зокрема з диференціальних рівнянь, неевклідової геометрії та їх застосувань у фізиці й механіці, що сприяло зміцненню її наукового авторитету [1]. Протягом 1968–1973 років кафедрою математичної фізики керували Шалва Георгійович Горделадзе та Леонід Євгенович Дундученко, які розвивали дослідження у галузі диференціальних рівнянь і математичного моделювання та приділяли увагу вдосконаленню навчального процесу [1].

У 1973–1974 роках відбулося об'єднання кафедр, після чого з їхнього складу було виокремлено кафедру обчислювальної математики та програмування.

У 1976–1986 роках кафедру очолював Федір Петрович Яремчук, який досліджував крайові задачі диференціальних рівнянь і питання методики викладання математики.

З метою оптимізації навчального процесу у 1982 році кафедру було поділено на три підрозділи: кафедри вищої математики №1, №2 та №3. Кафедру №1 очолив професор Ф. П. Яремчук, а з 1986 року – професор В.В.Булдигін, фахівець у галузі теорії ймовірностей і математичної статистики. Кафедру №2 очолив професор Ф.Т.Барановський, який досліджував вироджені гіперболічні рівняння та розробляв методику викладання математики. Кафедру №3 очолив доцент М. М. Кухарчук, який розвивав дослідження з математичної фізики, зокрема диференціальних рівнянь у частинних похідних та їх застосувань до задач фізики. Під його керівництвом кафедра сформувалася як науково-освітній підрозділ прикладного спрямування.

У 1986 році кафедру очолив О. П. Бойчук – відомий учений у галузі прикладної математики і теоретичної механіки.

Упродовж 1986–1996 років кафедри вищої математики №1, №2 та №3 функціонували як самостійні навчально-наукові підрозділи, поєднуючи викладання фундаментальних дисциплін із науковими дослідженнями. Це сприяло інтеграції освіти і науки та підвищенню рівня підготовки фахівців.

Важливим етапом розвитку стало створення у 1996 році фізико-математичного факультету на базі кафедр фундаментальної підготовки за

ініціативою ректора університету академіка М. З. Згуровського. Факультет сформувався як центр фундаментальної фізико-математичної освіти та науки в КПІ [3]. Першим деканом факультету став В. Г. Бар'яхтар – академік НАН України, під керівництвом якого факультет сформувався як центр фундаментальної підготовки та наукових досліджень у галузі фізики й математики.

У 1999 році кафедру очолив директор Інституту прикладної математики і механіки НАН України, академік НАН України, академік-секретар Відділення математики НАН України І. В. Скрипник – відомий фахівець у галузі диференціальних рівнянь. Його діяльність була спрямована на розвиток теорії нелінійних диференціальних рівнянь, розширення відповідних навчальних курсів та активізацію наукової роботи кафедри.

У 2000 році кафедри факультету отримали сучасні назви відповідно до основних наукових напрямів: кафедра теорії ймовірностей та математичної статистики, кафедра диференціальних рівнянь і кафедра математичної фізики. Відповідні підрозділи спеціалізуються на дослідженнях випадкових процесів, диференціальних рівнянь та математичних методів фізики та їх застосувань.

Після смерті академіка І. В. Скрипника у 2005 році кафедру очолив професор С. Д. Івасишен, наукові дослідження якого пов'язані з теорією задач Коші та крайових задач для параболічних рівнянь і систем рівнянь із частинними похідними. У цей період до складу кафедри увійшли професори О. Ю. Швець, В. С. Герасимчук, І. В. Бейко.

З 2007 року факультет очолював доктор технічних наук, професор, академік В. В. Ванін, за керівництва якого було зміцнено освітні та наукові позиції факультету та розширено співпрацю з науковими установами.

У 2021 році кафедри математичної фізики і диференціальних рівнянь було реорганізовано та об'єднано в кафедру математичної фізики та диференціальних рівнянь у складі фізико-математичного факультету КПІ ім.Ігоря Сікорського. Її очолив доктор фізико-математичних наук, професор В.М.Горбачук – фахівець з операторних методів у диференціальних рівняннях і математичній фізиці. Під

його керівництвом кафедра зміцнила свої позиції як центр фундаментальної та прикладної підготовки.

З 2023 року кафедру очолює доцент, кандидат фізико-математичних наук Олександр Всеволодович Кузьма, член вченої ради фізико-математичного факультету. Діяльність кафедри спрямовано на модернізацію освітнього процесу, зокрема впровадження сучасних навчальних моделей, а також на інтеграцію фундаментальних курсів із прикладними напрямками, такими як машинне навчання, оптимізація та інженерне моделювання.

З 2025 року кафедру знову очолює професор В. М. Горбачук. У цей період обов'язки декана факультету виконує доктор технічних наук, професор В. Й. Котовський, який продовжує розвиток освітніх і наукових ініціатив у сфері фізико-математичної підготовки.

Станом на 2026 рік кафедра функціонує як центр підготовки фахівців у галузі математичного моделювання та математичних методів фізики. Викладацький склад забезпечує належний рівень наукової та навчально-методичної підготовки студентів. Серед провідних науково-педагогічних працівників – В. С. Герасимчук, О. О. Коваль, О. О. Суліма, І. М. Копась, В.І.Стогній.

Отже, фізико-математичний факультет є науково-освітнім осередком, що поєднує академічні традиції із сучасними напрямками розвитку математики, фізики та механіки. Його кафедри мають значний науковий потенціал і забезпечують високий рівень підготовки фахівців.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Історія Національного технічного університету України «КПІ». Київ: Політехніка, 1998.
- [2] Добровольський В. О. Історія розвитку математичних кафедр КПІ. Київ: КПІ, 2003.
- [3] Згуровський М. З. Розвиток вищої технічної освіти України. Київ: КПІ, 1998.

Бороздих Н.В.

*ДУ «Інститут досліджень науково-технічного потенціалу та історії
науки ім. Г. М. Доброва НАН України», м. Київ, Україна*

email: natalia.borozdyh@ukr.net

МЕТОДИ ОРГАНІЗАЦІЇ МІЖДИСЦИПЛІНАРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ: ЕПІСТЕМОЛОГІЧНІ ВИКЛИКИ ТА НОВІ ПІДХОДИ

Анотація. У роботі досліджено методи організації міждисциплінарних досліджень у контексті сучасних наукових викликів. Проаналізовано основні підходи до інтеграції знань, зокрема класичні та науково-орієнтовані моделі, а також окреслено їхні обмеження. Особливу увагу приділено епістемологічним і когнітивним труднощам міждисциплінарної взаємодії. Обґрунтовано доцільність застосування інженерної парадигми науки як теоретичної основи для пояснення процесів інтеграції знань. Визначено роль метакогнітивних інструментів у підвищенні ефективності міждисциплінарних досліджень і підготовці дослідників.

Ключові слова: міждисциплінарність, інтеграція знань, епістемологія науки, інженерна парадигма, метакогніція, наукові методи.

Abstract. The paper examines methods of organizing interdisciplinary research in the context of contemporary scientific challenges. It analyzes the main approaches to knowledge integration, including classical and science-oriented models, and identifies their limitations. Particular attention is paid to epistemological and cognitive challenges of interdisciplinary interaction. The study substantiates the relevance of the engineering paradigm of science as a theoretical framework for understanding knowledge integration processes. It also highlights the role of metacognitive tools in enhancing the effectiveness of interdisciplinary research and researcher training.

Keywords: interdisciplinarity, knowledge integration, epistemology of science, engineering paradigm, metacognition, scientific methods.

У сучасній науці вирішення складних проблем «реального світу» (енергетика, медицина, клімат, безпека тощо.) дедалі більшою мірою залежить від розвитку міждисциплінарних досліджень [1, 2]. Такі дослідження стають ключовим інструментом подолання комплексних викликів, що не можуть бути адекватно пояснені в межах однієї наукової дисципліни. У цьому контексті міждисциплінарність постає не лише як методологічний підхід, а як необхідна умова сучасного наукового пізнання.

Водночас, попри активну підтримку міждисциплінарності на рівні наукової політики та міжнародних програм (зокрема Horizon 2020), її практична реалізація залишається ускладненою. Це зумовлено тим, що інституційні та організаційні зміни не завжди супроводжуються належним теоретичним осмисленням процесів інтеграції знань. Основною причиною є недостатнє розуміння епістемологічних і когнітивних механізмів взаємодії різних дисциплін, що, своєю чергою, знижує ефективність дослідницьких практик [3].

Метою дослідження є аналіз основних методів організації міждисциплінарних досліджень і обґрунтування необхідності перегляду їхніх епістемологічних засад крізь призму інженерної парадигми науки [3]. Досягнення цієї мети передбачає послідовний розгляд існуючих підходів, виявлення їхніх обмежень і визначення перспективних напрямів розвитку.

У науковій літературі виокремлюється кілька моделей організації міждисциплінарного дослідницького процесу, що відображають різні стратегії інтеграції знань. Передусім варто звернутися до класичних підходів, які заклали підґрунтя для подальших досліджень у цій сфері.

Класичні підходи, представлені у працях Дж. Кляйн та А. Репко, орієнтовані насамперед на вирішення практичних проблем і передбачають

послідовну інтеграцію знань із різних дисциплін для досягнення прикладного результату [4 – 6]. У цих моделях ключовими етапами є чітке формулювання проблеми, добір релевантних дисциплін і подальший синтез отриманих результатів. У цьому контексті, міждисциплінарність розглядається як процес цілеспрямованого поєднання знань.

Разом із тим, розвиток науки зумовив появу більш складних моделей. Зокрема, науково-орієнтований підхід, запропонований С. Менкеном і М. Кістра, розширює класичний гіпотетико-дедуктивний метод, адаптуючи його до умов міждисциплінарності. Він включає формулювання дослідницьких гіпотез, розроблення спільної методології, збір і аналіз даних, а також інтеграцію результатів у цілісну систему знань [7]. У цьому випадку міждисциплінарність виступає не лише як спосіб вирішення проблем, а як форма організації наукового пізнання.

Узагальнюючи зазначені підходи, можна виокремити ключові складники міждисциплінарного дослідження: обґрунтований вибір релевантних дисциплін; формування спільної теоретичної основи; інтеграція знань і методів; узгодження понятійного апарату та дослідницьких стратегій [7]. Саме ці елементи визначають якість і результативність міждисциплінарної взаємодії.

Однак незважаючи на наявність розроблених методологічних підходів, їх практичне застосування пов'язане з низкою труднощів. Аналіз сучасних досліджень свідчить, що ці труднощі мають не лише організаційний, а значною мірою когнітивний та епістемологічний характер. Зокрема, серед основних проблем можна виокремити: когнітивні бар'єри між дослідниками різних спеціальностей, що ускладнюють взаєморозуміння; відмінності у способах конструювання та валідації знань у різних дисциплінах; складність інтеграції результатів у єдину концептуальну рамку; недостатню увагу до епістемологічних аспектів у системі наукової освіти [3].

Варто підкреслити, що більшість досліджень зосереджується переважно на організаційних і методичних аспектах міждисциплінарності, тоді як глибинна епістемологічна складність інтеграції знань часто залишається поза увагою [2]. Саме це зумовлює потребу в більш фундаментальному теоретичному аналізі.

У цьому контексті доцільно звернутися до парадигмального підходу, який дозволяє глибше осмислити природу зазначених труднощів. Зокрема, пропонується розрізнити дві філософські парадигми науки – фізичну та інженерну. Фізична парадигма орієнтована на ідею єдності науки та розглядає знання як об'єктивне відображення реальності, що існує незалежно від дослідника. У межах цієї парадигми інтеграція знань передбачає їх узгодження в єдиній універсальній системі. Натомість інженерна парадигма трактує знання як епістемічні інструменти, що створюються для розв'язання конкретних практичних завдань. Вона визнає множинність підходів, контекстуальність знання та необхідність поєднання різних дисциплінарних перспектив [3].

Отже, інженерна парадигма забезпечує більш адекватне пояснення міждисциплінарності, оскільки враховує реальні умови наукової діяльності та орієнтується на практичний результат.

З огляду на викладене, особливого значення набуває питання розвитку інструментів, здатних подолати виявлені труднощі. Одним із таких інструментів є метакогніція, що забезпечує рефлексивний рівень наукової діяльності. Ефективність міждисциплінарних досліджень значною мірою залежить від розвитку метакогнітивних навичок дослідників. Використання метакогнітивних каркасів дає змогу: усвідомлювати й аналізувати процеси створення знань; покращувати комунікацію між представниками різних дисциплін; забезпечувати узгоджену інтеграцію результатів досліджень; формувати критичне й рефлексивне ставлення до власної дослідницької практики [3]. Це дає підстави стверджувати, що, метакогнітивні інструменти виступають важливим чинником підвищення ефективності міждисциплінарної взаємодії.

Підсумовуючи викладене, слід зазначити, що методи організації міждисциплінарних досліджень потребують глибшого епістемологічного осмислення та уточнення. Основні труднощі їх реалізації мають не лише організаційний, а передусім когнітивний і епістемологічний характер. Відповідно, інженерна парадигма науки постає як перспективна теоретична основа для розвитку міждисциплінарності, оскільки вона дозволяє врахувати різноманітність підходів і практичну спрямованість наукової діяльності. Водночас використання метакогнітивних інструментів сприяє підвищенню якості досліджень, ефективній інтеграції знань і підготовці фахівців, здатних працювати в умовах складної міждисциплінарної взаємодії.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] National Academy of Sciences. (2005). Facilitating interdisciplinary research. National Academies Press.
- [2] Jacobs, J. A., & Frickel, S. (2009). Interdisciplinarity: A critical assessment. *Annual Review of Sociology*, 35, 43–65.
- [3] Boon, M., & Van Baalen, S. (2019). Epistemology for interdisciplinary research: Shifting paradigms. *Synthese*, 196, 941–960.
- [4] Klein, J. T. (1990). *Interdisciplinarity: History, theory, and practice*. Wayne State University Press.
- [5] Repko, A. F. (2008). *Interdisciplinary research: Process and theory*. SAGE Publications.
- [6] Repko, A. F., & Szostak, R. (2017). *Interdisciplinary research: Process and theory* (3rd ed.). SAGE Publications.
- [7] Menken, S., & Keestra, M. (2016). *An introduction to interdisciplinary research: Theory and practice*. Amsterdam University Press.

Брюховських Д.І., Захарченко Р.В.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

email: briukhovskyykh.d.i.-et51@edu.kpi.ua

ДО ІСТОРІЇ РОЗВИТКУ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ЕЛЕКТРОТЯГИ

Анотація. Транспорт – одна з базових галузей національної економіки, ефективне функціонування якої є необхідною умовою забезпечення обороноздатності держави, захисту економічних інтересів та підвищення рівня життя населення [1]. Залізниця – фундамент української транспортної системи, її найпотужніша складова за обсягами та якістю перевезень. У даній роботі викладено основні віхи та закономірності розвитку залізничної електротяги як найбільш ефективного та поширеного виду тяги, що відповідає вимогам сталого розвитку.

Ключові слова: електротранспорт, електропостачання залізниць, електрифікація, електрична тяга на залізницях, протиповітряна оборона залізниць.

Abstract. Transport is one of the basic sectors of the national economy, the effective functioning of which is a necessary condition for ensuring the state's defense capability, protecting economic interests, and improving the standard of living [1]. Railways are the foundation of the Ukrainian transport system, being its most powerful component in terms of transportation volume and quality. This paper outlines the main milestones and patterns in the development of railway electric traction as the most efficient and widespread type of traction that meets the requirements of sustainable development.

Keywords: electric transport, railway power supply, electrification, electric traction on railways, railway air defense.

Уперше людство стало використовувати машинну тягу замість тваринної з 1804 року. Тоді локомотив Тревітіка подолав шлях тривалістю трохи більше ніж чотири години, вигравши парі у Homfray та підтвердивши концепцію пари високого тиску, розроблену ним раніше [2]. Парова тяга застосовувалася протягом наступних півтора століття і поступово була витіснена більш досконалими машинами, зокрема електричними.

Німеччина була центром розвитку електролокомотивів наприкінці XIX століття, а перший експериментальний пасажирський електричний поїзд продемонстрував Вернер фон Сіменс – винахідник і засновник багатонаціональної машинобудівної компанії Siemens AG – у 1879 році [2].

Системи струму і напруги в контактній мережі залізниці можуть бути електрифіковані за системою постійного або змінного струму. Однак у обох випадках на електрорухомому складі використовуються тягові двигуни постійного струму. Система тяги на трифазному змінному струмі не набула широкого застосування, оскільки складно забезпечити ізоляцію близько розташованих проводів двох фаз контактної мережі (третья фаза – рейки). Це призводить до обмеження напруги в мережі та швидкостей руху внаслідок конструктивних особливостей контактної підвіски. Як правило, застосовують систему живлення електрорухомого складу однофазним змінним струмом, який безпосередньо на локомотивах перетворюється на постійний струм [3].

Перші електричні залізниці використовували постійний струм і напругу від 100 до 250 В, причому двома провідниками слугували рейки колії. Невдовзі була додана незалежна, ізольована, позитивна третя рейка, проте контактну лінію зазвичай замінювали відкритою третьою рейкою. Практичні вуличні залізниці у 1888 році використовували 450 В, а з 1896 року напруга зазвичай становила 600 В. Постійний струм з напругою 660 В на контактній лінії нині використовується більшістю міжміських залізниць та електропоїздами приміського сполучення [4].

Повітряні дроти різної конструкції для живлення електровозів або моторних вагонів були впроваджені в експлуатацію у 1880-х роках. Спочатку

застосовувалася контактна штанга зі струмоприймачем, а пізніше – контактна петля. У той період повітряні дроти для постійного струму для 600-вольтового залізничного сполучення часто були або занадто крижкими, або надто дорогими, і це призвело до впровадження міцного сталевого провідника третьої рейки з великою струмопровідною здатністю та достатньою площею контакту. Проте через значну металоємність та низький рівень безпеки експлуатації до сьогоднішнього дня контактні рейки збереглися лише в метрополітені.

На початку ХХ століття були зроблені спроби використовувати однофазні двигуни на змінному струмі як приводи, що живляться від однофазного змінного струму з частотою 50 Гц. У Німеччині вони призвели до використання однофазного змінного струму з частотою 16,7 Гц, при цьому електроенергія генерується і розподіляється як одна фаза в межах окремої залізничної мережі. Цей тип тягового електропостачання застосовується з 1912–1913 рр. Первинний досвід використання тягових систем електропостачання змінним струмом по одному проводу з частотою 50 Гц було отримано також у Німеччині у 1940 році [6].

Нині у розвитку електропостачання залізничного транспорту спостерігається низка тенденцій, серед яких можна виділити:

- розширення мережі електрифікованих швидкісних магістралей;
- збільшення сумарної тягової потужності тривалого режиму руху поїздів;
- застосування безколекторних тягових двигунів і напівпровідникової силової елементної бази нового покоління, а також зниження питомого енергоспоживання [5].

Новітня концепція акумуляторно-електричних локомотивів, що останнім часом активно розробляється провідними дослідними інституціями, включає два напрями: повністю акумуляторно-електричний локомотив та акумуляторно-контактний гібридний електровоз, який може курсувати як на маршрутах з електрифікацією, так і на ділянках без неї. В умовах російсько-української війни Укрзалізниця разом із ЗСУ розробила систему захисту пасажирських поїздів від

ударних дронів. Зокрема, диспетчерська служба отримала доступ до систем контролю повітряного простору і постійно стежить за ситуацією щодо ворожих БПЛА. У разі виявлення реальної загрози життю пасажирів проводиться евакуація людей з поїзда [7].

Під час Другої світової війни для протиповітряного захисту товарних поїздів до їх складу включали платформу, на якій розміщували зенітну гармату разом із розрахунком. Проте, хоча ці заходи і тоді не були достатньо ефективними, на пасажирських поїздах з міркувань безпеки такий захист є неприпустимим. Більш прийнятною альтернативою є використання сучасних технічних засобів радіоелектронної боротьби, спрямованих на захист поїздів від дронів, зокрема типу «Шахед-136». Застосування таких заходів вимагає створення відповідної нормативної та технічної документації, а також супроводу на етапах впровадження та експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Марценюк, Л. В. (2012). Удосконалення структури управління вантажними вагонами компаній-операторів в умовах реформування залізничного транспорту України (дис. канд. екон. наук: 08.00.04). Дніпропетровськ.
- [2] Lo, C. (2015, May 19). Tracks in time: 200 years of locomotive technology. <https://www.railway-technology.com/features/featuretracks-in-time-200-years-of-locomotive-technology-4517022/>
- [3] Данько, М. І. (Ред.), Бутько, Т. В., Кулешов, В. М., та ін. (2007). Загальний курс та технології роботи транспорту (залізничний транспорт). Харків: УкрДАЗТ.
- [4] Молодий науковець: збірник наукових праць студентів (Вип. 7). (2020). ДУІТ, 263–268. https://files.duit.edu.ua/uploads/Сайт/3_НАУКА/Наука-студенти/Molodiy-naukovets/young-scientist-7-2020.pdf
- [5] Сиченко, В. Г., Кузнецов, В. Г., Босий, Д. О., & Саблін, О. І. (2017). Енергетика тягових мереж. Дніпро: ПФ «Стандарт-Сервіс».
- [6] Burch, E. P. (1911). Electric traction for railway trains: A book for students, electrical and mechanical engineers, superintendents of motive power and others. New York: John Wiley & Sons.
- [7] Пасажирські поїзди тепер будуть захищені від дронів? (2026). <https://www.instagram.com/reel/DWoA1edDb5v/>

Ванін В. В., Вірченко Г. А.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна*

email: geometry@kpi.ua

**РОЗВИТОК ОСВІТНЬОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ТА НАУКОВОЇ ШКОЛИ
КАФЕДРИ НАРИСНОЇ ГЕОМЕТРІЇ, ІНЖЕНЕРНОЇ ТА
КОМП'ЮТЕРНОЇ ГРАФІКИ КИЇВСЬКОГО ПОЛІТЕХНІЧНОГО
ІНСТИТУТУ ІМ. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО**

Анотація. У статті досліджено розвиток освітньої та наукової діяльності кафедри нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки фізико-математичного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського. Наведено історичні факти, проаналізовано окремі аспекти, висвітлено роль окремих особистостей та їхній внесок у науку, техніку й освіту.

Ключові слова. КПІ ім. Сікорського; кафедра нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки; викладання інженерно-графічних дисциплін; геометричне моделювання об'єктів, процесів та явищ.

Abstract. This article examines the development of educational and scientific activities at the Department of Descriptive Geometry, Engineering and Computer Graphics of the Faculty of Physics and Mathematics of Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute. Historical facts are presented, relevant aspects are analysed, and the role of individual personalities and their contribution to science, technology and education are highlighted.

Keywords: Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute; Department of Descriptive Geometry, Engineering and Computer Graphics; teaching of engineering and graphical disciplines; geometric modeling of objects, processes and phenomena.

Створення промислової продукції починається з дослідження та моделювання певних об'єктів і процесів, розробляння необхідної

конструкторсько-технологічної документації. Від добротності останньої суттєво залежить якість виробів, витрати на їхнє виготовлення та подальшу експлуатацію. Напрацьована Г. Монжем (1746–1818) нарисна геометрія становить ефективний математичний апарат для відображення фізичних тривимірних об'єктів на площині. Разом зі значним внеском у теорію поверхонь запропонована методологія проєкціювання забезпечила точне моделювання окремих деталей, складних машин, будівель, фортифікаційних споруд тощо, й навіть тепер є основою сучасного технічного креслення.

Викладання інженерно-графічних дисциплін у Київському політехнічному інституті почалося з дня його заснування в 1898 році. На кафедрі деталей машин читався курс технічного креслення, а кафедра архітектурного мистецтва навчала малюванню й будівельному кресленню. Кафедра нарисної геометрії та інженерної графіки розпочала своє самостійне існування в 1934 році. Це мало велике значення для поліпшення організації та методики викладання інженерно-графічних дисциплін. Провідними фахівцями були Заслужений діяч науки і техніки УРСР професор Ярін В. М., автор відомих підручників та довідників із технічного креслення професор Годик Є. І.

Після закінчення Другої світової війни почався черговий стрімкий етап розвитку кафедри нарисної геометрії та інженерної графіки, пов'язаний з вимогами часу. Розробляється відповідна методика викладання, з'являються вдосконалені підручники, навчальні посібники. Кафедру очолюють професори Чалий О. Т. і Могильний Й. М. Захищаються дисертації з нарисної геометрії (Павлов А. В., Крот А. М.) при активній співпраці з вченими-математиками (Смогаржевський О. С., Зморевич В. А.).

Наявність на кафедрі викладачів, які мали досвід роботи на авіаційних підприємствах, сприяла суттєвому розвитку відповідному напрямку наукових досліджень (доценти Павлов А. В., Грушинська Н. К.). Павлов А. В. у 1965–1989 роках керував кафедрою, у 1967 році захистив докторську дисертацію з

прикладної геометрії, був професором, Заслуженим працівником вищої школи, академіком АНВШ України. У цей період дослідження спрямовуються на розв'язання технічних задач, що ставилися виробництвом (моделювання аеродинамічних обводів літаків, оброблення стільникових конструкцій, виготовлення композитних оболонок). Кафедра готує кандидатів наук як зі спеціалістів авіаційної промисловості (Рабінський Є. Б., Бачурін Ю. Д., Глазков О. Ф., Надолінний В. О., Шепель О. П., Бадаєв Ю. І., Залевський В. Й., Грибов С. М. та ін.), так і викладачів кафедри (Дамінов Ш. Х., Бліок А. В., Курганніков В. С., Ванін В. В., Уставщиков В. Г., Сарнацька Є. В., Беліцька Н. В., Коваль Г. М., Бокалова В. М. та ін.).

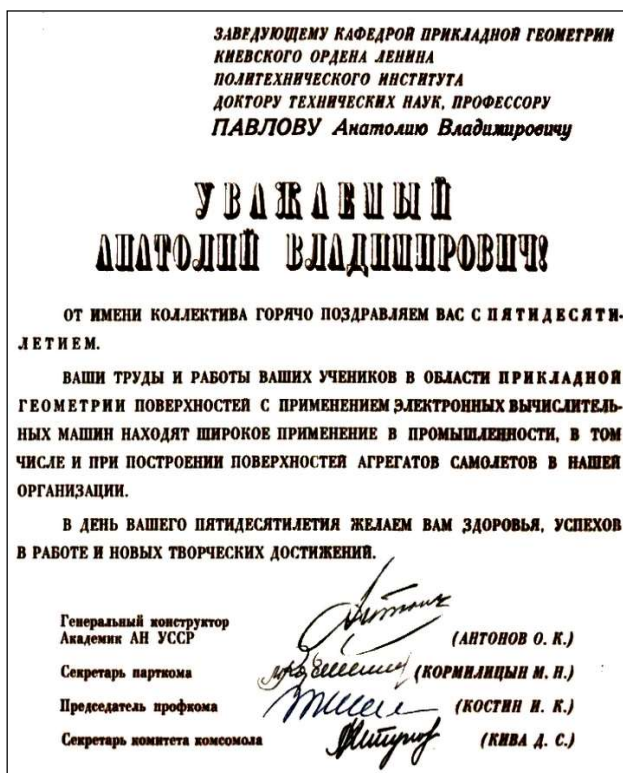


Рис. 1. Павлов А. В. та відзнака його внеску у вітчизняну авіаційну галузь

На базі авіаційних напрацювань відбувається формування двох нових наукових напрямів: проектування сільськогосподарських ґрунтообробних знарядь (доценти Корабельський В. А., Павлоцький А. С., Хмеленко О. С., Юрчук

В. П., Гетьман О. Г., Ветохін В. І. та ін.) і прикладної геометрії багатовимірного простору (доцент Гумен М. С.). Прогресивне викладання на кафедрі інженерно-графічних дисциплін стало основою для відкриття факультету підвищення кваліфікації, на якому навчалися викладачі нашої країни та інших держав. Дисертацію кандидата педагогічних наук із відповідної методики захистила Гнітецька Г. О. Зазначений підхід було викладено у підручнику Хаскіна А. М., що широко використовувався багатьма вищими навчальними закладами. Також читається новий курс «Основи художнього конструювання (дизайн)», видається підручник із цієї дисципліни.

У 1989 році кафедру очолює професор Ванін В. В., нині Заслужений працівник освіти України, академік НАНВО. У цей період для інженерних спеціальностей збільшується потреба в дисциплінах із комп'ютерних технологій розроблення конструкторської документації. Продовжується підготовка наукових кадрів. За участю як консультанта професора Павлова А. В. виконано докторські дисертації (Корабельський В. І., Надолінний В. О., Бадаєв Ю. І., Гумен М. С., Грибов С. М., Ванін В. В., Власюк Г. Г.). Під керівництвом професора Ваніна В. В. захищаються кандидатські роботи спеціалістами ДП «Антонов» (Вірченко Г. А., Ткачевський Я. І., Вірченко В. Г. та ін.) й викладачами кафедри (Гнітецька Т. В., Залевський С. В., Гумен О. М.), докторські дисертації (Шепель О. П., Вірченко Г. А., Гумен О. М.). Із напрямку сільськогосподарського машинобудування докторську дисертацію захистив Юрчук В. П., а кандидатську під його керівництвом Яблонський П. М. Виконано докторські дисертації Дорошенком Ю. О. та Ветохіним В. І. Відповідно до вимог часу були написані нові підручники, які впроваджено в навчальний процес інших закладів освіти.

Після створення в 1996 році фізико-математичного факультету кафедра бере активну участь в організаційній роботі, налагодженні навчального процесу,

створює нові курси з інформатики, комп'ютерної інженерної графіки та прикладної геометрії.

З 2015 року кафедрою керує доцент Гнітецька Г. О. Продовжується співпраця з ДП «Антонов», виконується науково-дослідна тематика, яка потребує прогресивних підходів до проектування та виготовлення літальних апаратів (д.т.н. Шепель В. П., д.т.н. Ванін В. В., д.т.н. Вірченко Г. А.). Створюються нові дистанційні курси, посібники, підручники. Відбуваються захисти кандидатських дисертацій під керівництвом професорів Ваніна В.В. та Вірченка Г.А., як викладачами кафедри (Залевська О. В., Колосова О. П.), так і спеціалістами авіаційної галузі.

З 2021 року кафедру очолює д.т.н., професор Вірченко Г. А. Продовжується співпраця з ДП «Антонов», розробляються нові засоби комп'ютерного геометричного моделювання технічних об'єктів і процесів їхнього виготовлення, а також відповідні стандарти для сучасних комп'ютерних інформаційних технологій. Напрацьовано теорію структурно-параметричного формоутворення (професори Ванін В. В., Вірченко Г. А.), яка була впроваджена на кількох підприємствах України. Видано 2 монографії (Юрчук В. П., Яблонський П. М., Ванін В. В., Вірченко Г. А.) [1, 2] та підручник (Ванін В. В., Вірченко Г. А., Надкернична Т. М., Лебедєва О. О., Яблонський П. М.) [3], розроблено значну кількість силабусів, навчальних посібників і дистанційних курсів, що застосовуються в освітньому процесі 10 навчально-наукових інститутів та 11 факультетів КПІ ім. Ігоря Сікорського. Виконуються дослідження з інтегрованого комплексного геометричного моделювання ґрунтообробних знарядь з метою підвищення врожайності, енергоефективності та екологічності сільськогосподарського виробництва. За цією тематикою у 2025 році Яблонським П. М. захищено докторську дисертацію. Із цього напрямку готуються дисертації докторів філософії. На кафедрі навчається 5 аспірантів. За

останні 3 роки отримано 4 патенти на винахід, патенти на корисні моделі та промислові зразки.

Науковою школою «Геометричне моделювання об'єктів, процесів та явищ» [4] кафедри нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки КПІ ім. Ігоря Сікорського підготовлено 11 докторів і більше 40 кандидатів технічних наук. Зокрема, внесок у розвиток вітчизняної авіації полягає в тому, що 10 із вказаних кандидатів-працівників ДП «Антонов» (Гриценко І. А., Глазков О. Ф., Бачурін Ю. Д., Дубовський Г. Й., Ткачевський Я. І., Ванін І. В., Вірченко В. Г., Незенко А. Й. та ін.) і 7 докторів наук (Павлов А. В., Надолінний В. О., Бадаєв Ю. І., Грибов С. М., Ванін В. В., Дорошенко Ю. О., Вірченко Г. А.) приймали безпосередню активну участь у проєктуванні та виготовленні таких літаків, як Ан-12, Ан-22 «Антей», Ан-24, Ан-26, Ан-32, Ан-74, Ан-124 «Руслан», Ан-140, Ан-225 «Мрія», Ан-148, Ан-158, Ан-178 та інших, продовжуючи славу історичну традицію великого авіаційного конструктора Ігоря Сікорського іменем якого названо наш університет.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Подкоритов, А. М., Юрчук, В. П., & Яблонський, П. М. (2021). Використання теорії спряжених поверхонь під час конструювання робочих органів коренезбиральних машин. КПІ ім. Ігоря Сікорського.
- [2] Ванін, В. В., Вірченко, Г. А., & Яблонський, П. М. (2022). Теоретичні основи структурно-параметричного геометричного моделювання виробів машинобудування. КПІ ім. Ігоря Сікорського.
- [3] Ванін, В. В., Вірченко, Г. А., Надкернична, Т. М., Лебедева, О. О., & Яблонський, П. М. (2023). Комп'ютерна графіка в системі AUTOCAD (з елементами математичних основ і програмування). КПІ ім. Ігоря Сікорського.
- [4] Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». (б. р.). Наукові школи КПІ. <https://kpi.ua/science-schools>

Грушицька І.Б.

Відокремлений структурний підрозділ

«Одеський автомобільно-дорожній коледж» Національного

університету «Одеська політехніка», м. Одеса, Україна

email: ira1973gr@gmail.com

ДО 100-РІЧЧЯ ВІДКРИТТЯ НАУКОВО-ДОСЛІДНОГО ІНСТИТУТУ ФІЗИКИ В ОДЕСІ

Анотація. У доповіді на основі архівних матеріалів наведено маловідомі факти з історії Одеського науково-дослідного інституту фізики за період 1926–1930 років.

Ключові слова: історія науки й техніки, Одеський науково-дослідний інститут фізики, Є. А. Кирилов, наукова фотографія, наукова школа, наукові дослідження.

Abstract. The report, based on archival materials, presents little-known facts from the history of the Odesa Research Institute of Physics for the period 1926–1930.

Keywords: history of science and technology, Odesa Research Institute of Physics, E. A. Kirillov, scientific photography, scientific school, scientific research.

У 2026 році відзначається 100-річчя відкриття Науково-дослідного інституту фізики (НДІФ) в Одесі. Провідну роль у створенні й становленні цієї установи відіграв перший директор НДІФ Єлпідіфор Анемподистович Кирилов (1883–1964).

Ідея організації НДІФ в Одесі бурхливо обговорювалася науковою інтелігенцією міста й була нею повністю підтримана.

12 січня 1926 року в м. Одесі відбулося «засідання викладачів фізики у ВНЗ та наукових працівників з фізики й споріднених дисциплін» під

головуванням професора Третьякова. На цьому засіданні були присутні: проф. Третьяков, Є. А. Кирилов, Д. Д. Хмиров, Кульов, Полль, Бурксер; ас. Бачин, Бронштейн, Кир'яков, пр. Попруженко, Ржепишевський, Міхневич, проф. П. А. Талько-Гринцевич, Бабаджан, З. Приблуда, Лілієнблум, Боржим, Федулов, проф. Цомакіон. Слухали інформацію професора Цомакіона щодо утворення в м. Одесі Науково-дослідного фізичного інституту та про його листування з професорами Л. І. Мандельштамом (1897–1944) та М. Д. Папалексі (1880–1947) щодо їхнього приїзду до Одеси як організаторів Фізичного інституту.

Беручи до уваги повну непевність відповіді професора Л. І. Мандельштама та професора М. Д. Папалексі щодо їхнього приїзду до Одеси, враховуючи, що Укрнаука протягом тривалого часу переговорів також не дійшла остаточної згоди з ними, зважаючи на те, що молоді наукові співробітники, готові до вступу до аспірантури, не мають можливості реалізувати свій потенціал та підвищити свою кваліфікацію, що необхідний для роботи тим часом інвентар амортизується та не поповнюється, а ціла низка наукових робіт, що їх проводять одеські фізики за таких умов, лишаються незакінченими, Зібрання ухвалило: а) просити Укрнауку про призначення керівника Інституту, якого має визначити Укрнаука, дозволити почати діяльність Фізичного інституту та переказати йому кошти, що їх уже було намічено; б) просити Укрнауку призначити тимчасовим керівником Інституту професора Є. А. Кирилова) у найближчий час роботи Інституту утворити загальні умови для підтримання науково-дослідної діяльності, узгоджувати з ректорами ВНЗ питання про користування Інститутом з боку навчальних установ, залучати до роботи аспірантів та інших наукових працівників та керувати їхньою працею [5].

01 червня 1926 року Є. А. Кирилова було призначено тимчасовим виконувачем обов'язків директора НДІФ, створеного згідно з постановою Ради Народних Комісарів УРСР на базі фізичних лабораторій і кабінетів колишнього

Новоросійського університету [5, арк. 101]. Так сталося, що на цій «тимчасовій» посаді Є. А. Кирилов працював до 1964 року, коли пішов з життя [3, с. 132].

Для кращого розуміння умов, у яких доводилося працювати одеським фізиком у перші роки після відкриття НДІФ, і з огляду на обмежену кількість архівних матеріалів цього періоду, важливими є архівні документи Фонду 39 «Уповноважений Укрголовнауки» Державного архіву Одеської області, зокрема «Журнал засідань наукової ради фізичного інституту», «Список аспірантів та наукових працівників кафедри фізичних наук дослідницького інституту», листи до Укрнауки, витяги з протоколів засідань, заяви та плани роботи перших аспірантів.

У контексті викликів сьогодення одним з пунктів анкетних даних наукових працівників кафедри фізичних наук НДІФ був пункт «ступінь українізації». У цій графі в анкеті Є. А. Кирилова записано: «читає лекції українською мовою». Сама анкета також складена українською мовою, як і багато інших документів, які стосуються діяльності НДІФ у 1926–1930 роках [4, арк. 4].

У терміновому листі т.в.о. директора інституту Є. А. Кирилова до Укрнауки було порушено питання про включення посади точного механіка до штату інституту. У проєкті кошторису НДІФ на 1926–1927 рр. було висловлено бажання замінити посаду шкловува посадою точного механіка, бо остання краще відповідала потребам інституту, тим паче, що за згодою з Укрнаукою цю посаду фактично було заміщено механіком Д. Д. Максutowим (1896–1964) – уродженцем Одеси, колишнім оптиком-механіком Державного оптичного інституту в Ленінграді, майбутнім членом-кореспондентом АН СРСР.

«Тепер це питання набирає особливої гостроти, бо за постановою комісії щодо скорочення адміністративно-господарських витрат на 20 % вирішено посаду шкловува виключити зі штатів Фізичного інституту. Таким чином, Фізичний інститут поставлений перед небезпекою позбавитися одного з

найважливіших і найактивніших співробітників, бо механік бере активну участь в експериментальних роботах усіх без винятку наукових працівників. Неможливо й уявити, з якими труднощами буде пов'язана подальша робота інституту», – писав Є. А. Кирилов [4, арк. 6].

Роботи з оптики та наукової фотографії займали чільне місце в діяльності інституту. З часом НДІФ в Одесі став провідним центром наукової фотографії в Україні [1, 2].

Саме з відкриттям Науково-дослідного інституту фізики були створені відповідні умови для ефективної науково-дослідної роботи у галузі наукової фотографії. Ця робота почала набувати комплексного та планового характеру, дослідження стали систематичними, була відкрита аспірантура й поступово сформувалася науково-дослідна програма (фундаментальна ідея), яка є основою будь-якої наукової школи [3].

16 червня 1928 року слухали підсумки роботи аспірантів з початку їх аспірантського стажу. Роботу аспіранта С. Й. Голуба було оцінено як цілком задовільну. Розглядалися кандидатури в аспіранти на наступний рік М. М. Подашевського, К. К. Демидова та Л. Х. Верещагіна. Було призначено термін останньої перевірки роботи аспірантів із 15 вересня до 15 жовтня 1928 року [4, арк. 3].

Список аспірантів Одеського НДІФ від 31 жовтня 1930 року виглядав так: Берлага Рудольф Якович, 1904 р., єврей, службовець, стипендія 75 крб.; Демидов Костянтин Костянтинович, 1903 р., українець, робітник, стипендія 75 крб.; Серапін Георгій Костянтинович, 1904 р., росіянин, службовець, стипендія 75 крб.; Подашевський Михайло Миколайович, 1907 р., росіянин, службовець, стипендія 75 крб.; Молчанов Олександр Петрович, 1898 р., українець, робітник, стипендія 170 крб.; Соломонюк Роман, 1893 р., українець, селянин, стипендія 120 крб.; Пігарьов Михайло Опанасович, 1896 р., українець, селянин, стипендія 120 крб.; усі аспіранти, крім О. П. Молчанова, були позапартійні [4, арк. 25].

Позапартійним був і директор інституту Є. А. Кирилов. Як бачимо, за етнічним складом переважали українці (57 %), росіяни становили 29 %, євреї – 14 %.

Отже, в перші роки функціонування НДІФ в Одесі прояви русифікації та ідеологізації були майже непомітними. Інститут працював як класична наукова установа, серед аспірантів переважали українці, документообіг здійснювався українською мовою.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Грушицька, І. Б. (2010). Діяльність одеських фізиків у галузі наукової фотографії у довоєнний період. Історія української науки на межі тисячоліть: зб. наук. праць, Вип. 45, 65–75.
- [2] Грушицька, І. Б. (2014). Школа наукової фотографії Є. А. Кирилова. Наукові праці історичного факультету Запорізького національного університету, Вип. 39, 283–288.
- [3] Грушицька, І. Б., & Сухотеріна, Л. І. (2015). Є. А. Кирилов – фундатор одеської школи наукової фотографії. Наука та наукознавство, № 3, 129–137.
- [4] Журнал засідань наукової ради фізичного інституту, Список аспірантів та наукових робітників кафедри фізичних наук дослідницького інституту. (1927–1930). Державний архів Одеської області, Ф. р-39, Оп. 1, Спр. 60, 25 арк.
- [5] Протоколи засідань Президії Укрголовнауки за 1926 рік. (1926). Державний архів Одеської області, Ф. р-39, Оп. 1, Спр. 2, 101 арк.

Данилевич В.Ю.

Національна наукова сільськогосподарська

бібліотека НААН, м. Київ, Україна

email: AltoC@protonmail.com

**СПІВПРАЦЯ КИЇВСЬКОГО РЕНТГЕНІВСЬКОГО ІНСТИТУТУ І
НАУКОВОГО ІНСТИТУТУ СЕЛЕКЦІЇ: ІСТОРІЯ ПЕРШИХ
ЕКСПЕРИМЕНТІВ ІЗ РАДІАЦІЙНОЇ СЕЛЕКЦІЇ НА ТЕРЕНАХ
УКРАЇНИ (1929)**

Анотація. Дослідження присвячене першим експериментам з радіаційної селекції в Україні (1929.) у межах співпраці Київського рентгенівського інституту та Наукового інституту селекції. Проаналізовано експеримент Р. Д. Шехаєва та Л. П. Халабуди з опромінення бульб картоплі, його методику, результати та використання метрологічного показника НЕД, застосування якого засвідчує зв'язок ранньої радіаційної селекції з медичною радіологією. Окреслено потенційний внесок дослідників у становлення біологічної дозиметрії. Показано, що вітчизняні напрацювання 1920-х років формувалися у межах загальноєвропейського наукового дискурсу та зберігають актуальність для сучасного відродження радіаційної селекції.

Ключові слова: історія науки і техніки, інститут цукрової промисловості, науково-технічний розвиток, радіаційна селекція.

Abstract. The study is devoted to the first experiments in radiation breeding in Ukraine (1929) conducted within the framework of cooperation between the Kyiv X-ray Institute and the Scientific Institute of Selection. The experiment by R. D. Shekhaev and L. P. Khalabuda on irradiating potato tubers, including its methodology, results, and the application of the metrological indicator NED (minimal erythema dose), is analyzed, the use of which demonstrates the connection between

early radiation breeding and medical radiology. The potential contribution of the researchers to the development of biological dosimetry is outlined. It is shown that Ukrainian research of the 1920s was shaped within the pan-European scientific discourse and remains relevant for the modern revival of radiation breeding.

Keywords: history of science and technology, Institute of Sugar Industry, scientific and technical development, radiation breeding.

З самого початку XXI сторіччя посилюється потреба в продовольчій безпеці, що пов'язано з багатьма факторами, такими як зростання політичної нестабільності, забруднення навколишнього середовища та кліматичні зміни. Збільшення рівня продовольчої безпеки неможливе без поліпшення методів агровиробництва, тому на фоні вищезазначених проблем відбувається ренесанс багатьох селекційних напрямів, таких як радіаційна селекція, що успішно підвищує генетичне різноманіття сільськогосподарських культур уже понад 100 років [1]. Цей напрям є перспективним у світових умовах, і для його більш ефективного впровадження залишається актуальним історичний аналіз експериментів з радіаційної селекції, оскільки вітчизняні агрономи були одними з першопрохідців цього напрямку. Детальний опис їхнього внеску та суті перших експериментів дозволить висвітлити малодосліджені сторінки вітчизняної селекційної науки та оцінити внесок маловідомих українських науковців у формування галузі.

Історія розвитку вітчизняної науково-дослідної справи у сфері радіології нерозривно пов'язана з Київським рентгенівським інститутом, який розпочав свою діяльність ще в 1914 році під назвою «Київська міська рентгендопомога», проте фактично робота розгорнулася в 1920 році, коли заклад розмістився в особняку Терещенка на Караваєвській вулиці. У міру розширення діяльності інститут переходив від суто медичного обслуговування населення та розвитку знань у галузі рентгенографії до проведення досліджень у різних сферах

промисловості та сільського господарства. Так, наприкінці 1920-х років розпочалися експерименти з вивчення впливу рентгенівських променів на злаки, бульби картоплі та цукрові буряки [2].

У цей же період активно взаємодіяли з Київським рентгенівським інститутом працівники Наукового інституту селекції, який у цей час інтегрувався до складу Українського науково-дослідного інституту цукрової промисловості. Ключовими дослідниками, які проводили роботи з радіаційної селекції, були Р. Д. Шехаєв та Л. П. Халабуда. У 1929 році вони здійснили експеримент із вивчення впливу рентгенівських променів на бульби картоплі. Детальний аналіз цього дослідження дає змогу оцінити рівень тогочасних знань про властивості рентгенівського випромінювання.

Експеримент мав на меті: дослідити подразнювальний ефект променів, оцінити їхній вплив на плодоношення картоплі та виявити внутрішньоклітинні зміни, спричинені опроміненням. У ході дослідження використовувалося кілька рівнів експозиції (інтенсивності опромінення) у діапазоні від 0,05 до 15 НЕД.

За результатами експерименту було встановлено таке: в опромінених бульбах розвиток паростків спочатку призупинявся незалежно від дози, згодом спостерігалось прискорення росту паростків у бульб, які отримали менші дози (0,05–4 НЕД), експозиція у діапазоні 6–10 НЕД діяла пригнічувально, доза в 15 НЕД виявилася летальною для бульб; позитивний вплив на плодоношення зафіксовано за експозиції 4 НЕД [3].

У підсумку автори дослідження дійшли висновку, що рентгенівське опромінення має значний подразнювальний ефект на бульби картоплі, а отже, необхідно продовжувати дослідження для оптимізації доз і зосередитися на роботі в реальних польових умовах; крім того, варто завершити цитологічні дослідження, оскільки на той момент для їх проведення не вистачало лабораторного обладнання.

Окремо потрібно пояснити фізичний зміст показника НЕД, оскільки він використовувався лише в перші роки становлення науки радіології. НЕД (найменша еритемна доза) – показник опромінення, який ґрунтується на появі еритеми (почервоніння) на шкірі через кілька годин після дії рентгенівських променів [4].

Цей показник мав низку недоліків, серед яких – неможливість об'єктивного вимірювання дози (оскільки поява еритеми залежить від стану та індивідуальних характеристик організму), відсутність прямої кореляції між НЕД та фізичними одиницями випромінювання (радами, рентгенами), що ускладнює інтерпретацію результатів і можливість повторення дослідів. Це, зокрема, підтверджує, що дослідження в окреслений період спиралися передусім на методологічну базу медичної радіології, тоді як спеціалізовані селекційні методи оцінювання ще не були сформовані.

У 1930–1940-х роках малоефективний НЕД був замінений суто селекційним міжнародним стандартом біологічної дозиметрії на основі оцінки пригнічення росту кінського боба (*Vicia faba*) [5].

Враховуючи, що Р. Д. Шехаєв проводив основну наукову роботу саме у сфері селекції бобових (зокрема, він опублікував системну працю «Бобовые (горох, фасоль, боб и чечевица). Ботаническая характеристика и описание главнейших сортов», про яку згадується в «Звіті» Наукового інституту селекції [6]), можна зробити обґрунтоване припущення, що дослідник був одним із піонерів застосування цього методу в Окремо варто зазначити, що після приєднання Наукового інституту селекції до складу Українського науково-дослідного інституту цукрової промисловості як окремого селекційного відділу, що відбулося в 1930 році, в останньому був розгорнутий рентгенкабінет, на базі якого ентузіасти розвитку рентгенології могли продовжувати свої дослідження [7].

Підводячи підсумки, можна зробити висновок, що в УСРР перші дослідження у сфері радіаційної селекції відбувалися наприкінці 1920-х років, що має значне історичне значення в контексті вітчизняної та європейської історії. Враховуючи, що ключовий дослідник, який проводив ці експерименти Р. Д. Шехаєв, який займався селекцією бобових, ймовірно, його подальші роботи мали значний вплив на становлення наступної дозиметричної одиниці, пов'язаної з *Vicia faba*. Отже, проведений аналіз дозволяє стверджувати, що у 1920-х роках вітчизняні дослідження формувалися у межах загальноєвропейського наукового дискурсу. Подальший історичний аналіз досліджень у цій сфері є важливим у контексті зростання інтересу до радіаційної селекції.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Ma, L., Kong, F., Sun, K., Wang, T., & Guo, T. (2021). From Classical Radiation to Modern Radiation: Past, Present, and Future of Radiation Mutation Breeding. *Frontiers in Public Health*, 9, 1–11.
- [2] Гордость советской медицины. (1929). *Киевский пролетарий*, № 53, 5 марта.
- [3] Державний архів Київської області (ДАКО). Ф. 1534, Оп. 1, Спр. 1, Арк. 31.
- [4] Williamson, J. F. (2006). History of dose specification in Brachytherapy: From Threshold Erythema Dose to Computational Dosimetry. *AIP Conference Proceedings*, 854(1), 3–12.
- [5] Gray, L. H., & Scholes, M. E. (1951). The Effect of Ionizing Radiations on the Broad Bean Root. Part VII. *British Journal of Radiology*, 24(279), 176–180.
- [6] Список напечатанных трудов Научного института селекции. (1927). У кн.: Научный институт селекции, отчет о деятельности за период 1922–1926 г. и программа работ на 1927 г. Київ, 94.
- [7] Грицаєнко, О. М. (1933). УНІЦ на порозі другої п'ятирічки. *Наукові записки з цукрової промисловості*, Кн. XXVII, Вип. 10, 5–17.

Дудкін М.Є.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна*

email: dudkin@imath.kiev.ua

РОЗВИТОК ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ У КИЇВСЬКОМУ ПОЛІТЕХНІЧНОМУ ІНСТИТУТІ

Анотація. Подано ретроспективний огляд розвитку математики, зокрема теорії диференціальних рівнянь, від часу заснування Політехнічного інституту до сьогодення.

Ключові слова: Політехнічний інститут, математика, диференціальні рівняння.

Abstract. A retrospective overview of the development of mathematics, in particular the theory of differential equations, from the time of the founding of the Polytechnic Institute to the present day.

Keywords: Polytechnic Institute, mathematics, differential equations.

Київський політехнічний інститут було відкрито 31 серпня 1898 року. Першим директором КІІ був учений і організатор, професор В. Л. Кирпичов (1898–1902.). Викладання дисциплін в інституті здійснювалося на 35 кафедрах. Під час добору педагогічних кадрів основна увага приділялася науковій діяльності, педагогічній майстерності, організаторським здібностям претендентів та їх умінню працювати зі студентами – критеріям, що залишаються актуальними й сьогодні.

Із перших днів існування інституту вагоме значення мала математична підготовка студентів у системі технічної освіти. Першим завідувачем кафедри вищої математики став професор, член-кореспондент Петербурзької академії

наук В. П. Єрмаков (1845–1922), який раніше працював професором Київського університету. Він викладав математику на інженерному та механічному відділеннях інституту. Наукові інтереси В. П. Єрмакова охоплювали насамперед теорію диференціальних рівнянь – як звичайних, так і з частинними похідними. Таким чином, розвиток цієї галузі математики був закладений в інституті з перших років його існування.

Окрім того, В. П. Єрмаков працював у галузях теорії рядів, варіаційного числення, теорії спеціальних функцій, алгебри, теорії чисел та теоретичної механіки. У його курсах також розглядалися елементи диференціальної геометрії та інші важливі розділи математичного аналізу.

Найближчим колегою В. П. Єрмакова був професор Б. Я. Букреєв (1859–1962), який після його смерті очолював кафедру вищої математики до 1930 р. Серед асистентів кафедри були І. І. Белянкін, І. І. Панфілов, Г. В. Пфейфер, М. О. Столяров, П. В. Воронець, а згодом – С. П. Шенберг, О. І. Коробов, К. Ф. Абрамович. Багато з них згодом стали видатними вченими у галузях математики та механіки. Зокрема, П. В. Воронець є одним із засновників неголономної механіки, а Г. В. Пфейфер отримав фундаментальні результати в теорії диференціальних рівнянь з частинними похідними.

Після Б. Я. Букреєва кафедру математики до 1938 року очолював професор М. П. Кравчук (1892–1942) – академік АН України, який зробив вагомий внесок у розвиток алгебри, теорії чисел і математичного аналізу. Із 1992 р. на базі НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського» проводяться Міжнародні наукові конференції імені М. П. Кравчука. У 2003 році на території університету було відкрито пам'ятник ученому.

До літа 1941 року кафедру вищої математики очолював член-кореспондент АН України, професор Ю. Д. Соколов (1895–1969) – відомий учений у галузі теоретичної механіки та математики, учень академіка Д. О. Граве. У період німецької окупації КПІ було евакуйовано до Ташкента та об'єднано із

Середньоазійським індустріальним інститутом. У цей період і в перші повоєнні роки (до 1952 року) кафедру очолював професор О. С. Смогоржевський (1896–1969), відомий своїми дослідженнями з теорії функцій Гріна та геометрії неевклідових просторів.

У 1952 році кафедру вищої математики було поділено на дві: кафедру математичної фізики (на чолі з О. С. Смогоржевським) та кафедру вищої математики (на чолі з В. А. Зморовичем). В. А. Зморович (1909–1994) працював у КПІ понад 50 років і спеціалізувався на теорії аналітичних функцій. У 1974 році обидві кафедри було об'єднано під спільною назвою кафедри вищої математики під керівництвом професора Л. Є. Дундученка. З 1976 року кафедру очолював професор Ф. П. Яремчук, наукові інтереси якого охоплювали гідромеханіку.

У 1982 році, з метою оптимізації навчального процесу, кафедру було поділено на три окремі підрозділи: кафедру вищої математики №1, №2 та №3, кожна з яких забезпечувала підготовку для відповідних груп факультетів. Із 1982 до 1998 р. кафедру вищої математики №2 очолював професор Ф. Т. Барановський – відомий спеціаліст у галузі диференціальних рівнянь з частинними похідними. Його наукові дослідження були присвячені задачі Коші, змішаним задачам та задачі Гурса для вироджених гіперболічних рівнянь.

Із жовтня 1998 року кафедру вищої математики №2 очолював академік НАН України А. М. Самойленко – провідний фахівець у галузі диференціальних рівнянь, засновник наукової школи з теорії коливань та імпульсних систем. Із 1988 року він також обіймав посаду директора Інституту математики НАН України.

У 2000 році кафедру вищої математики №2 було перейменовано на кафедру диференціальних рівнянь. У різні періоди її штат налічував понад 35 викладачів. Значні наукові результати отримано в галузі теорії диференціальних рівнянь та їх застосувань.

З 1999 року кафедру математичної фізики очолював академік НАН України І. В. Скрипник – відомий спеціаліст у галузі рівнянь математичної фізики. У 2000 році кафедру вищої математики №3 було перейменовано на кафедру математичної фізики. У 2005 році після смерті І. В. Скрипника кафедру очолив професор С. Д. Івасишен – фахівець у галузі диференціальних рівнянь у частинних похідних.

Упродовж 2011–2021 років кафедру диференціальних рівнянь очолював професор М. Є. Дудкін. У 2021 році кафедру диференціальних рівнянь та кафедру математичної фізики було об'єднано під назвою «кафедра математичної фізики та диференціальних рівнянь», яку нині очолює професор В. М. Горбачук. Сьогодні на кафедрі працює близько 40 викладачів.

Огляд підготовлено на основі джерел, наведених у списку літератури.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Добровольський, В. О. Математика в Київському політехнічному інституті у 1918–1968 рр. // Нариси з історії природознавства і техніки. Київ, 1971, вип. XV, с. 3–8.
- [2] Добровольський, В. О. Математика в КПІ за перші 50 років його існування // Наукові вісті НТУУ «КПІ», 1998, № 2, с. 128–133.
- [3] Добровольський, В. О. Математика в Київському політехнічному інституті за 50 років // З історії вітчизняного природознавства. Київ: Наукова думка, 1964, с. 128–143.
- [4] Добровольський, В. О. Математика в КПІ у 60–80 рр. ХХ ст. // Питання історії науки і техніки. Київ, 2000, № 1 (5), с. 33–43.
- [5] Авдєєва, Т. В., & Ванін, В. В. (2024). Нарис про керівників кафедри математики Київського політехнічного інституту // ХХІІ Міжнародна молодіжна науково-практична конференція «Історія розвитку науки, техніки та освіти». Київ, с. 9–13. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/70108>
- [6] Дундученко, Л. О. Спомини. Francisco-Pacheco, California, USA.

Журавель Б.О., Строкач М.С.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна email:

huravel.bohdana@edu.kpi.ua

ІСТОРИЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ СЕГНЕТОЕЛЕКТРИКІВ В УКРАЇНІ: ВІД ФУНДАМЕНТАЛЬНОЇ НАУКИ ДО ТЕХНОЛОГІЙ ПРИЗНАЧЕННЯ В УМОВАХ ВІЙНИ

Анотація. У тезах проаналізовано розвиток досліджень сегнетоелектриків в Україні від становлення наукових шкіл до сучасних прикладних напрямів. Розглянуто внесок установ Національної академії наук України та Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського, а також окремих учених у вивчення властивостей сегнетоелектричних матеріалів. Висвітлено перехід від фундаментальних досліджень до технологічних застосувань у сенсорних системах, мікроелектроніці та оборонній сфері. Окреслено сучасні напрями розвитку та значення цих матеріалів в умовах війни.

Ключові слова: сегнетоелектрики, НАН України, КПІ, сенсори, оборонні технології.

Abstract. The paper analyzes the development of ferroelectric research in Ukraine, from the formation of scientific schools to modern applied directions. It highlights the contribution of the National Academy of Sciences of Ukraine and Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, as well as individual scientists, to the study of ferroelectric materials. The transition from fundamental research to applications in sensor systems, microelectronics, and defense technologies is emphasized. Current research trends and the importance of these materials under wartime conditions are outlined.

Keywords: ferroelectrics, NAS of Ukraine, KPI, sensors, defense technologies.

Дослідження сегнетоелектриків в Україні активно розвивалися у другій половині ХХ століття в установах Національної академії наук України, зокрема в Інституті фізики НАН України та Інституті проблем матеріалознавства імені І. М. Францевича. Українські вчені здійснили значний внесок у вивчення фазових переходів, доменної структури та нелінійних властивостей сегнетиків. Вони досліджували механізми поляризації та поведінку матеріалів поблизу критичних температур, що дозволило сформуванню фундаментальних уявлень про фізику сегнетоелектричних явищ [1].

Вагому роль у розвитку сегнетоелектрики відіграли університети, передусім Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського. Тут сформувалися наукові групи, які досліджували тонкі плівки, керамічні матеріали та п'єзоелектричні ефекти. Значна увага приділялася експериментальним методам вивчення властивостей матеріалів. Освітня діяльність сприяла підготовці фахівців для наукових і прикладних сфер, забезпечуючи спадковість наукових традицій [2].

Сегнетоелектрики набули широкого застосування у сучасних технологіях завдяки своїм унікальним властивостям. На їх основі створюються датчики, актуатори та елементи енергонезалежної пам'яті. Особливо перспективними є тонкоплівкові структури для мікроелектроніки. Важливою характеристикою є швидкість перемикання поляризації, що використовується в сучасних електронних пристроях. Це демонструє перехід від фундаментальної фізики до інженерних застосувань [3].

В умовах війни сегнетоелектрики набувають стратегічного значення для оборонних технологій. Вони застосовуються в гідроакустичних системах, зокрема в сонарних установках для виявлення об'єктів. П'єзоелектричні сенсори використовуються у безпілотних апаратах і системах наведення. Енергонезалежна пам'ять забезпечує надійність функціонування електроніки в

екстремальних умовах. Таким чином, сегнетики є критично важливими компонентами сучасної військової техніки [4].

Сучасні дослідження сегнетоелектриків пов'язані з розвитком нанотехнологій і мультифероїків. Ці матеріали поєднують електричні та магнітні властивості, відкриваючи нові можливості для електроніки. Перспективними є також сегнетоелектричні напівпровідники та гнучкі матеріали, що можуть застосовуватися в переносних пристроях і військовій техніці нового покоління. Українські дослідники беруть участь у цих напрямках, інтегруючись у міжнародні проєкти [5].

У розвитку сегнетоелектрики вагому роль відіграли науковці Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського, зокрема представники шкіль матеріалознавства та фізики твердого тіла. Дослідження п'єзоелектричної кераміки на основі титанату барію та цирконат-титанату свинцю (PZT) були спрямовані на створення чутливих сенсорів і ультразвукових перетворювачів. Значний внесок у розвиток цих напрямів зробив український учений Олександр Федорович Куксенко, який досліджував властивості функціональної кераміки та її застосування в техніці. Його роботи сприяли вдосконаленню п'єзоелектричних матеріалів для вимірювальних і навігаційних систем, що мають безпосереднє значення для сучасних сенсорних технологій і оборонної сфери [6].

Суттєві доробок у фізики твердого тіла та матеріалознавства складають праці Гермаш Людмили Павлівни, яка працювала в Київському політехнічному інституті імені Ігоря Сікорського. Її дослідження були зосереджені на фізиці напівпровідників, поверхневих явищах і електрофізичних процесах у матеріалах. Зокрема, вона вивчала структури на основі карбіду кремнію та процеси перенесення заряду, що є важливими для створення сучасних електронних і сенсорних систем. Отримані результати мають значення для розвитку функціональних матеріалів, зокрема сегнетоелектриків і п'єзоелектриків,

створюють основу для сучасних технологій, що використовуються як у цивільній, так і в оборонній сфері [6].

Історія дослідження сегнетоелектриків в Україні демонструє високий рівень розвитку фізичної науки та її практичну спрямованість. Наукові школи Національної академії наук України та Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського забезпечили основу для розвитку сучасних технологій. Сегнетоелектрики відіграють ключову роль у створенні сенсорів, пам'яті та оборонних систем. В умовах війни їх значення лише зростає. Попри складні обставини, українська наука демонструє стійкість і здатність до розвитку. Підтримка наукових досліджень є критично важливою для відновлення країни. Подальший розвиток сегнетоелектрики сприятиме технологічному прогресу та зміцненню безпеки держави.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Лайнс, М. Е., & Гласс, А. М. (1977). *Принципи та застосування сегнетоелектриків і споріднених матеріалів*. Oxford: Clarendon Press.
- [2] Dawber, M., Rabe, K. M., & Scott, J. F. (2005). *Physics of thin-film ferroelectric oxides*. *Reviews of Modern Physics*, 77(4), 1083–1130.
- [3] Waser, R. (2003). *Nanoelectronics and information technology*. Wiley-VCH.
- [4] Safari, A., & Akdogan, E. K. (2008). *Piezoelectric and acoustic materials for transducer applications*. Springer.
- [5] Ramesh, R., & Spaldin, N. A. (2007). *Multiferroics: progress and prospects in thin films*. *Nature Materials*, 6, 21–29.
- [6] Гермаш, Л. П. (2010). *Квантово-хімічне дослідження поверхневих структур кремнію та карбїду кремнію*. *Наукові вісті НТУУ «КПІ»*, (4), 121–129.

Зарубіна Н.Є.¹, Пономаренко Л.П.², Дрозденко О.В.²

¹Інститут ядерних досліджень НАН України, м. Київ, Україна

²Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

email: Ponomarenko.lilia@iit.kpi.ua

ФОРМУВАННЯ ЯДЕРНИХ ПРОГРАМ ТА ПОШИРЕННЯ ЯДЕРНОЇ ЗБРОЇ У СВІТІ

Анотація. У роботі висвітлено формування ядерних програм провідних держав як результат взаємодії наукових, політичних і розвідувальних чинників. Акцент зроблено на ролі міжнародної наукової міграції, трансферу знань і геополітичного суперництва у створенні ядерної зброї. Проаналізовано просторові та кількісні закономірності ядерних випробувань і їх концентрацію у віддалених регіонах. Показано, що довготривалі екологічні наслідки випробувань залишаються недостатньо врахованими у дискурсі глобальної безпеки. Обґрунтовано, що ядерні програми слід розглядати не лише як інструмент сили, а й як джерело глобальних екологічних ризиків.

Ключові слова: ядерна зброя, ядерні програми, ядерні випробування, геополітичне суперництво, радіонукліди, екологічні наслідки, глобальна безпека.

Abstract. The paper examines the development of nuclear programs in major powers as a result of the interaction of scientific, political, and intelligence factors. It emphasizes the role of international scientific migration, knowledge transfer, and geopolitical competition in the creation of nuclear weapons. The study analyzes spatial and quantitative patterns of nuclear testing and their concentration in remote regions. It demonstrates that the long-term environmental consequences of nuclear testing remain insufficiently addressed in global security discourse. The paper argues that nuclear

programs should be viewed not only as instruments of power but also as sources of global environmental risks.

Keywords: nuclear weapons, nuclear programs, nuclear testing, geopolitical competition, radionuclides, environmental consequences, global security.

Можливість створення ядерної зброї у Сполучених Штатах Америки виникла не спонтанно і не виключно як результат внутрішніх наукових зусиль. Навпаки, американський ядерний проєкт став прикладом безпрецедентної міжнародної концентрації наукового потенціалу, спричиненої драматичними політичними подіями у Європі 1930-х років [1]. Ключову роль у формуванні американської ядерної програми відіграла еміграція європейських учених, передусім з нацистської Німеччини та окупованих нею територій. Після приходу Гітлера до влади багато фізиків єврейського походження або політичних опонентів режиму були змушені залишити Європу. Саме вони склали інтелектуальне ядро майбутнього Манхеттенського проєкту [1]. Серед найважливіших постатей були Лео Сілард (Угорщина), Едвард Теллер (Угорщина), Енріко Фермі (Італія), Нільс Бор (Данія), Ганс Бете (Німеччина), Рудольф Пайєрлс (Німеччина–Велика Британія) та Джон фон Нейман (Угорщина–США). Манхеттенський проєкт, офіційно розпочатий у 1942 році, об'єднав наукові центри у Лос-Аламосі, Ок-Риджі та Хенфорді. Без європейської теоретичної школи ядерної фізики, закладеної ще у 1920–1930-х роках, американський проєкт був би неможливим у такі стислі терміни. Проєкт призвів до першого ядерного випробування, названого «Trinity», яке відбулося 16 липня 1945 року у Нью-Мексико з приблизною потужністю 20–22 кілотонни в тротиловому еквіваленті [1].

Після успішного випробування «Trinity» Сполучені Штати розгорнули масштабну та систематичну програму ядерних випробувань, яка тривала до 1992

року. Загалом США здійснили понад 1 030 ядерних вибухів, що зробило їх світовим лідером за кількістю тестів [2].

Ключовим об'єктом став Невадський випробувальний полігон (Nevada Test Site, нині – Nevada National Security Site), який функціонував з 1951 року. Саме тут було проведено понад 900 випробувань, включно з атмосферними, наземними, повітряними та підземними [2].

Паралельно з континентальними тестами США використовували віддалені океанічні полігони, насамперед атол Бікіні та атол Еніветок на Маршаллових островах. Саме там у листопаді 1952 року було проведено випробування Ivy Mike – першого у світі повноцінного термоядерного пристрою. Його потужність перевищила 10 мегатонн у тротиловому еквіваленті.

У березні 1954 року США провели випробування Castle Bravo – термоядерного заряду з потужністю близько 15 мегатонн, що суттєво перевищило розрахункові значення [1].

Останнє американське випробування – Divider – відбулося у вересні 1992 року, після чого США оголосили односторонній мораторій на ядерні вибухи.

Радянський Союз розпочав власну програму створення ядерної зброї під час Другої світової війни, однак її темпи і успіхи були б значно скромнішими без доступу до західної науково-технічної інформації. СРСР відчував гострий дефіцит часу, ресурсів і наукової інфраструктури, що зумовило активне використання розвідувальних каналів [1]. Найвідомішим епізодом радянського атомного шпигунства стала діяльність Джуліуса та Етель Розенберґів, які передавали радянській розвідці інформацію про конструкцію американської атомної бомби. Джуліус Розенберґ, інженер за освітою, мав доступ до оборонних підрядників і був пов'язаний із мережею інформаторів, зокрема фізиком Клаусом Фуксом – німецьким ученим, який працював у Лос-Аламосі та передавав СРСР ключові дані щодо імплзійної схеми плутонієвого заряду.

Отримана інформація дозволила радянським ученим уникнути багатьох технічних помилок і значно скоротити час розробки. Перший радянський ядерний вибух у 1949 році (РДС-1) на Семипалатинському випробувальному полігоні в Казахській РСР був технологічною копією американського «Fat Man». Загалом СРСР здійснив приблизно 715 ядерних випробувань у період з 1949 по 1990 рік [2].

Семипалатинськ став головним центром радянських випробувань: там було здійснено понад 450 вибухів різного типу – атмосферних, наземних та підземних. Другим стратегічно важливим полігоном стала Нова Земля – арктичний архіпелаг, обраний через свою віддаленість і низьку щільність населення. Саме там у жовтні 1961 року було підірвано АН602 («Цар-бомбу») – найпотужніший ядерний заряд в історії людства. Його потужність оцінюється у 50–58 мегатонн [2]. Полігон Капустин Яр використовувався переважно для випробувань ракетної техніки та тактичних ядерних зарядів малої і середньої потужності. Останнє радянське ядерне випробування відбулося у жовтні 1990 року.

Велика Британія стала третьою державою у світі після США та СРСР, яка провела власні ядерні випробування. Перший успіх стався 3 жовтня 1952 року, коли британський ядерний заряд був випробуваний на островах Монте-Белло у західній Австралії [14]. У жовтні 1953 року у віддаленій місцевості Ему Філд, також у Південній Австралії, відбулися інші важливі тести. Один із найвідоміших етапів британських випробувань – це серія Operation Grapple, проведена у 1957–1958 роках на атолах Кірітіматі (острів Різдва) та Малден у Тихому океані. Крім того, у 1950-х і 1960-х роках британці проводили випробування на полігоні Маралінга у Південній Австралії [2].

Франція – єдина держава ЄС, що повністю розробила власний ядерний арсенал. Франція почала випробування у 1960 році в Сахарі, а згодом перенесла їх на атол Моруроа в Тихому океані, де тести тривали до 1996 року [2].

Китайська Народна Республіка розробила власну програму «Two Bombs, One Satellite». 16 жовтня 1964 року Китай здійснив свій перший успішний ядерний вибух на полігоні Лоп Нор у пустелі Такла-Макан. У наступні роки Китай провів десятки додаткових випробувань на тій самій базі, включно з підземними. Останні відомі китайські ядерні випробування датуються липнем 1996 року [2].

Індія стала першою ядерною державою в Південній Азії. Її перший ядерний вибух відбувся 18 травня 1974 року на полігоні Покхаран у штаті Раджастан. У травні 1998 року Індія провела серію підземних випробувань у тій самій зоні, названу програмою Shakti [2]. Не минуло й двох тижнів, як Пакистан відповів власними підземними вибухами у 1998 році у районі Чагаї в провінції Белуджистан, що підтвердило формування власного ядерного арсеналу [2].

Географія та інтенсивність ядерних випробувань різних держав наочно відображені на рис. 1. Зокрема, найбільшу кількість тестів здійснили США (понад 1 030) та СРСР (близько 715), тоді як інші ядерні держави проводили значно меншу кількість випробувань. Просторовий розподіл полігонів демонструє концентрацію випробувальної активності у віддалених або малозаселених регіонах, що було пов'язано з прагненням мінімізувати політичні та екологічні ризики.

Демократична Народна Республіка Корея (КНДР) провела перший ядерний вибух 9 жовтня 2006 року на полігоні Пунгері. У наступні роки, зокрема у 2009, 2013, 2016 (два тести) і 2017 роках, Північна Корея проводила ще кілька підземних випробувань, які були спрямовані на розвиток термоядерних боєприпасів для міжконтинентальних балістичних носіїв [2].

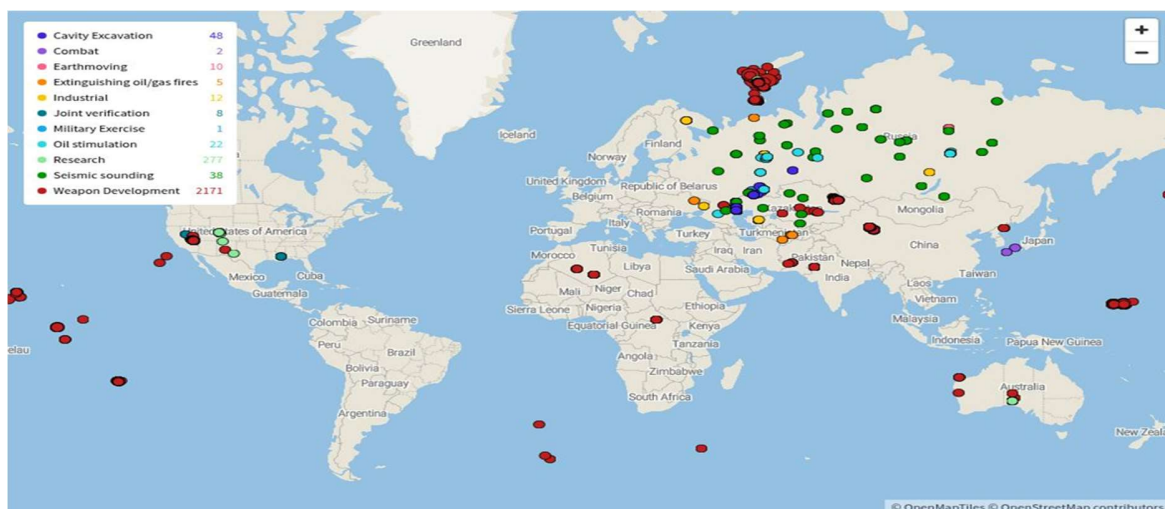


Рис. 1. Ключові локації ядерних випробувань – США – ~1 032 тести, СРСР – ~715, Китай – ~45, Франція – ~210, Велика Британія – ~45, Індія та Пакистан – по кілька у 1990-х роках.

Іранський ядерний проєкт є одним із найконтroversійніших у XXI столітті. Формально Тегеран наполягає на мирному характері своєї програми, однак збагачення урану до високих рівнів, розвиток ракетних технологій і приховування окремих об'єктів викликали підозри щодо можливого військового виміру. За оцінками МАГАТЕ та незалежних експертів, Іран у різні періоди наближався до так званого nuclear breakout capability – можливості створити ядерний заряд у відносно короткий термін. Ядерна угода 2015 року (JCPOA) тимчасово обмежила ці процеси, але її фактичний розпад знову актуалізував питання іранської ядерної бомби [3].

Ядерні випробування, особливо атмосферні та наземні, стали одними із найбільш масштабних джерел антропогенного радіаційного забруднення у XX столітті. Найбільшу небезпеку для довкілля та здоров'я людини становлять довгоживучі радіонукліди, зокрема ^{137}Cs та ^{90}Sr , які мають здатність накопичуватися у ґрунтах, воді та харчових ланцюгах. Їх присутність у навколишньому середовищі пов'язується зі зростанням рівня онкологічних

захворювань, порушенням репродуктивного здоров'я та генетичними мутаціями в уражених регіонах. Дослідження наслідків випробувань свідчать про тривалу деградацію екосистем, зменшення біорізноманіття та обмежені можливості природного відновлення навіть через десятиліття після завершення випробувань [4, 5].

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Rhodes, R. *The Making of the Atomic Bomb*. New York: Simon & Schuster, 1986. ISBN: 978-0-671-44133-3
- [2] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. *Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes*. Vol. I–II. New York: United Nations, 2000. ISBN: 92-1-142238-8.
- [3] International Atomic Energy Agency. *Verification and Monitoring in the Islamic Republic of Iran in Light of United Nations Security Council Resolution 2231 (2015)*. GOV/2015/72. Vienna: IAEA, 2015.
- [4] International Atomic Energy Agency. *Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and their Remediation: Twenty Years of Experience*. Vienna: IAEA, 2006. ISBN: 92-0-114705-8.
- [5] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. *Health Effects due to Radiation from the Chernobyl Accident*. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. New York: United Nations, 2008. ISBN: 978-92-1-142280-1.

Зубаков М.І., Коваль О.О., Поліщук О.Б.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна*

email: olenapoly90@gmail.com

ІЗ ІСТОРІЇ НАБЛИЖЕНИХ МЕТОДІВ

Анотація. У роботі розглянуто історичний розвиток наближених методів та їх значення в інженерії. Показано роль чисельних підходів у розв’язанні задач, що не мають аналітичних розв’язків, висвітлено основні етапи становлення методів і сучасні напрями їх застосування у моделюванні та приладобудуванні.

Ключові слова: наближені методи; чисельні методи; обчислювальна математика; моделювання; приладобудування.

Abstract. The paper examines the historical development of approximation methods and their importance in engineering. It highlights the role of numerical methods in solving problems that lack exact analytical solutions. The main stages of the evolution of these methods and their modern applications in modeling and instrumentation engineering are outlined.

Keywords: approximation methods; numerical methods; computational mathematics; modeling; instrumentation engineering.

Сучасне приладобудування є складною галуззю техніки, що поєднує механіку, електроніку, матеріалознавство, інформатику та математику.

Проектування та аналіз приладів пов’язані з дослідженням складних фізичних процесів, таких як механічні коливання, теплопровідність, електромагнітні поля, гідродинаміка та обробка сигналів. Більшість таких процесів описується складними математичними моделями, які у загальному випадку не мають точних аналітичних розв’язків, що зумовлює необхідність

використання наближених методів для отримання результатів із заданою точністю [1, 2].

Ідеї наближених обчислень виникли ще в давнину у зв'язку з потребами архітектури, механіки та астрономії, які вимагали виконання складних розрахунків, проте довгий час математичні методи залишалися обмеженими. Суттєвий розвиток наближених методів відбувся у XVII столітті з появою математичного аналізу, основи якого були закладені Ісааком Ньютоном та Готфрідом Вільгельмом Лейбніцем. Створення диференціального та інтегрального числення дозволило описувати різноманітні фізичні процеси у вигляді диференціальних рівнянь, однак їх точні розв'язки можливі лише для обмеженого класу задач, що сприяло розвитку наближених методів [1, 2].

Вагомий внесок у розвиток чисельних методів зробив Карл Фрідріх Гаусс, який розробив метод найменших квадратів – фундаментальний інструмент обробки експериментальних даних [3, 4]. Ці результати згодом стали підґрунтям для майбутнього розвитку інженерних розрахунків.

У XIX столітті інтенсивний розвиток механіки, фізики та інженерної справи зумовив потребу в розв'язанні складних задач, пов'язаних з будівництвом машин, мостів, механізмів та вимірювальних приладів. Можна назвати основні математичні проблеми того часу: розв'язання систем лінійних рівнянь, інтегрування складних функцій, дослідження диференціальних рівнянь. Саме в цей період почали активно використовувати метод Ейлера для чисельного інтегрування диференціальних рівнянь, метод скінченних різниць, поліноміальну інтерполяцію [1, 2]. Ще до появи комп'ютерів ці методи дозволяли проводити інженерні розрахунки, при цьому обчислення виконувалися вручну або за допомогою механічних обчислювальних машин. Для приладобудування це мало велике значення, оскільки стало можливим прогнозувати поведінку механічних систем, аналізувати точність вимірювальних пристроїв і досліджувати вплив різних факторів на їхню роботу.

На початку XX століття технічний прогрес значно прискорився. Розвиток радіотехніки, електроніки та авіації створив нові складні задачі – розрахунок коливань механічних систем, аналіз електричних кіл, дослідження теплових процесів у приладах. Важливим напрямком стала теорія апроксимації, що дозволяла описувати складні функції простішими математичними моделями. Справжній прорив відбувся з появою електронно-обчислювальних машин, що дало змогу реалізовувати громіздкі чисельні алгоритми та сприяло становленню обчислювальної математики як окремої наукової галузі [1, 2]. У цей період було розроблено метод скінченних елементів, який став одним із ключових інструментів інженерного аналізу та широко застосовується у приладобудуванні й нині [2, 3].

На сучасному етапі наближені методи є невід’ємною складовою інженерної діяльності. Основні напрямки їх розвитку включають комп’ютерне моделювання фізичних процесів, оптимізацію конструкцій, обробку сигналів та використання методів штучного інтелекту [1, 2]. Серед найбільш поширених підходів застосовують метод Монте-Карло, спектральні методи та чисельні методи оптимізації [3–5], які широко використовуються у приладобудуванні для створення високоточних вимірювальних систем, сенсорів, електронних приладів та медичної апаратури [4, 5].

Згідно з сучасною класифікацією наближені методи поділяють на ітераційні, проєкційні та варіаційні [2, 3]. При застосуванні ітераційних методів розв’язок знаходиться шляхом послідовних наближень (ітерацій) (наприклад, метод простої ітерації, метод Ньютонна). Суть проєкційних методів полягає у наближеному поданні розв’язку як елемента скінченновимірної підпростору та визначенні його через проєкцію вихідної задачі на цей підпростір (метод Рітца, метод колокацій). Ідея застосування варіаційних методів полягає у зведенні розглядуваної задачі до задачі знаходження екстремуму (мінімуму або максимуму) певного функціонала: метод найменших квадратів, варіаційний

метод Рунца. [2, 3]. У сучасній обчислювальній математиці дедалі більшої актуальності набувають комбіновані підходи, що інтегрують переваги різних методів, зокрема, проєкційно-ітеративні та варіаційно-проєкційні методи, які дозволяють підвищити ефективність і точність розрахунків. [2, 3, 5].

Отже, наближені методи виникли як відповідь на практичні потреби людства та пройшли тривалий шлях розвитку від простих емпіричних підходів до складних чисельних алгоритмів. Сьогодні їх застосування дозволяє досліджувати складні фізичні процеси, створювати математичні моделі приладів, оптимізувати конструкції ще на етапі проєктування, зменшувати витрати на експериментальні дослідження та підвищувати точність і надійність приладів [4, 5].

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Samarskii, A. A., & Nikolaev, E. S. (1989). *Numerical methods for grid equations. Vol. I: Direct methods*. Basel: Birkhäuser.
- [2] Samarskii, A. A., & Nikolaev, E. S. (1989). *Numerical methods for grid equations. Vol. II: Iterative methods*. Basel: Birkhäuser.
- [3] Demmel, J.W. (1997). *Applied numerical linear algebra*. Philadelphia:SIAM
- [4] Burden, R. L., & Faires, J. D. (2011). *Numerical analysis*. Boston: Cengage Learning.
- [5] Chapra, S. C., & Canale, R. P. (2015). *Numerical methods for engineers*. New York: McGraw-Hill.

Іванова І.М., Подольська Д.С., Смірнов М.О.,

Поставнича О.О., Борсук В.В.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний

інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

email: im_ivan@ukr.net

ТАОН ТА ТАОННЕ НЕЙТРИНО: ІСТОРІЯ ВІДКРИТТЯ І СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ

Анотація. У роботі висвітлено історію відкриття тау-лептона та тау-нейтрино, їхні ключові властивості та сучасний стан експериментальних досліджень, зокрема роль τ -частинки у перевірці Стандартної моделі й механізмах її розпаду. Показано, що дослідження цих частинок є важливими для тестування лептонної універсальності, структури слабкої взаємодії та пошуку нової фізики за межами відомих теорій.

Ключові слова: тау-лептон, тау-нейтрино, розпад, адрони.

Abstract. The paper highlights the history of the discovery of the tau lepton and the tau neutrino, their key properties, and the current state of experimental research, including the role of the τ particle in testing the Standard Model and its decay mechanisms. The study of these particles is important for testing lepton universality, probing the structure of the weak interaction, and searching for new physics beyond known theories.

Keywords: tau lepton, tau neutrino, decay, hadrons.

Тау-лептон (τ) належить до третього, найважчого покоління лептонів, яке було відкрите останнім, і його дослідження залишається критично важливим напрямом сучасної науки для перевірки Стандартної моделі. Важливо підкреслити, що інформація про характеристики цих частинок не є статичною, а

постійно уточнюється: експериментальні дані різних років демонструють еволюцію точності вимірювань, а пошук можливих відхилень від теорії триває й досі.

Історія відкриття сягає часів після виявлення мюона у 1936 році, коли встановлення його схожості з електроном породило гіпотезу про існування важчих лептонних «сімей», кожній з яких відповідає власний тип нейтрино [4]. Ця гіпотеза підтвердилася у 1975 році, коли Мартін Перл на електрон-позитронному колайдері SPEAR у Стенфорді відкрив тау-лептон за допомогою детектора Mark I. Реєстрація частинки була складною задачею, оскільки через надзвичайно короткий час життя тау-лептон розпадається практично миттєво всередині детектора, тому його вивчають виключно за продуктами розпаду.

Тау-лептон є фундаментальною частинкою, що не має внутрішньої структури, але вирізняється аномально великою масою – приблизно $1777 \text{ MeV}/c^2$, що робить його важчим за протон і нейтрон та майже в 3500 разів масивнішим за електрон. Така велика маса вимагає високих енергій для його народження, поріг яких становить близько 3,55 ГеВ. Час життя частинки вкрай короткий і становить близько $2,9 \times 10^{-13} \text{ с}$. У джерелах наводяться різні уточнення цих параметрів (наприклад, $1777,02 \pm 0,25 \text{ MeV}/c^2$), що свідчить про безперервний процес калібрування експериментальних установок та уточнення даних [3].

Механізми утворення та розпаду тау-лептона мають свої унікальні особливості. Частинки народжуються у високоенергетичних процесах, таких як анігіляція електрон-позитронних пар, розпади W- і Z-бозонів або важких мезонів, а також при взаємодії протонних пучків з мішенню [1]. Тау-лептон є єдиним лептоном, достатньо масивним для розпаду на адрони (піони, каони), що перетворює його на «чисту лабораторію» для вивчення сильної взаємодії та точного визначення константи α_s [3]. Крім того, завдяки великій масі він може брати участь у глибоко непружних взаємодіях з ядрами, що супроводжуються вибиванням піонів та утворенням тау-нейтрино.

Тау-нейтрино (ν_τ), яке є партнером тау-лептона у слабкій взаємодії, також становить значний інтерес для науки. Довгий час нейтрино вважалися безмасовими, проте відкриття осциляцій (взаємних перетворень нейтрино різних поколінь) довело наявність у них маси, що є прямим доказом фізики за межами Стандартної моделі. Точна маса ν_τ досі невідома; встановлено лише верхні межі, які змінюються з часом – від менше ніж 18,2 МеВ за даними 1996 року до інших оцінок, як-от $<23,8$ МеВ [3, 4]. Навіть мала маса ν_τ може мати суттєвий вплив на космологічні моделі раннього Всесвіту та природу темної матерії [2].

Зрештою, тау-лептон слугує ідеальним інструментом для перевірки Стандартної моделі та пошуку нової фізики. Науковці перевіряють гіпотезу лептонної універсальності, згідно з якою слабка взаємодія однаково діє на всі покоління лептонів, а вимірювання співвідношень розпадів дозволяє контролювати рівність констант зв'язку. Аналіз параметрів Мішеля підтверджує векторно-аксіальну (V–A) структуру слабкої взаємодії, де будь-які відхилення від прогнозів стали б свідченням існування екзотичних взаємодій. Також ведеться пошук CP-порушення (асиметрії між розпадами частинки та античастинки), що могло б пояснити баріонну асиметрію Всесвіту. Таким чином, дослідження тау-лептона демонструють, що наші знання про фундаментальні частинки не є статичними, а сам тау-лептон залишається унікальним «вікном» у малодосліджені області фізики.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Андрієвський, С. М., & Кузьменков, С. Г. (2022). *Ядерна астрофізика*. Одеса: Одеський національний університет імені І. І. Мечникова.
- [2] Кондратенко, П. О. (2015). Кварки і лептони в моделі Всесвіту з мінімальною початковою ентропією. *International Journal of Physics and Astronomy*, 3(2), 51–69.
- [3] *Tau lepton physics: Theoretical overview*. (1997). *Nuclear Physics B: Proceedings Supplements*, 55(3), 3–22.
- [4] Marciano, W. J. (1994). *Tau physics: A theoretical perspective* (Report No. BNL-60161). Upton, NY: Brookhaven National Laboratory.

Князький Л. Б., Гуменна І.Л.

Навчально-науковий Київський інститут залізничного транспорту

Національного транспортного університету, м. Київ, Україна

email: kniazkyi_lb@ntu.edu.ua

ТЕОРЕТИК ЗАЛІЗНИЧНОГО РУХУ ЛЬВІВСЬКОЇ ПОЛІТЕХНІКИ – БАРОН РОМАН ГОСТКОВСЬКИЙ

Анотація. У дослідженні проаналізовано внесок у розвиток науки та техніки відомого теоретика залізничного руху, ректора Львівської політехніки, громадського діяча – барона Романа Гостковського. Висвітлено його місце в історії розвитку залізничного сполучення на українських землях, окреслено науковий шлях ученого.

Abstract. This study analyzes the contribution to the development of science and technology made by the renowned railway traffic theorist, Rector of Lviv Polytechnic, and public figure Baron Roman Gostkovskyi. The paper highlights his role in the history of railway development in Ukraine and outlines his research career.

Ключові слова: залізничне сполучення, Роман Гостковський, Львівська політехніка, теорія залізничного руху, телефонний концерт.

Keywords: rail transport, Roman Gostkovskyi, Lviv Polytechnic National University, theory of rail traffic, telephone concert.

Історія розвитку залізничного сполучення на українських землях багата відомими постатями, насамперед тоді, коли мова йде про другу половину XIX–початок XX століття, час, коли залізнична мережа активно зростала; зокрема, згідно з дослідженнями, протяжність залізничного полотна зросла від 17 тис. км у другій половині XIX століття до 46 тис. км на початку Першої світової війни [5, С. 220]. На окреслений період припадає діяльність відомого теоретика та

практика залізничного руху, ректора Львівської політехніки барона Романа Гостковського, дослідження життєвого та наукового шляху якого є метою цієї роботи.

Львів другої половини XIX століття був осередком підготовки інженерів для галузі залізничного транспорту, оскільки саме тут уперше о 14 год 30 хв 4 листопада 1861 року на перон новозбудованого Львівського вокзалу прибув потяг «Ярослав», який прибув із Перемишля та подолав маршрут першої залізничної колії на українських землях завдовжки майже 100 км. Залізнична мережа почала розвиватися доволі інтенсивно, і вже незабаром від Львівського вокзалу відправлялися потяги у напрямку Кракова, Чернівців, Бродів, Томашова [1, С. 14–16]. Розвиток залізничного сполучення не лише відкривав нові перспективи, а й потребував кваліфікованих фахівців – інженерів, практиків та теоретиків, які б досліджували особливості залізничного руху.

Якщо розглянути підготовку інженерів у Львівській технічній академії 70-х років XIX століття, то тут діяли три загальні кафедри: нарисної геометрії, механіки й теорії машин та будівництва шляхів, мостів і залізниць, які забезпечували підготовку цілої когорти майбутніх фахівців для залізничної галузі, а вже з 1878 року почав функціонувати окремий факультет інженерії. Ще за рік до цього у стінах Технічної академії розпочав читати спеціалізований курс для інженерів залізничної галузі доцент Роман Гостковський.

Майбутні фахівці Львівської політехніки мали змогу отримати від науковця знання про новітні на той час теоретичні та практичні дослідження, зокрема щодо «розміщення залізничних трас, системи локомотивів і вагонів, розкладу руху поїздів, сигналізації й механіки залізничного руху» [5, С. 217–218; 4, С. 9].

Дослідник Р. Гостковський народився у шляхетній родині 2 березня 1837 року та мав титул барона. Його дитинство минуло у Щецині, що на той час належав до Австрійської імперії. Після завершення Реальної школи діяч вирішив

стати інженером і вже у 1858 р. завершив навчання у Віденській політехніці, отримавши диплом інженера. Він розпочав працювати на Південній залізниці у Відні, а згодом – на Львівсько-Чернівецькій залізниці, де керував рухом на залізниці ерцгерцога Альбрехта [1, С. 130]. Здобутий досвід доповнив його теоретичні знання та дослідження.

Учений розпочав свою наукову діяльність у Львівській політехніці, де у 1874 році захистив докторську дисертацію, отримавши звання приват-доцента кафедри теорії залізничного руху [2, С.363]. Окрім того, Р. Гостковський став першим керівником «Політехнічного товариства» у Львові, де виступив із першою публічною лекцією «Про силу опору під час руху потягів» 14 листопада 1877 року [3].

Певний час учений очолював технічний відділ Дирекції державних залізниць у Відні. Однак уже з 1890 р. він поновив свою наукову діяльність у Львівській політехніці та став професором кафедри теорії залізничного транспорту на факультеті інженерії Вищої технічної школи у Львові, а у 1897–1898 роках був ректором Львівської політехніки [1, С. 130]. Р. Гостковський – перший, хто в Австро-Угорській імперії розпочав викладати навчальну дисципліну «Теорія залізничного транспорту». Вона складалася із трьох частин: лекції першої частини читав сам барон і розкривав технічні питання експлуатації залізниць, а дві інші частини курсу викладав професор К. Скибінський, який приділяв більше уваги темам будівництва залізниці [4, С.9].

Інтереси Р. Гостковського не обмежувалися лише знаннями у галузі залізничного транспорту. Його цікавили радіотехніка, авіація, електротехніка. Зокрема, у жовтні 1877 року науковець разом з іншими вченими під час публічної лекції у Політехніці продемонстрував телефон, завдяки якому слухачі мали змогу почути лекцію, яку читав дослідник Б. Абрамович в іншому корпусі [2, С. 365]. Вже у 1881 р. вчений здійснив телефонний дзвінок між Львовом та Жовквою, під час якого транслювався концерт [1, С. 130], а також разом із Ф. Рихновським

ініціював заміну у будівлі Галицького сейму газового освітлення електричним. Р. Гостковський цікавився й аеронавтикою, критикував Г. Гасвіндта та його проєкт космічного корабля, а також отримав від чеського інженера Г. Фінгера іменну книгу «Studie aeronauticka» з дарчим підписом [2, С. 364–367].

Роман Гостковський досліджував багато практичних та важливих для залізничного руху питань, зокрема звертав увагу на вплив рівня зношення рейок, ухилу та кривизни залізничної траси на ефективність і безпеку перевезень. Його також цікавили питання, що стосувалися проблематики гальмування, габаритів потягів і організації залізничних перевезень [5, С. 218].

Діяч був автором численних наукових доробків, зокрема: «Теорія залізничного руху» (1883) у 2 томах, яка стала головною працею наукового шляху дослідника [1, С. 130]; «Передача сили за допомогою електричного струму» (1883) та «Про заміну пари електрикою» (1884 р.), де він розглядав застосування електричної енергії на тягових локомотивах. Також здійснив характеристику способу заміни пари паливом для локомотивів у праці «Роль палива для Галицької залізниці» (1903) [2, С. 364].

Помер Роман Гостковський у 1912 році, проте й до сьогодні можна звернутися до праць відомого теоретика залізничного руху, які зберігаються у фондах Науково-технічної бібліотеки Національного університету «Львівська політехніка»: нині там налічується 1132 примірники, хоча під час передання наукового доробку його спадкоємцями фонд становив 1340 примірників [2, С.363].

Барон Роман Гостковський був не просто відомим дослідником європейського масштабу та теоретиком залізничної інженерії другої половини ХІХ – початку ХХ століття, а всебічно розвиненою та непересічною постаттю в історії науки й техніки.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Гранкін, П. Е., Лазечко, П. В., Сьомочкін, І. В., & Шрамко, Г. І. (1996). Львівська залізниця. Історія і сучасність: 1861–1996. Львів: Центр Європи.
- [2] Громова, О. І. (2013). Книжкове зібрання Романа Гостковського у фонді бібліотеки Національного університету «Львівська політехніка». У: О. В. Шишка, Н. Е. Кунанець, Д. О. Тарасов, І. О. Белоус, Р. С. Самотий, А. І. Андрухів (ред.), Сучасні проблеми діяльності бібліотеки в умовах інформаційного суспільства: матеріали п'ятої міжнародної науково-практичної конференції (с. 362–368). Львів: Видавництво Львівської політехніки.
- [3] Заречнюк, О. (2019). Товариство політехнічне. Інтерактивний Львів.
- [4] Чепіль, М. (2018). Історіографія проблеми підготовки майбутніх фахівців залізничного транспорту в Галичині (1848–1918 рр.). Молодь і ринок, 1 (156), 6–11.
- [5] Шаргун, Т. (2017). Підготовка фахівців залізничного транспорту в Західній Україні за часів Австро-Угорської доби (друга половина ХІХ – початок ХХ ст.). Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології, 6 (70), 214–226

Клесов О.І.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна*

email: matan@kpi.ua

**РОЗВИТОК ТЕОРІЇ ЙМОВІРНОСТЕЙ, МАТЕМАТИЧНОЇ
СТАТИСТИКИ ТА ТЕОРІЇ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ НА
ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНОМУ ФАКУЛЬТЕТІ КПІ**

Анотація. У статті розглянуто розвиток теорії ймовірностей, математичної статистики та теорії випадкових процесів фахівцями фізико-математичного факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Ключові слова: теорія ймовірностей, математична статистика, теорія випадкових процесів.

Abstract. This article examines the development of probability theory, mathematical statistics, and the theory of stochastic processes by researchers of the Faculty of Physics and Mathematics of the National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute.”

Keywords: probability theory, mathematical statistics, theory of stochastic processes.

Період до 1986 року. Багато математиків, які працювали в КПІ, зробили внесок у теорію ймовірностей. Перший завідувач кафедри математики Василь Петрович Єрмаков (1845–1922) є автором першого підручника [1] з теорії ймовірностей, виданого в Україні. Підручник було присвячено результатам раннього етапу розвитку теорії ймовірностей, який нині називається дискретною

теорією ймовірностей. Його було написано на основі лекцій, які Єрмаков читав в Імператорському університеті св. Володимира (нині Київський національний університет імені Тараса Шевченка). У біографічній монографії [2], написаній одним із професорів КПІ, Добровольським В'ячеславом Олексійовичем (1919–2015), наведено частину пояснювальної записки Єрмакова, за результатами розгляду якої було ухвалено рішення про публікацію підручника.

Наступним із математиків КПІ, наукова спадщина якого містить публікації з теорії ймовірностей, був Кравчук Михайло Пилипович (1892–1942). У сучасній математичній статистиці й нині знаходять застосування поліноми та матриці Кравчука.

Публікації математиків КПІ у галузі теорії ймовірностей після тривалої перерви починають з'являтися лише у 60-ті роки ХХ століття. Насамперед серед таких математиків варто відзначити Далецького Юрія Львовича (1926–1997). Хоча основною сферою його інтересів були різноманітні питання диференціальних рівнянь у багатовимірних просторах, він також відомий своєю монографією [8], присвяченою геометричним властивостям стохастичних диференціальних рівнянь.

Період 1986-1996. У 1986 році на посаду завідувача кафедри математики з Інституту математики Академії наук переходить Булдигін Валерій Володимирович (1946–2012). Саме з його ініціативи в КПІ було започатковано математичні олімпіади для студентів, на постійній основі розпочато підготовку аспірантів з математики, з'явилися перші докторанти. Вражає інтенсивність його наукової діяльності та кількість наукових публікацій. Навколо нього починає формуватися колектив спеціалістів з теорії ймовірностей, математичної статистики та теорії випадкових процесів: О. В. Іванов, О. І. Клесов, О. О. Диховичний, С. О. Солнцев, О. І. Великоіваненко та інші. Публікації

математиків КПІ у галузі теорії ймовірностей стають помітними не тільки в Україні, але і за кордоном.

Період 1996-2026. Після створення фізико-математичного факультету багато адміністративних питань спростилися: з'явилися власні аспірантура та докторантура. У 2014 році створено спеціалізовану раду із захисту кандидатських дисертацій у галузі теорії ймовірностей і математичної статистики, яка згодом була реорганізована у раду із захисту докторських дисертацій. Поступово кількість спеціалістів з теорії ймовірностей зростає, поповнюючись випускниками аспірантури в КПІ та КНУ ім. Тараса Шевченка (нині серед співробітників кафедри близько 40 % є кандидатами та докторами наук з теорії ймовірностей і математичної статистики). Кафедра отримує назву «математичного аналізу та теорії ймовірностей». Авторитет фахівців з теорії ймовірностей КПІ зростає: їх запрошуюють до редколегій провідних математичних журналів в Україні та за кордоном, до спеціалізованих рад із захисту дисертацій в інших установах України, а також до комісій Міністерства освіти і науки України та Національної академії наук України.

Наукові інтереси фахівців з теорії ймовірностей кафедри поступово розширюються. Якщо спочатку вони визначалися переважно інтересами В. В. Булдигіна, то згодом з'являються самостійні напрями досліджень інших працівників кафедри. Про широту наукових інтересів свідчить (неповний) перелік монографій, опублікованих співробітниками кафедри після створення ФМФ.

У монографії [3] Булдигіна та Солнцева розглянуто узагальнення класичних постановок теорії ймовірностей, у межах якого отримано нові результати навіть для традиційних задач (крім англomовного видання, існує також українська версія). Подальший розвиток цієї теорії відображено у

монографії [10], у якій встановлено зв'язок між класичними граничними теоремами та їх застосуваннями у сучасній математичній статистиці.

Водночас монографію Іванова [11] присвячено оцінюванню параметрів нелінійної регресії та асимптотичному аналізу оцінок. Монографія [4] є суттєвою переробкою українського видання, у якій обговорюються тонкі питання опуклого аналізу та геометричні аспекти, що виникають у теорії ймовірностей. У монографії [5] (оригінальне видання здійснено українською мовою) вперше було означено клас випадкових величин і випадкових процесів, які, з одного боку, узагальнюють нормальний (гауссовий) випадок, а з іншого – дозволяють оцінювати їх характеристики для подальшого аналізу. Певні аспекти цієї теорії викладено в монографії [14].

У 2013 році вийшло українське видання (англійський переклад [9] включено до списку літератури). У цій монографії викладено завершену теорію граничних теорем теорії ймовірностей для кратних сум незалежних випадкових величин. Оскільки монографія охоплює весь необхідний матеріал, кількість посилань на неї постійно зростає.

Особливе місце у доробку фахівців з теорії ймовірностей кафедри математичного аналізу та теорії ймовірностей займає монографія [6] (існує також її українське видання), що є результатом 20-річної плідної співпраці українських та німецьких учених. Результати теорії, викладеної у цій монографії, знаходять застосування як у теорії чисел, так і у теорії запасів. На її основі отримано низку важливих асимптотичних результатів як для звичайних, так і для стохастичних (монографія [7]) диференціальних рівнянь. Вона використовується, наприклад, при вивченні екстремальних подій та моделей страхової математики.

Окремий напрям досліджень представлено у монографіях [12] та [13], у яких вивчаються спеціальні моделі часових рядів із так званими періодично корельованими спостереженнями.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Єрмаков, В. П. (1879). Теорія вероятностей. Київ.
- [2] Добровольський, В. О. (1981). Василь Петрович Єрмаков (1845–1922).
- [3] Buldygin, V. V., & Solntsev, S. A. (1997). Asymptotic Behaviour of Linearly Transformed Sums of Random Variables. Dordrecht: Kluwer.
- [4] Buldygin, V. V., & Kharazishvili, A. B. (2000). Geometric Aspects of Probability Theory and Mathematical Statistics. Dordrecht: Kluwer.
- [5] Buldygin, V. V., & Kozachenko, Yu. V. (2000). Metric Characterization of Random Variables and Random Processes. Providence: American Mathematical Society.
- [6] Buldygin, V. V., Indlekofer, K. H., Klesov, O. I., & Steinebach, J. G. (2018). Pseudo-Regularly Varying Functions and Generalized Renewal Processes. Cham: Springer.
- [7] Булдігін, В. В., Клесов, О. І., & Тимошенко, О. А. (2018). Асимптотична поведінка розв'язків стохастичних диференціальних рівнянь. Київ: НТУУ КПІ.
- [8] Далецький, Ю. Л., & Белопольська, Я. І. (1989). Стохастические уравнения и дифференциальная геометрия. Київ: Вища школа.
- [9] Klesov, O. I. (2014). Limit Theorems for Multi-Indexed Sums of Random Variables. Cham: Springer.
- [10] Buldygin, V., & Runovska, M. (2014). Sums whose Terms are Elements of Linear Random Regression Sequences. Lampert.
- [11] Ivanov, O. I. (1997). Asymptotic Theory of Nonlinear Regression. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- [12] Moklyachuk, M., & Golichenko, I. (2016). Estimates of Periodically Correlated Processes. Germany: LAP Academic Publishing.
- [13] Moklyachuk, M., & Golichenko, I. (2018). Estimates of Periodically Correlated Isotropic Random Fields. New York: Nova Science Publishers.
- [14] Моклячук, О. М., Козаченко, Ю. В., & Млавець, Ю. Ю. (2015). Квазібанахові простори випадкових величин. Ужгород: Карпати.

Козирський В.¹, Тимочко М.², Шендеровський В.³

*¹Інститут теоретичної фізики ім. М. М. Боголюбова НАН України,
м. Київ, Україна; email: kozyrski@ukr.net*

*²Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України,
м. Київ, Україна; email: tymochko@ukr.net*

*³Інститут фізики НАН України,
м. Київ, Україна; email: schenderv@gmail.com*

МИКОЛА ВИТРИХОВСЬКИЙ – ТЕХНОЛОГ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Анотація. У роботі досліджено наукову діяльність видатного українського вченого-технолога, винахідника в ділянці напівпровідникового матеріалознавства Миколи Витриховського.

Ключові слова: напівпровідник, синтез, вирощування кристалів, фізика, технологія.

Abstract. The paper explores the scientific activities of the outstanding Ukrainian scientist-technologist, inventor in the field of semiconductor materials science, Mykola Vytrykhovsky.

Keyword: semiconductor, synthesis, crystal growth, physics, technology.

Науково-технічна проблема заміни радіоламп твердотільними діодами і тріодами (транзисторами) на основі напівпровідників германію і кремнію на початку 50-х років ХХ століття стала першочерговою у науковому світі. Українські фізики Олександр Гольдман, Василь Ляшенко і Григорій Федорус ще до Другої світової війни (1938) відкрили і пояснили ефект збіднення і збагачення носіїв струму на контакті метал–напівпровідник. Соломон Пекар створив основи сучасних уявлень про електронні процеси на контакті метал–напівпровідник.

Вадим Лашкар'юв (1939–1941) відкрив і дослідив р–п-перехід. Так, в Інституті фізики Академії наук Української РСР було сформовано підґрунтя для досліджень фізики напівпровідників і приладів на їх основі.

З того часу минуло майже сто років, і нині важливим та актуальним є збереження пам'яті про фундаторів і творців напівпровідникового матеріалознавства, яке зароджувалося в лабораторіях Чернівецького, Львівського, Дрогобицького та Ужгородського університетів [1].

Нині актуальною є необхідність відновлення в національній науковій пам'яті імен видатних діячів науки, інженерів і технологів, без інженерної думки яких людство не мало б сучасного рівня технічного прогресу. Метою роботи є популяризація ролі українських науковців-природничників у становленні та розвитку напівпровідникової технологічної думки, інформаційних технологій та інших напрямів науки.

Ці дослідження були започатковані у відділі напівпровідників Інституту фізики під керівництвом академіка Академії наук Української РСР В. Є. Лашкар'юва, а згодом продовжені у заснованому в 1960 році Інституті напівпровідників Академії наук Української РСР [2]. До числа науковців, що успішно займалися цією проблемою, входив і Микола Витриховський, який безпосередньо працював над технологією отримання нових напівпровідникових матеріалів – учений-фізик, кандидат фізико-математичних наук (1967), старший науковий співробітник Інституту фізики напівпровідників НАН України імені В. Є. Лашкар'юва, лауреат Державної премії Української РСР у галузі науки і техніки, член Наукового товариства імені Шевченка, член Київської міської організації Всеукраїнського товариства «Меморіал» імені В. Стуса, член Київського товариства «Лемківщина» з першого року його заснування, а також перший голова Київської філії Львівського товариства «Надсяння» (1994–2008).

Народився Микола Витриховський 15 грудня 1929 року в селі Святе Ярославського повіту Краківського (сьогодні Перемишльського) воєводства,

нині Польща. Середню освіту здобув у Ярославській (1941–1944) та Перемишльській (1944–1945) гімназіях. Після депортації (квітень 1945 року) разом із батьками до села Цапівці, нині с. Поділля Чортківського району Тернопільської області) навчався у середній школі м. Заліщики (1945–1948).

Вищу освіту отримав на фізико-математичному факультеті Чернівецького університету (1948–1953) за спеціальністю електрофізика. Після закінчення університету його направили до Інституту фізики АН УРСР у відділ напівпровідників (1953–1960) [3].

Свій науковий шлях молодий учений розпочав у відділі напівпровідників у лабораторії І. Д. Конозенка (1954–1955), де займався дослідженням приймачів ГЧ-випромінювання. У середині 1954 року В. Лашкар'єв запросив до відділу Ірину Мізецьку з Інституту загальної і неорганічної хімії АН СРСР, під керівництвом якої М. Витриховський працював над розробленням технології вирощування монокристалів CdS і CdSe та виготовленням на їхній основі фотоопорів. Це привело до створення вперше у світі технології вирощування монокристалів із газової фази й розплаву – твердих розчинів із катіонним, аніонним і катіонно-аніонним заміщеннями $\text{CdS}_x\text{Se}_{1-x}$, $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$, $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$, $\text{ZnS}_x\text{Te}_{1-x}$. Результатом стало виявлення максимуму їхньої фоточутливості, який плавно зміщується зі зміною хімічного складу від ультрафіолетової до інфрачервоної ділянки спектра.

У новоствореному Інституті напівпровідників АН УРСР (1960) Микола Іванович продовжує працювати над удосконаленням технологій вирощування кристалів. На той час велику увагу приділяли впровадженню наукових результатів у виробництво, Вадим Лашкар'єв був ініціатором застосування монокристалів CdS у приладах для реєстрації електронних потоків на штучних супутниках Землі. За безпосередньої участі Миколи Витриховського розробили давачі X-променевого і γ -випромінювання.

У 1967 році Микола Витриховський (без навчання в аспірантурі) успішно захищає кандидатську дисертацію на тему «Вирощування монокристалів напівпровідників групи A_2B_6 із заданими параметрами і дослідження деяких їхніх властивостей». Продовжує розробляти технологічні умови для вирощування нових напівпровідникових матеріалів: так було вперше в Україні вирощено монокристали $Zn_xMn_{1-x}Te$, $Cd_xMn_{1-x}Se$, $(CdSe)_x(MnS)_{1-x}$ і відомі раніше $Cd_xMn_{1-x}Te$ (так звані напівмагнітні напівпровідники). Окрім того, уперше в Україні та світі вирощує напівпровідникові твердотільні сполуки CdS_xSe_{1-x} , $Zn_xCd_{1-x}S$, $Zn_xCd_{1-x}S$, $CdSe_xTe_{1-x}$, на яких одержано лазерну генерацію в широкому діапазоні спектру при двофотонному збудженні моноімпульсами рубінового лазера за азотної температури (77 К). За роботи зі створення і дослідження напівпровідникових лазерів М. Бродину, М. Соскіну, В. Кравченку, Є. Тихонову, В. Різниченку, М. Шпаку, М. Витриховському, М. Дзюбенку у 1974 році присуджено Державну премію УРСР у галузі науки і техніки з фізики.

Співпрацював Микола Витриховський з багатьма відділами інституту, зокрема, з відділом фізики поверхневих явищ в напівпровідниках, очолюваним Олегом Снітком. Тут уперше в Україні й СРСР доведено існування екситонів у CdS за кімнатних температур й виявлено новий тип осциляцій. Разом з Михайлом Валахом вони дослідили спектри комбінаційного розсіяння кристалів. З 1976 року Микола Іванович проводив роботи з синтезу різноманітних напівпровідникових сполук. Уперше синтезовано багато чотирикомпонентних сполук типу $A_2B_6-C_2D_6$, а також нові напівмагнітні напівпровідники у вигляді твердих розчинів заміщення з обмеженою розчинністю марганцю (1975–1983).

Уперше в Україні Витриховський виростив і дослідив голчасті й ниткоподібні монокристали (товщиною близько мікрона) сульфідів і селенідів кадмію. У 1986–1987 роках одночасно з іншими технологами інститутів АН відтворив і вдосконалив технологію отримання високотемпературної кераміки $[(YBa_2Cu_3O_7)]$ в Україні й дослідив її фізичні властивості.

Микола Витриховський працював також над створенням англійсько-українського фізико-технічного словника. Він автор і співавтор понад 150 наукових праць, опублікованих у вітчизняних і міжнародних журналах. Окрім того, він написав понад 60 заміток і статей на правову, правозахисну і духовно-історичну тематику. За громадську діяльність нагороджений Почесною грамотою Київського міського голови «За вагомий особистий внесок у культурний розвиток України, вагомі трудові здобутки у професійній діяльності» (2003)

Помер Микола Іванович 14 жовтня 2016 року і похований у колумбарії Байкового цвинтаря в Києві.

Отже, ім'я видатного українського вченого, винахідника і технолога у галузі напівпровідникового матеріалознавства Миколи Витриховського, славного патріота України, заслуговує на почесне місце в історії української науки.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Козирський, В., & Шендеровський, В. (2020). До історії теоретичних досліджень в Інституті фізики НАН України.
- [2] Григор'єв, М., Кравецький, М., Матіюк, І., Онищенко, В., Сукач, А., & Тетьоркін, В. (2019). Академік О. Г. Гольдман – основоположник досліджень з фізики та техніки напівпровідників в Україні (Огляд. Ч. 1).
- [3] Свинко, Й. (2004). Витриховський Микола Іванович. У: Тернопільський енциклопедичний словник (Т. 1: А–Й, с. 264). Тернопіль.

Константинова О.Ю.¹, Цюпа А.М.² Лук`яненко Е.В.²

¹Гімназія № 178, м. Київ, Україна; email: konstolga13@gmail.com

²Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

**МОЖЛИВІСТЬ СТВОРЕННЯ СУЧАСНОГО ТУРИСТИЧНОГО
СУДНА ДЛЯ НЕВЕЛИКИХ РІЧОК З ВИКОРИСТАННЯМ
РОЗРОБОК УКРАЇНСЬКИХ СУДНОБУДІВНИКІВ У 1934–1936
РОКАХ**

Анотація. Доповідь присвячена проблемі відновлення судноплавства на невеликих річках, зокрема на прикладі річки Десна, що суттєво впливає як на розвиток економіки відповідного регіону, так і на поліпшення екологічного стану самих річок. Для досягнення цієї мети в роботі пропонується проєкт туристичного судна для річки Десна та подібних до неї водойм, за основу якого взято корпус із гребними колесами пароплава проєкту СБ–14. Для цього корпусу було розроблено схему нового теплохода та пасажирські приміщення з урахуванням критеріїв комфортабельності круїзних суден і визначено коефіцієнт комфортабельності. Запропоноване судно може стати прикладом розвитку туристичної інфраструктури на невеликих річках.

Ключові слова: невеликі річки, екологія, судноплавство, пасажирські судна, комфортабельність.

Abstract. This paper addresses the issue of restoring navigation on small rivers such as the Desna, which has a significant impact on both the economic development of the region and the ecological condition of the rivers themselves. To achieve this goal, the paper proposes a design of a tourist vessel for the Desna River and similar waterways, based on the hull with paddle wheels of the SB-14 steamship design. For this hull, a layout of the new vessel and passenger accommodations was developed,

taking into account comfort criteria for cruise ships, and a comfort coefficient was calculated. The proposed vessel could serve as a model for the development of tourism infrastructure on small rivers.

Keywords: small rivers, ecology, navigation, passenger vessels, comfort.

Проблема відновлення судноплавства на невеликих річках, яку останнім часом активно обговорюють в Україні, має, на наш погляд, велике значення не лише як один із засобів розвитку економіки відповідного регіону, але й як спосіб поліпшення екологічного стану таких річок. Адже припинення судноплавства призводить до замулення річищ і їх захаращення перешкодами рослинного походження (різноманітними водоростями та деревами). З цього приводу очільниця відділу екології Луцької міської ради Оксана Лисак зазначає: «Наша річка Стир в останні роки після припинення на ній судноплавства почала поступово “вмирати”, оскільки почали утворюватися “затори” через рослини, які падають у воду».

Зрозуміло, що основною проблемою при відновленні судноплавства є необхідність будівництва нових суден (у першу чергу пасажирських), конструктивно адаптованих до особливостей конкретної річки, що дозволить забезпечити їх ефективну експлуатацію [1]. При будівництві таких суден пропонується використати елементи проєктів СБ-14 та СБ-21 вантажно-пасажирських пароплавів, спроектованих і виготовлених у 1934–1936 роках на київському заводі «Ленінська кузня» (сучасна назва – «Кузня на Рибальському»), а саме корпус із гребними колесами, які, на думку фахівців, є найбільш придатними для експлуатації на річках із малими глибинами [2].

Слід зазначити, що судна зазначених проєктів, корпуси яких практично не відрізнялися, успішно експлуатувалися на невеликих річках України (зокрема на Десні) протягом майже 50 років. Очевидно, що для створення сучасних суден необхідно здійснити їх повне переобладнання: розробити оновлену архітектуру,

силову установку, допоміжні механізми та навігаційне обладнання, а також нове планування пасажирських кают та інших приміщень судна, у яких має бути передбачено систему клімат-контролю.

Для підвищення комфортності під час здійснення туристичних перевезень, окрім збільшення розмірів та покращення оснащення пасажирських кают, необхідною є наявність ресторану, музичного салону, кіоску товарів першої необхідності тощо. Користуючись сучасними вимогами до комфортності пасажирських суден [3], було розроблено плани приміщень туристичного теплохода на базі корпусу та гребних коліс пароплава проєкту СБ-14 для трюму, головної та верхньої палуб такого судна. Ці плани наведено на рис. 1, а загальний вигляд судна – на рис. 2. План типової пасажирської каюти та її загальний вигляд подано на рис.3.

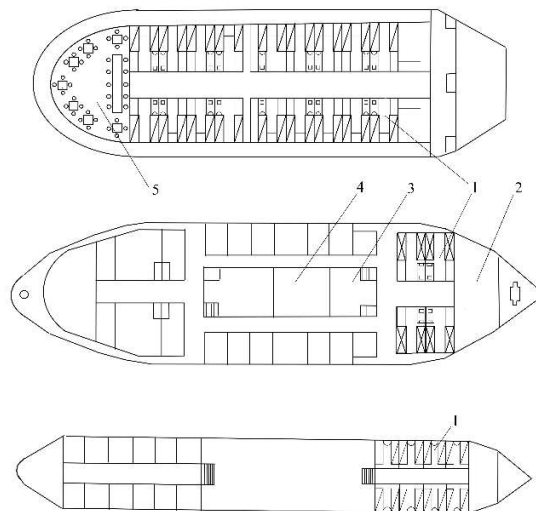


Рис.1. Схема трюму і палуб туристичного теплохода

1 – пасажирські каюти: □ - шафа; ▨ - однарусні ліжка; ▩ - двоярусні ліжка; 2 – салон; 3 – інформаційне бюро; 4 – бібліотека; 5 – ресторан

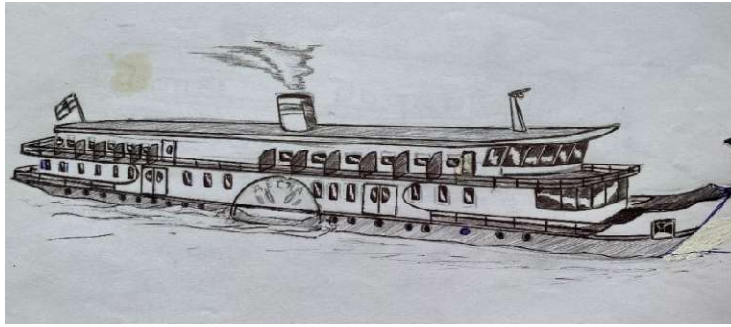


Рис.2. Зовнішній вигляд туристичного пасажирського теплохода

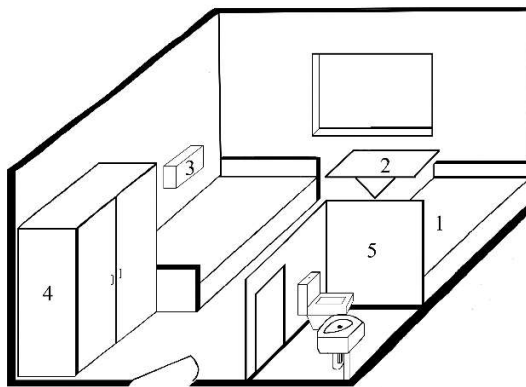


Рис.3. Пасажирська каюта туристичного теплохода: 1 – ліжко; 2 – стіл; 3 – полиця; 4 – шафа; 5 – санвузол

Отже, пропонується можливість створення круїзного судна для середніх і малих річок, яке можна віднести, згідно з класифікацією відомого фахівця з проектування та експлуатації пасажирських суден О. А. Сьоміна, до сьомого покоління річкових суден. Слід зазначити, що дотепер в Україні проектувалися і будувалися судна четвертого (пр. СБ-14, СБ-21, СБ-50) та п'ятого (пр. 737, 860) поколінь. Судна шостого покоління в Україні не будувалися, а судна сьомого покоління не лише не будувалися, але й не експлуатувалися. Судна сьомого покоління мають проектуватися з орієнтацією на отримання прибутку виключно від круїзних перевезень пасажирів, що потребує підвищення рівня їх комфортабельності. Методи визначення рівня комфортабельності, які застосовуються при проектуванні суден, об'єднані в окрему групу, призначену

для розв'язання інженерних задач у галузі суднобудування [3, С.41]. Рівень комфорту судна оцінюється коефіцієнтом комфортабельності, який, зокрема, використовується для розрахунку тарифів на перевезення пасажирів у приміщеннях різних категорій. При розрахунках цього коефіцієнта враховується, що він залежить від багатьох факторів, які по-різному впливають на загальний рівень комфортабельності судна. Розрізняють конструктивну та експлуатаційну комфортабельність: першу необхідно враховувати на етапі проектування судна, а другу – під час його експлуатації.

Як видно з розроблених планів палуб проєктованого судна, воно розраховане на перевезення 70 пасажирів у 30 каютах різних категорій комфортабельності. На верхній палубі судна розташовано 18 одноярусних двомісних кают площею по 7,5 м² із санвузлами (умивальник, душ, туалет), на головній палубі – 4 двоярусні чотиримісні каюти площею по 12 м² із санвузлами, у трюмі – 8 одноярусних двомісних кают площею по 5,1 м². На верхній палубі для пасажирів передбачено ресторан площею 56 м² на 36 посадкових місць (з організацією харчування у дві зміни), а також кіоски сувенірної та продовольчої продукції. На головній палубі в носовій частині розміщено пасажирський салон площею 28 м², обладнаний м'якими кріслами, столиками та телевізійним приймачем. На судні передбачено систему кондиціонування та обігріву повітря з індивідуальним регулюванням температури у всіх каютах.

З урахуванням усіх особливостей даного судна, використовуючи рекомендації щодо застосування факторів комфорту при конструюванні суден [3, С. 133–151], можна розрахувати коефіцієнт його комфортабельності.

На основі наведених у зазначених Рекомендаціях таблиць було виконано розрахунок коефіцієнта конструктивної комфортабельності для даного проєкту судна, який становить $K_k = 2,5$. Це значення дозволяє стверджувати, що судно відповідає категорії ★★, а за окремими показниками – навіть ★★★. Такий результат можна вважати достатньо високим, враховуючи необхідність жорстких

обмежень габаритів судна для забезпечення його експлуатації на малих річках і, відповідно, належність до підкласу 1.1 згідно з класифікацією О. А. Сьоміна [3, С. 96]. На судні не передбачено бортових прогулянкових палуб, сауни, перукарні та приміщень для активних ігор. Водночас у складі екіпажу застосовано суміщення професій, що дозволяє обслуговувати судно і пасажирів скороченим екіпажем чисельністю 20 осіб. Методика розрахунку величини K_k , а також необхідні для цього таблиці наведені у роботі [4].

Очікується, що судна, побудовані за подібними проєктами з використанням різних типів сучасних силових установок, стануть основою для організації туристичних перевезень на середніх і малих річках України.

Запропоноване судно може стати прикладом розвитку туристичної інфраструктури на річці Десна. Воно не лише сприятиме відновленню судноплавства на невеликих річках, а й забезпечить підтримання їх річищ у належному стані, а також відкриє нові можливості для розвитку екологічного туризму та відпочинку. Отже, розвиток внутрішнього водного транспорту може стати важливим чинником збереження природних ресурсів України та підвищення економічного потенціалу прибережних територій.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Засс, В. М. (1936). Метод вибору типів суден для малих рік. Київ: Видавництво АН УРСР.
- [2] Цюпа, А. М. (2019). Пасажирські перевезення на малих річках України – історія, сучасність та можливі перспективи. Дослідження з історії техніки, (25), 4–6. Київ: НТУУ «КПІ».
- [3] Сьомін, О. А. (2020). Проєктування та експлуатація пасажирських суден внутрішнього і змішаного плавання за критерієм комфортабельності. Київ: Ліра-К.
- [4] Константінова, О. Ю. (2026). Відновлення судноплавства як один з засобів поліпшення екології річок України. Конкурсна робота МАН. Київ.

Литвин А.Р., Ляшенко Т.І.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

email: lytvyn.a.r.-dk51@lil.kpi.ua

ЕВОЛЮЦІЯ ІГРОВОЇ ФІЗИКИ В КОНТЕКСТІ ІСТОРИЧНОГО РОЗВИТКУ ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНИХ НАУК

Анотація. У тезах розглядається процес інтеграції класичних фізико-математичних методів у розробку відеоігор. Проаналізовано еволюцію від простої двовимірної кінематики до складних обчислень на базі графічних процесорів. Обґрунтовано, що ігрова фізика є важливою ланкою між теоретичною наукою та сучасною індустрією розваг, оскільки стимулює розвиток нових алгоритмів оптимізації та методів паралельних обчислень.

Ключові слова: ігрова фізика, прикладна математика, симуляція, фізичні рушії, кватерніони, відеоігри.

Abstract. The paper examines the process of integrating classical physical and mathematical methods into video game development. The evolution from simple two-dimensional kinematics to complex GPU-based computing is analyzed. It is argued that game physics is an important link between theoretical science and the modern entertainment industry, as it stimulates the development of new optimization algorithms and parallel computing methods.

Keywords: game physics, applied mathematics, simulation, physics engines, quaternions, video games.

Розвиток відеоігор та інтерактивних комп'ютерних симуляцій є безпосереднім відображенням еволюції обчислювальної математики та прикладної фізики. На відміну від суто академічного або інженерного

моделювання (наприклад, у системах CAD або програмах для аерокосмічної галузі), де пріоритетом є максимальна точність, ігрова фізика функціонує в умовах жорстких часових обмежень. Вона використовує наближені чисельні методи для розв'язання рівнянь класичної механіки Ньютона, постійно балансує між візуальною достовірністю та продуктивністю обчислень у режимі реального часу, коли на генерацію одного кадру відводиться менш як 16 мс [1].

Зародження цифрових симуляцій у 1970–1980-х роках супроводжувалося використанням найпростіших кінематичних моделей. На ранніх етапах розвитку комп'ютерні системи мали вкрай обмежені обчислювальні потужності. У класичних проєктах на кшталт Pong чи Asteroids фізика обмежувалася дискретною двовимірною геометрією. Математичний апарат зводився переважно до використання декартової системи координат і елементарних алгебраїчних операцій. Програмісти застосовували базові рівняння рівномірного та рівноприскореного руху для розрахунку векторних характеристик руху. Виявлення зіткнень у цей період базувалося на перевірці перетину простих геометричних примітивів, таких як обмежувальні прямокутники (axis-aligned bounding boxes) та кола [2].

Суттєвий виклик для математичного апарату програмістів виник під час переходу до тривимірної графіки у 1990-х роках, коли з'явилися перші повноцінні 3D-ігри (наприклад, Super Mario 64 або Tomb Raider). Робота в 3D-просторі зумовила необхідність використання значно складніших просторових моделей і абстракцій. Спочатку розробники використовували класичні кути Ейлера для опису обертання об'єктів. Однак це швидко призвело до виникнення відомої математичної проблеми «шарнірного замка» (gimbal lock)– явища втрати одного ступеня свободи внаслідок збігу двох осей обертання, що спричиняло неприродну поведінку віртуальної камери.

Вирішенням цієї проблеми стало широке впровадження у комп'ютерну графіку кватерніонів. Ця система гіперкомплексних чисел, розроблена ірландським математиком Вільямом Гамільтоном у 1843 році, виявилася ефективним і обчислювально економним інструментом для опису та обчислення просторових обертань [3].

Ера твердотільної динаміки (2000-ні роки) відзначилася переходом від простої кінематики до повноцінної динаміки твердих тіл (rigid body dynamics). Яскравим прикладом цього періоду став вихід гри Half-Life 2 (2004 рік), яка використовувала модифікований фізичний рушій Havok. У ній фізика маси, тертя та інерції перестала виконувати виключно візуальну функцію та стала ключовим елементом ігрової механіки (зокрема, через використання гравітаційної гармати та «регдол»-фізики тіл).

Для розв'язання диференціальних рівнянь руху фізичні рушії почали масово використовувати методи чисельного інтегрування, зокрема інтегрування Верле (Verlet integration) та методи Рунге–Кутти, які забезпечували вищу чисельну стабільність симуляцій порівняно з методом Ейлера [4].

На сучасному етапі ігрова симуляція значною мірою наблизилася до рівня наукового моделювання, що стало можливим завдяки перенесенню масивних паралельних обчислень на графічні процесори (GPU). Це дозволило впроваджувати фізику м'яких тіл (soft body dynamics) та моделювати складні деформації.

Показовим прикладом сучасного підходу є автосимулятор BeamNG.drive, у якому замість класичної твердотільної моделі автомобіля використовується фізика м'яких тіл на основі системи мас і пружин (node-beam architecture). Кожен елемент конструкції автомобіля представлено у вигляді мережі вузлів і з'єднувальних елементів, які реагують на навантаження та деформації в режимі реального часу, що забезпечує високу достовірність моделювання пошкоджень під час аварійних ситуацій.

Окрім того, сучасні рушії (наприклад, Frostbite, що використовується в серії Battlefield) дозволяють реалізовувати процедурне руйнування будівель, а для симуляції водних поверхонь і рідин активно застосовуються чисельні апроксимації рівнянь Нав'є–Стокса, зокрема метод згладженої гідродинаміки частинок (Smoothed Particle Hydrodynamics, SPH).

Важливо зазначити, що нині спостерігається і зворотний процес: високопродуктивні ігрові рушії дедалі активніше використовуються у фундаментальних і прикладних наукових дослідженнях. Вони застосовуються для створення цифрових двійників складних технічних систем, навчання нейромереж для автопілотів та моделювання поведінки робототехнічних систем.

Отже, еволюція ігрової фізики наочно демонструє безперервний взаємозв'язок між класичною наукою та сучасними інформаційними технологіями. Теоретичні концепції минулих століть, такі як матричні методи та чисельні схеми інтегрування, знаходять широке практичне застосування. Водночас потреби ігрової індустрії продовжують стимулювати розробку нових ефективних алгоритмів просторового моделювання та оптимізації, роблячи суттєвий внесок у розвиток сучасної інформатики.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Bourg, D. M., & Bywalec, B. (2013). *Physics for game developers: Science, math, and code for realistic effects* (2nd ed.). O'Reilly Media.
- [2] Eberly, D. H. (2010). *Game physics* (2nd ed.). CRC Press.
- [3] Gregory, J. (2018). *Game engine architecture* (3rd ed.). CRC Press.
- [4] Millington, I. (2007). *Game physics engine development: How to build a robust commercial-grade physics engine for your game*. CRC Press.

*Ляшенко Т.І., Пушкар Р. М.,
Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна
email: pushkar.r.m.-dv51@lkl.kpi.ua*

ВІДКРИТТЯ P–N ПЕРЕХОДУ ТА ЙОГО ЗНАЧЕННЯ ДЛЯ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОНІКИ

Анотація. У роботі розглянуто фізичні принципи функціонування та історію відкриття електронно-діркового (p–n) переходу – базового елемента напівпровідникової техніки. Окрему увагу приділено експериментам В.Є.Лашкарьова 1941 року, які підтвердили існування носіїв заряду протилежних знаків по обидва боки збідненого шару. Проаналізовано значення цих досліджень для розвитку фізики напівпровідників і сучасної схемотехніки.

Ключові слова: p–n перехід, напівпровідники, мікроелектроніка, В.Є.Лашкарьов, діод, вольт-амперна характеристика, потенціальний бар'єр.

Abstract. The paper examines the physical principles of operation and the history of the discovery of the electron–hole (p–n) junction, a fundamental element of semiconductor technology. Particular attention is given to V. E. Lashkaryov's 1941 experiments, which confirmed the existence of charge carriers of opposite signs on both sides of the depletion region. The significance of these studies for the development of semiconductor physics and modern circuit design is analyzed.

Keywords: p–n junction, semiconductors, microelectronics, V.E.Lashkarev, diode, current–voltage characteristic, potential barrier.

Електронно-дірковий (p-n) перехід є областю просторового контакту двох напівпровідників із різними типами домішкової провідності – електронною (n-типу) та дірковою (p-типу). Така структура є базовим елементом

напівпровідникових приладів і визначає фізичні засади функціонування більшості сучасних електронних систем: від випрямних діодів і фотоелектричних перетворювачів до транзисторів у складі інтегральних мікросхем високого ступеня інтеграції.

Фізичні характеристики р-n переходу визначаються мікроскопічними процесами перенесення заряду, що реалізуються в приконтактній області. При утворенні контакту між р- та n-напівпровідниками виникає градієнт концентрації основних носіїв: у n-області домінують електрони, тоді як у р-області – дірки. Унаслідок теплового руху носіїв відбувається дифузія – електрони переміщуються в р-область, а дірки – у n-область. У приконтактній зоні відбувається рекомбінація носіїв, що призводить до формування області просторового заряду (збідненого шару), практично позбавленої рухомих носіїв. У межах цієї області залишаються іонізовані донорні та акцепторні домішки, які створюють внутрішнє електричне поле. Це поле формує потенціальний бар'єр, що перешкоджає подальшій дифузії носіїв і забезпечує встановлення термодинамічної рівноваги, за якої дифузійний і дрейфовий струми взаємно компенсуються. Саме існування цього бар'єра визначає випрямні властивості р-n переходу.

Основною характеристикою, що відображає електричні властивості р-n переходу, є його вольт-амперна характеристика (ВАХ). Аналітично нелінійну залежність струму від напруги в ідеалізованому випадку описує рівняння Шоклі:

$$I = I_S \left(e^{\frac{qU}{kT}} - 1 \right)$$

де I_S – тепловий струм насичення, q – заряд електрона, k – стала Больцмана, T – абсолютна температура кристала, а U – зовнішня напруга.

Це рівняння вказує на фундаментальний зв'язок між мікроскопічними процесами перенесення заряду та макроскопічними електричними характеристиками напівпровідникових приладів.

Суттєвий внесок у експериментальне встановлення природи р–п переходу зробив український фізик Вадим Євгенович Лашкар'юв. У 1941 році, досліджуючи мідно-закисні фотоелементи (Cu_2O), він застосував розроблений ним метод термозонда, який дав змогу вимірювати знак і концентрацію носіїв заряду в різних ділянках напівпровідникового зразка. Принцип методу ґрунтувався на виникненні термоелектрорушійної сили при локальному нагріванні матеріалу, що дозволяло визначати тип провідності та просторовий розподіл носіїв. У результаті цих досліджень Лашкар'юв уперше експериментально виявив існування двох областей із різним типом провідності в межах одного напівпровідника та встановив наявність приконтактної зони, позбавленої рухомих носіїв. Він показав, що по обидва боки цієї області локалізуються носії заряду протилежних знаків, що відповідає сучасному уявленню про р-п перехід і область просторового заряду. Фактично, ці результати стали першим експериментальним підтвердженням існування р-п переходу як фізичної структури [1].

Важливо, що роботи Лашкар'юва не лише фіксували наявність переходу, але й закладали основу для розуміння механізмів розділення та перенесення носіїв заряду. Ці дослідження містили ключові елементи сучасної теорії напівпровідників і випередили аналогічні результати, отримані пізніше в західній науці. Однак через історичні обставини, зокрема Другу світову війну та обмежену інтеграцію радянської науки у світовий науковий простір, ці результати не отримали належного міжнародного визнання вчасно [2, 3].

Незважаючи на це, наукова спадщина Лашкар'юва стала важливою основою для розвитку фізики напівпровідників, а також для формування української школи мікроелектроніки. Його дослідження заклали експериментальний фундамент для подальшого створення напівпровідникових приладів, зокрема діодів і транзисторів.

На сучасному етапі дослідження р-п переходів здійснюється як експериментальними, так і чисельними методами. Комп'ютерне моделювання, зокрема в середовищах типу SPICE, дозволяє відтворювати вольт-амперні характеристики та аналізувати вплив параметрів матеріалу і структури на електричні властивості переходу. Впровадження р-п переходу в електроніку зумовило перехід від вакуумних ламп до твердотільних приладів, що характеризуються значно вищою надійністю, меншою енергоємністю та можливістю мініатюризації. Властивість односторонньої провідності стала основою для реалізації логічних елементів і побудови цифрових систем.

Подальший розвиток мікро- та наноелектроніки забезпечив інтеграцію мільярдів р-п переходів у межах одного кремнієвого кристала, що стало технічною основою сучасних обчислювальних і комунікаційних технологій.

Отже, р-п перехід є не лише фундаментальним об'єктом фізики напівпровідників, але й ключовим елементом сучасної техносфери. Його дослідження, зокрема праці В. Є. Лашкарьова, демонструють вирішальну роль фундаментальної науки у формуванні технологій, що визначають розвиток інформаційного суспільства.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Лашкарьов, В. Є. (1941). Дослідження запірних шарів методом термозонда. Известия АН ССРСР. Серія фізична, 5(4–5), 442–446.
- [2] Стріха, М. В. (2012). Вадим Євгенович Лашкарьов: до історії відкриття р-п переходу. Світогляд, (1), 48–53.
- [3] Ільченко, М. Ю., & Згуровський, М. З. (2020). Видатні конструктори України та їх внесок у світовий науково-технічний прогрес. Київ: Політехніка.

Макаренко Д.С., Пономаренко Л.П.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна*

email:makarenkodana12@gmail.com;Ponomarenko.LiLia@lil.kpi.ua

РОЛЬ ВІЙНИ У РОЗВИТКУ ФІЗИКО- МАТЕМАТИЧНИХ НАУК

Анотація. У роботі проаналізовано вплив воєн на розвиток фізико-математичних наук. Обґрунтовано, що війни прискорюють науково-технічний прогрес та впровадження інновацій. Охарактеризовано ключові досягнення, зокрема радар, ядерні технології, комп'ютери, GPS та інтернет, а також внесок українських учених. Сформульовано висновок про подвійний вплив війни: як чинника розвитку і джерела ризиків.

Ключові слова: війна; науково-технічний прогрес; фізико-математичні науки; інновації; військові технології; етика науки; українські вчені.

Abstract. The paper analyzes the impact of wars on the development of physical and mathematical sciences. It argues that wars accelerate scientific and technological progress and the adoption of innovations. Key achievements, including radar, nuclear technologies, computers, GPS, and the Internet, as well as the contribution of Ukrainian scientists, are characterized. The study concludes that war has a dual impact, functioning both as a driver of development and a source of risks.

Keywords: war; scientific and technological progress; physical and mathematical sciences; innovation; military technologies; ethics of science; Ukrainian scientists.

Війни відіграють неоднозначну і суперечливу роль у розвитку фізико-математичних і технічних наук. З одного боку, війни призводять до значних людських втрат і руйнувань, а з іншого – наука отримує потужний імпульс до

розвитку, оскільки виникає гостра потреба у швидких і ефективних рішеннях. У таких умовах суттєво скорочується шлях від теоретичних розробок до їх практичного застосування, що робить науку більш прикладною і орієнтованою на результат [1]. Протягом усього існування людства спостерігається взаємозв'язок між війнами та технологічним розвитком. Необхідність вирішення нових наукових проблем у різних галузях військової справи слугувала важливою передумовою для проведення спеціалізованих теоретичних та експериментальних досліджень і тим самим створювала стимул для форсованого розвитку фундаментальних наук.

Особливо показовим є приклад Другої світової війни, яка стала періодом стрімкого науково-технічного прориву. У цей час було розроблено радарні системи, які базувалися на дослідженнях електромагнітних хвиль. Значний внесок у розвиток радарних технологій зробив британський фізик Роберт Ватсон-Ватт, який ще у 1935 році продемонстрував можливість виявлення літаків за допомогою радіохвиль [2]. Поряд із винищувальною авіацією швидкого розвитку набула й бомбардувальна. Суттєвий внесок у її розвиток зробив випускник КПІ Ігор Сікорський. Він розпочав свої дослідження з проблем несучого гвинта, які згодом продовжив у США. Сікорський зосередився на проблемі створення багатомоторних літаків. Літак масою 5 тонн «Ілля Муромець» використовувався як важкий бомбардувальник, для озброєння якого були створені фугасні бомби. У Німеччині інженер Ганс фон Охайн у 1939 році створив один із перших реактивних літаків Heinkel He 178, тоді як у Великій Британії незалежно працював Френк Вітл [3].

Важливим досягненням стало створення перших електронних обчислювальних машин. У Великій Британії в 1943–1944 роках було створено комп'ютер Colossus для розшифрування німецьких повідомлень, що використовували шифрувальну машину Enigma.

Одним із важливих прикладів застосування фізики у воєнний час є Манхеттенський проєкт (США, 1942–1945), який очолював Роберт Опенгеймер. Основою цього проєкту слугували дослідження ядерної фізики, зокрема явища поділу атомного ядра, відкритого у 1938 році. Фізичний принцип роботи атомної бомби базується на ланцюговій ядерній реакції, під час якої ядра урану-235 або плутонію-239 розщеплюються з виділенням значної кількості енергії відповідно до формули $E = mc^2$, запропонованої А. Ейнштейном. У результаті реалізації цього проєкту було створено першу атомну бомбу, що вважається одним із найвизначніших і водночас найсуперечливіших досягнень науки ХХ століття.

Манхеттенський проєкт є першим масштабним прикладом концентрації наукових, технічних і промислових ресурсів для досягнення стратегічної мети, продемонструвавши новий рівень організації наукових досліджень. У відповідь на ці події в СРСР було реалізовано власний атомний проєкт під керівництвом Ігоря Курчатова, і вже у 1949 році відбулося перше випробування радянської атомної бомби. Радянський проєкт спирався як на власні наукові досягнення, так і на розвідувальні дані щодо американських розробок, що свідчить про поєднання фундаментальних досліджень і геополітичного суперництва. Отже, розвиток ядерної фізики в умовах воєнного протистояння наочно продемонстрував потенціал науки як джерела не лише технологічного прогресу, а й глобальної загрози для людства [3].

Подальший розвиток наукових і технологічних досягнень, започаткованих у воєнний період, знайшов своє продовження у створенні глобальних інформаційних і навігаційних систем. Інтернет виник на основі мережі ARPANET (США, 1969), створеної за участю Лоуренса Робертса. Головною ідеєю було пакетне передавання даних, при якому інформація розбивається на частини та передається мережею незалежно.

Система GPS була розроблена Міністерством оборони США у 1970-х роках групою фізиків та інженерів під керівництвом Роджера Істона.

Проектування роботи GPS базувалося на фізичних принципах: поширенні електромагнітних хвиль, вимірюванні часу та теорії відносності. Завдяки цьому забезпечується визначення точного місцезнаходження об'єкта.

Розвиток навігаційних технологій і систем зв'язку тісно пов'язаний із досягненнями космічної науки, що сформувалися на основі фундаментальних фізико-математичних досліджень. Юрій Кондратюк (Олександр Шаргей), який увійшов до історії космічної програми NASA, на теоретичному рівні вперше обґрунтував економічну доцільність вертикального злету ракет, використання сонячної енергії космічними апаратами та розрахував траєкторію польоту ракети до Місяця. Остання розробка була використана в США під час запуску місії «Аполлон».

Становлення космічної галузі в Україні розпочалося в 1937 р. зі створення Харківської реактивної групи під керівництвом Г. Проскури, яка здійснила запуск стратосферної ракети. Під керівництвом С. П. Корольова було створено балістичну ракету та першу міжконтинентальну ракету «Восток» [4].

Накопичений упродовж ХХ століття науково-технічний потенціал, сформований значною мірою під впливом воєнних потреб, продовжує визначати напрями розвитку сучасних технологій, зокрема у сфері безпеки та оборони. У сучасних умовах вплив війни на розвиток науки залишається особливо помітним на прикладі України. Починаючи з 2022 року, в країні сформувалася унікальна екосистема військових технологій. Одним із найяскравіших прикладів є розвиток FPV-дронів, які працюють на основі аеродинаміки (підйомна сила, опір повітря), електродинаміки (двигуни, акумулятори) та радіофізики (передавання сигналу).

Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського є одним із провідних технічних університетів України та важливим центром інженерних і наукових досліджень. Нині активізувалися дослідження у сфері безпілотних технологій, що пов'язано з актуальними потребами безпеки та оборони. Основними напрямками роботи є безпілотні літальні апарати (БПЛА), зокрема

FPV-дрони (для розвідки та ударних завдань), а також наземні роботизовані комплекси. У межах наукових досліджень значна увага приділяється оптимізації радіозв'язку, використанню цифрових і аналогових каналів, а також підвищенню стійкості систем до радіоелектронної боротьби. Окремим напрямом є інтеграція систем штучного інтелекту, зокрема для автоматичного наведення та розпізнавання цілей, що підтверджується сучасними розробками у сфері алгоритмів керування БПЛА [5].

КПІ також здійснює дослідження більш складних безпілотних систем, включаючи літакові платформи. У межах таких робіт розглядаються питання аеродинаміки (зокрема використання профілів крила), а також оптимізації співвідношення маси та енергетичних характеристик апаратів, що безпосередньо впливає на дальність польоту [6].

Окрім того, дослідження у сфері БПЛА включають розробку систем керування, навігації та передачі даних. Зокрема, ведуться роботи над створенням алгоритмів супроводження цілей і автоматичного наведення, а також над удосконаленням каналів зв'язку, що є критично важливим в умовах активної радіоелектронної протидії [7].

Попри очевидні науково-технічні прориви, війну не можна розглядати як «двигун прогресу» без суттєвих застережень. Вона радше виступає каталізатором, що змінює пріоритети науки, підпорядковуючи її логіці виживання, контролю та домінування. У таких умовах не лише прискорюються окремі дослідження, а й звужується наукова раціональність: фундаментальні, гуманітарні та довгострокові напрями витісняються прикладними розробками з коротким горизонтом ефективності. Окрім того, війна трансформує етичний статус науки. Учений дедалі частіше стає не лише дослідником, а й учасником системи, де знання може прямо чи опосередковано сприяти насильству. Це породжує складні моральні дилеми відповідальності за наслідки відкриттів, особливо за умов розмиття межі між оборонними й наступальними технологіями.

Важливим є і структурний вимір: війни руйнують інституційну основу науки: університети, дослідницькі центри, міжнародні зв'язки. Втрата людського капіталу, вимушена міграція вчених і розрив наукових традицій мають тривалі наслідки, які часто неможливо компенсувати навіть після завершення війни. Сучасний досвід України яскраво це підтверджує.

Отже, вплив війни на науку є складнішим, ніж співвідношення «прогресу і ризиків». Йдеться про глибоку напругу між наукою як інструментом розвитку людства і її використанням у контексті руйнування. Тому ключовим завданням є не лише розвиток знань, а й формування етичних та інституційних механізмів, здатних спрямувати їх у бік миру, безпеки та сталого майбутнього.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Kharchenko, N. V. (2025). War as a catalyst for technological innovation. *Science, Technologies, Innovations*.
- [2] Watson-Watt, R. (1959). *The pulse of radar*. London: Her Majesty's Stationery Office.
- [3] Храмов, Ю. О. (2012). *Фізика. Історія фундаментальних ідей, теорій та відкриттів*. Київ: Фенікс.
- [4] Колтачихіна, О. Ю., & Храмов, Ю. О. (2014). Основні періоди та етапи в розвитку ракетно-космічної техніки України (до 60-річчя КБ «Південне» ім. М. К. Янгеля). Частина 1. *Наука та наукознавство*, (1), 85–100.
- [5] КПІ ім. Ігоря Сікорського. (б.д.). Алгоритми наведення FPV-дронів. <https://ela.kpi.ua/bitstreams/5e2cc783-9ac2-43cd-af7e-ddc48a51aecc/download>
- [6] КПІ ім. Ігоря Сікорського. (б.д.). Дослідження аеродинаміки БПЛА. <https://ela.kpi.ua/bitstreams/c1fa9b67-02aa-40c8-b793-32804a2f3fa1/download>
- [7] КПІ ім. Ігоря Сікорського. (б.д.). Системи керування БПЛА. https://asnk.kpi.ua/docs/anotations/master/SenB_ua.pdf

Пічкур Т.В.

Навчально-науковий Київський інститут залізничного транспорту

Національного транспортного університету, м. Київ, Україна

email: pt1993@ukr.net

РОЗВИТОК ОСНОВНИХ НАПРЯМІВ ДАРВІНІЗМУ В УКРАЇНІ

(друга половина ХІХ ст. – перша чверть ХХ ст.)

Анотація. У поданому матеріалі розглядається розвиток еволюційної теорії після праць Чарльза Дарвіна та формування дарвінізму як складної наукової системи. Показано, що наприкінці ХІХ століття відбувалися процеси інтенсивного розвитку еволюційних ідей, їх проникнення у біологічну науку та становлення нових галузей знання. Підкреслюється значний вплив дарвінізму на перебудову теоретичних засад і методів біологічних дисциплін. Описано формування еволюційної біології як самостійної наукової галузі та нерівномірний характер розвитку її окремих напрямів. Також наведено класифікацію основних різновидів дарвінізму й окреслено їх поширення в науковому середовищі.

Ключові слова: еволюційна теорія, дарвінізм, еволюційна біологія, розвиток, еволюційна ідея.

Abstract. The paper examines the development of evolutionary theory after the works of Charles Darwin and the formation of Darwinism as a complex scientific system. It shows that by the late nineteenth century, processes of intensive development of evolutionary ideas, their integration into biology, and the formation of new fields of knowledge were taking place. The significant influence of Darwinism on the transformation of theoretical foundations and methods of biological disciplines is emphasized. The formation of evolutionary biology as an independent scientific field and the uneven character of the development of its branches are described. The

classification of the main varieties of Darwinism and their dissemination within the scientific community is also presented.

Keywords: evolutionary theory, Darwinism, evolutionary biology, development, evolutionary idea.

У своїй праці «Розвиток еволюційної теорії після Дарвіна» К. М. Завадський (1973) довів, що поняття «дарвінізм» не обмежується лише ідеями самого Дарвіна, а вже наприкінці XIX століття набуло складної та розгалуженої структури, що включала кілька напрямів. Учений підкреслював, що в період 1865–1900 років відбувалися три взаємопов'язані процеси. По-перше, активно формувалася і розвивалася еволюційна теорія, представлена як різними варіантами дарвінізму, так і альтернативними – недарвіністськими та антидарвіністськими концепціями. По-друге, еволюційні ідеї поступово проникали в біологічну науку: дослідники освоювали нові уявлення про еволюцію органічного світу, формувалася історичний підхід, який впроваджувався у практику наукових досліджень. По-третє, виник новий комплекс галузей еволюційної біології, до якого майже одночасно увійшли такі напрями, як еволюційна палеонтологія, систематика, ембріологія, морфологія, порівняльна анатомія та біогеографія.

У завершальній частині своєї праці «Походження видів» Чарльз Дарвін передбачав, що прийняття еволюційної теорії спричинить глибокі зміни в природничих науках. Він вважав, що такі дисципліни, як систематика, ембріологія, біогеографія, антропологія та інші, перейдуть до історичного підходу в дослідженнях [1, С. 663]. Цей прогноз повністю справдився і став визначальним чинником подальшого розвитку еволюційної думки. Водночас важливу роль у становленні еволюційної біології відіграли загальне зростання та диференціація біологічних наук.

Дарвінізм фактично утвердив біологію як повноцінну наукову дисципліну. Під його впливом відбулися суттєві зміни в теоретичних засадах окремих біологічних галузей. Завдання цих дисциплін ускладнилися, адже

дослідження їхніх об'єктів стало тісно пов'язаним із вивченням шляхів і закономірностей еволюційного розвитку. Водночас розширився методологічний арсенал науки: поряд із традиційними підходами активно застосовуються порівняльний та історичний методи. Системний підхід, який уже використовувався в низці дисциплін, почав поєднуватися з історичним, що значно поглибило наукові дослідження [2]. У цьому контексті дарвінізм набув нового значення – як інструмент для проведення спеціалізованих еволюційно-біологічних досліджень, а історичний метод почав адаптуватися до специфіки кожної окремої галузі [3].

Отже, взаємодія дарвінізму з різними біологічними дисциплінами мала свої особливості, проте в усіх випадках призводила до спільного результату – формування еволюційних напрямів у межах цих наук [4]. Їх розвиток відбувався нерівномірно: в одних галузях (зокрема, ембріології, порівняльній анатомії, палеонтології, систематиці) вони з'явилися раніше, тоді як в інших (наприклад, у гістології) – значно пізніше. Специфіка становлення кожного з напрямів визначалася низкою чинників, серед яких – об'єкт дослідження, рівень теоретичної підготовки, наявність порівняльних підходів і методів, що дозволяють реконструювати історичний розвиток, а також особливості попереднього розвитку самої дисципліни. У підсумку, ставши науковою основою біології, дарвінізм суттєво вплинув і на нові галузі, що сформувалися у другій половині XIX – XX століть, визначивши їхню теоретичну базу, методологію та загальний напрям розвитку [5].

Аналіз розвитку еволюційної теорії та її взаємодії з різними біологічними дисциплінами в історичному й теоретичному контекстах дає підстави стверджувати, що протягом 142 років сформувалася нова масштабна галузь знань – еволюційна біологія. У XX столітті з'явилися реальні передумови для створення її цілісної та узгодженої структури.

Наприкінці XIX століття різноманітні напрями цієї науки перебували лише на стадії становлення і являли собою окремі осередки майбутньої системи

знань. Деякі дослідники вважали, що вже до середини 1870-х років цей процес, за провідної ролі дарвінізму, був переважно завершений. Зокрема, І. І. Мечников у праці «Антропологія і дарвінізм» наголошував, що дарвінізм за короткий час поширився на всі галузі біології [6]. У свою чергу, американський палеонтолог О. Марш зазначав, що суперечки щодо самої ідеї еволюції фактично завершилися її остаточним утвердженням, а наукові дискусії змістилися до вивчення механізмів і закономірностей еволюційних процесів.

Окрім того, К. М. Завадський виокремив чотири основні форми дарвінізму: класичний, геккелівський (або ламаркістсько-дарвіністський), неodarвінізм і сегрегаціоселекціонізм [7]. Такий поділ підтверджується й матеріалами, що відображають розвиток еволюційних ідей в Україні. Водночас ці напрями були представлені нерівномірно: найбільш численною була група прихильників класичного дарвінізму, менш численною – неodarвіністів, тоді як представники ламаркістсько-дарвіністського напрямку та сегрегаціоселекціонізму фактично були відсутні.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Дарвін, Ч. (1939). Походження видів [On the origin of species]. Вид-во АН СРСР.
- [2] Воронцов, Н. Н. (1968). Передмова [Foreword]. У Проблеми еволюції [Problems of evolution] (Т. 1, с. 5–6). Наука.
- [3] Завадський, К. М. (1974). Еволюційна біологія та її відношення з еволюційною теорією [Evolutionary biology and its relation to evolutionary theory]. У Проблеми еволюційної фізіології рослин [Problems of evolutionary plant physiology] (с. 5–8).
- [4] Мірзоян, Е. Н. (1984). Системний підхід і стилі мислення в біології [System approach and styles of thinking in biology]. У Методологічні проблеми еволюційної теорії [Methodological problems of evolutionary theory] (с. 136–138).
- [5] Мірзоян, Е. Н. (1974). Розвиток вчення про рекапітуляцію [Development of the theory of recapitulation]. Наука.
- Мечников, І. І. (1960). Академічне зібрання творів [Collected works]. Вид-во АН СРСР.
- [6] Мозелов, А. П., & Георгієвський, А. Б. (1979). Філософський зміст теорії селектогенезу [Philosophical content of the theory of selectogenesis]. Вісник Ленінградського державного університету [Bulletin of Leningrad State University], (13), 39–46

Приходько М.В., Скіцько І.Ф.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна*

email: miroslavnaprihodko@gmail.com

ТЕОРІЯ РУХУ КОМЕТ У ДОСЛІДЖЕННЯХ ОЛЕНИ КАЗИМИРЧАК-ПОЛОНСЬКОЇ

Анотація. Висвітлено наукову діяльність Олени Казимирчак-Полонської, її внесок у дослідження руху комет та значення отриманих результатів для розвитку астрономії.

Ключові слова: Джовіцентричний рух, ЕОМ, ефемериди, захоплення комет.

Abstract. The paper outlines the scientific work of Olena Kazymyrchak-Polonska, her contribution to the study of comet motion, and the significance of her results for the development of astronomy.

Keywords: Joventric motion, computer, ephemeris, comet capture.

Унікальна українська астрономка Олена Іванівна Казимирчак-Полонська – чи не єдина у світі науковиця, яка прийняла чернечий постриг і водночас продовжила викладати в університеті. Саме вона запропонувала теорію руху комет, яка й досі використовується під час запуску космічних зондів. Олена Іванівна народилася у 1902 році на Волині в заможній дворянській родині [1, 2]. Після закінчення гімназії в Луцьку вона стала активною учасницею українського студентського руху, а згодом навчалася у Львівському університеті на кафедрі астрономії факультету математичних і природничих наук, де розпочала наукову діяльність в астрономічних обсерваторіях Львова та Варшави [1]. Рух планет Сонячної системи став головним предметом наукового інтересу молоді

дослідниці. У 1934 році вона захистила дисертацію на тему «Особливості руху комет у період їх захоплення великими планетами» і здобула ступінь доктора філософії [1, 2]. Вона брала участь в обчисленні пар ефемерид П'євкова для точного визначення широт, а також у дослідженнях руху комети Вольфа 1 у сфері впливу Юпітера (1922), де із певними модифікаціями застосувала метод чисельного інтегрування Нумерова [2].

Метод П'євкова ґрунтується на спостереженні пар зір на однакових зенітних відстанях (спосіб Талькотта), але передбачає оптимізацію вибору об'єктів з метою мінімізації інструментальних похибок [2]. Основна ідея полягає у вимірюванні різниці зенітних відстаней двох зір, що кульмінують (тобто проходять через небесний меридіан місця спостереження) по різні боки від зеніту— одна на півдні, інша на півночі – приблизно на однаковій висоті [2]. Олена Казимирчак-Полонська приділяла особливу увагу математичній строгості підготовки ефемерид – таблиць попередньо обчислених небесних координат Сонця, Місяця, планет та інших астрономічних об'єктів у послідовні моменти часу. Зоряні ефемериди відображають видимі положення зір із урахуванням прецесії, аберації та нутації. Це дозволяло спостерігачам на рефрактометрі або пасажному інструменті витратити мінімум часу на пошук об'єктів [2].

Більш детально розглянемо етапи дослідження. Етап 1: формування пар П'євкова. Вони мають відповідати таким критеріям: різниця прямих сходжень повинна бути достатньою для перекладки інструмента (5–15 хвилин), але не надто великою, щоб атмосферні умови залишалися стабільними. Різниця зенітних відстаней не повинна перевищувати робочого діапазону окулярного мікрометра (зазвичай до 15). Важливим є також середня зенітна відстань – оптимально від 10 до 50 градусів для мінімізації впливу рефракції (уявного зміщення небесного світила внаслідок заломлення світлових променів в атмосфері Землі) [2].

Етап 2: редуція до моменту спостереження. Вона включає врахування власних рухів зір (перерахунок координат з епохи каталогу на поточну дату), а також поправки на прецесію та нутацію (з використанням редуційних величин Бесселя) і аберацію – річну та добову [2].

За допомогою цього методу було розраховано збурення в джовіцентричному русі (русі навколо Юпітера) комети за 1922 рік, спричинені Сонцем та іншими планетами. Перевага методу полягає в тому, що він потребує лише близько 20% часу, необхідного для розрахунку збурень геліоцентричного руху комети за той самий період [2]. Олена Іванівна також розробила модель багатоступеневого захоплення комет планетами-гігантами, насамперед Юпітером. Вона довела, що Юпітер здатен «захоплювати» комети із зовнішніх областей Сонячної системи, переводячи їх на короткоперіодичні орбіти [1, 2]. У 1950 році вона захистила дисертацію «Тісні зближення комет із планетами та планетоцентричний рух комет» і здобула ступінь кандидата фізико-математичних наук [1].

Точне визначення широти обсерваторії або місця спостереження було фундаментальним для її теорії руху комет. Помилка у визначенні широти призводить до похибок у подальших розрахунках орбіт, особливо при врахуванні збурень від Юпітера та Сатурна [2]. У віці 54 років дослідниця опанувала програмування для роботи на електронно-обчислювальних машинах [1] і підготувала значний масив даних про рух комет за 400 років [1,2]. Вона поставила перед собою амбітну мету – дослідити на ЕОМ рух усіх відомих короткоперіодичних комет [1]. Її дослідження значно випередили аналогічні роботи, що проводилися на Заході. Вчена залишила вагому наукову спадщину: з 1960-х до 1990-х років вона опублікувала понад 100 наукових праць і була членкинею Міжнародного астрономічного товариства [2]. У 1978 році її ім'ям названо малу планету №2006 (2006 Polonskaya) [1, 3].

Отже, Олена Казимирчак-Полонська – видатна українська астрономка, яка розробила унікальну теорію руху комет, що й досі використовується у космічних дослідженнях [1, 2]. Вона математично обґрунтувала механізм захоплення комет Юпітером і зміни їхніх орбіт, а її методи дозволили виконувати складні обчислення у п'ять разів швидше [2]. Дослідниця однією з перших застосувала ЕОМ для аналізу астрономічних даних за тривалий історичний період [1], за що її ім'ям було названо малу планету №2006 [3].

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Корсунь, А. О. (2002). Вісник Національної академії наук України, (11).
- [2] Казимирчак-Полонська, Олена Іванівна.
https://uk.wikipedia.org/wiki/Казимирчак-Полонська_Олена_Іванівна
- [3] Minor Planet Center. (2006). 2006 Polonskaya.

Рижко Л.В.

*ДУ «Інститут досліджень науково-технічного потенціалу та історії науки ім. Г. М. Доброва НАН України», м. Київ, Україна,
Центр гуманітарної освіти НАН України, м. Київ, Україна
email: ryzhkolarisa14@gmail.com*

ФОРМУВАННЯ ТА ЕВОЛЮЦІЯ НАУКОВОГО ДИСКУРСУ

Анотація. Розглянуто генезис та історичні етапи формування наукового дискурсу, показано його трансформацію від вузькопрофесійного до публічного, відзначено пов'язані з цим перспективи та ризики.

Ключові слова: науковий дискурс, наукова комунікація, науковий текст, відкрита наука.

Abstract. This paper examines the origins and historical stages of scientific discourse, traces its transformation from a highly specialized field to a public one, and highlights the opportunities and risks associated with this transformation.

Keywords: scientific discourse, scientific communication, scientific text, open science.

Розвиток наукової мови, термінології та наукового дискурсу – це процес, який супроводжує розвиток науки, техніки та суспільства. Відкриття нових речовин, видів рослин, тварин, космічних тіл, формулювання теорій, конструювання приладів, так само, як і запровадження нових методів і підходів до дослідження, вимагають номінації. І, відповідно, трансформується наукова термінологія, а поширення в суспільстві комунікації стосовно проблем науки – сприяє змінам наукового дискурсу. Віддзеркалюючи генезу та історію розвитку науки, багато термінів традиційно мають латинське, грецьке, арабське походження. У сучасній науковій мові часто використовують англійські терміни,

особливо в сфері інформаційно-комунікаційних технологій. Оскільки сучасна наука та технології розвиваються в умовах глобалізації, англійська мова фактично стала універсальним засобом міжнародного наукового спілкування. Це зумовлює активне запозичення термінів, їх адаптацію до національних мов і формування нових понять на основі англомовної лексики, що сприяє уніфікації наукового дискурсу та полегшує обмін знаннями між дослідниками різних країн. Розуміння того, що наукові терміни повинні бути однозначними, точними, а символи, одиниці вимірювання – уніфікованими та стандартизованими, сприяло пошуку різних форм досягнення цього у розробці мови науки. Отже, *сучасний науковий текст* – це знеособлена презентація логічних, обґрунтованих, об'єктивних та доведених знань. Натомість *дискурс* – це виражений у мові, контекстуально обумовлений спосіб мислення, мовлення і спілкування стосовно важливих, суспільно значущих проблем, що передбачає зв'язок із соціокультурними сферами, із життєвими подіями, не лише з раціональними, а й з емоційними процесами. Аналіз наукового дискурсу дозволяє виявляти вплив науки на суспільну свідомість, сприйняття науки загалом, вплив науки на суспільство, сприяти виробленню нових підходів до популяризації науки тощо.

Тривалий час латина виконувала функцію спільної мови науки, об'єднуючи фахівців. Тож поширення наукового дискурсу в суспільстві було пов'язане з початком використання наукою національних мов. У XVII столітті перші журнали – *Le Journal des Savans* і *Philosophical Transactions of the Royal Society* – почали публікувати статті, звіти, листи й рецензії переважно французькою та англійською мовами відповідно. Науковий дискурс формувався завдяки трансформаціям традиційних мовних практик. У XVIII столітті автори зазвичай представляли себе в центрі описаних подій, звертаючись до читача від першої особи та довільно описуючи свої дії, розумові процеси та почуття. У цей період вчені Лондонського Королівського товариства використовували образ джентльмена в риторичних цілях, щоб обґрунтувати свої претензії на науковий

авторитет, підкреслити свою безкорисливість і моральну порядність. Це запозичення було природним, адже багато вчених насправді були джентльменами і уособлювали моральні та соціальні чесноти особистості тієї епохи. Із початку XIX століття поступово центральне місце в наукових текстах почали відводити ретельним описам наукових методів, приладів і об'єктів дослідження. Відбулися глибокі зміни в соціально-когнітивній організації науки. У когнітивному плані від недиференційованої системи наукових знань відокремилися окремі дисципліни, які відрізнялися методологією, методами, термінологією тощо. У соціальному плані з боку політичних та економічних систем сформувалася потреба в об'єктивних, знеособлених знаннях. Відповідно, наукові тексти стали більш інформативними та теоретичними. Отже, формувалися ідеали сучасного наукового тексту, який вирізняється об'єктивністю, однозначністю та логічністю висловлювань, відсутністю емоційних і ціннісно забарвлених положень [1].

У першій половині XX століття формується сучасна схема подання наукового дослідження – вступ (постановка наукової проблеми), обґрунтування актуальності, огляд літератури, опис методів, експериментів, отриманих результатів, їх інтерпретація та обговорення. До середини XX століття більшість наукових журналів почала використовувати таку структуру статей. Використання структури тексту наукової публікації – вступ, методи, результати та обговорення – в англійській літературі позначають аббревіатурою IMRaD (Introduction, Methods, Results, and Discussion), що дає змогу читачеві зрозуміти етапи дослідження і, в ідеалі, їх відтворити, що вважається основним критерієм досконалості наукового експерименту [2].

Подальші зміни дискурсу відбуваються під впливом гносеологічних, соціальних та технологічних чинників. У сучасній науці все більшого поширення набувають міждисциплінарні, трансдисциплінарні, проблемно-орієнтовані дослідження. Відповідно, трансформується й дисциплінарний дискурс.

Формування взаємозв'язків науки з економічними, виробничими та соціальними сферами суспільства супроводжується залученням до виробництва знань широкого кола зацікавлених сторін, зокрема міждисциплінарних наукових колективів, замовників наукових досліджень і потенційних споживачів їх результатів. Сучасні наукові розробки мають відповідати потребам людини й суспільства, екологічним вимогам і цілям сталого розвитку. Посилення відповідальності науковців за наслідки впровадження своїх розробок призводить до того, що сучасний науковий дискурс включає цінності, норми, ідеали, тобто поєднує етичний дискурс, дискурс цілей сталого розвитку, екологічний дискурс. Формується дискурс «розумного», «стійкого», «екологічного», «інклюзивного» розвитку. У цьому контексті наука перестає бути ізольованою сферою діяльності й трансформується у відкриту систему, що активно взаємодіє з суспільством, політикою та бізнесом. Це зумовлює необхідність прозорості досліджень, міжсекторального діалогу та врахування різноманітних інтересів і ризиків. Відтак сучасний науковий дискурс формується як багатовимірний простір, у якому поєднуються раціональність, інноваційність і соціальна відповідальність, спрямовані на забезпечення гармонійного розвитку суспільства.

Запровадження практик відкритої науки перетворює науковий дискурс із дискурсу інституту науки на публічний дискурс. Цьому сприяє те, що практично всі соціальні комунікації, формування спільнот, а також політичні, освітні практики, зокрема обговорення питань наукового розвитку, значною мірою перейшли в онлайн-простір, використовуючи соціальні мережі, онлайн-платформи та цифрові інструменти для взаємодії, обміну думками та організації діяльності. З'являються нові суб'єкти, які поширюють, транслюють науковий дискурс – експерти, наукові журналісти, наукові блогери, а також представники громадянського суспільства, освітяни та загалом активні користувачі цифрового середовища, які долучаються до інтерпретації та популяризації наукового знання.

Унаслідок цього межі між виробниками й споживачами знань поступово розмиваються, а сам науковий дискурс набуває рис відкритості, інтерактивності та полілогічності. Водночас така трансформація зумовлює як нові можливості – ширший доступ до результатів досліджень, підвищення рівня наукової обізнаності суспільства – так і нові виклики, пов’язані з необхідністю забезпечення якості інформації, протидії дезінформації та формування критичного мислення.

Отже, відкритість науки сприяє демократизації поширення знання, поглибленню взаємодії науки з різними сферами суспільства та більш активному залученню громадськості до наукової діяльності. Водночас виникають і певні ризики, зокрема розмивання уявлень про істину як вищу цінність науки, зниження вимог до наукових стандартів і послаблення ролі експертної оцінки, що може сприяти поширенню псевдонаукових ідей, формуванню ситуацій постправди [3, 4]. Розвиток всесвітньої мережі Інтернет та практично необмежений доступ до інформації сприяли пришвидшенню поширення як правдивої, так і неправдивої інформації та викривлених новин. Тому в цифрову епоху виникає потреба в нових механізмах регулювання комунікації, підвищенні відповідальності науковців, освітян та загалом усіх учасників наукової комунікації.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Atkinson, D. (1998). *Scientific discourse in sociohistorical context: The philosophical transactions of the Royal Society of London, 1675–1975*. New York: Routledge.
- [2] Nichols, M. D., & Petzold, A. M. (2021). A crisis of authority in scientific discourse. *Cultural Studies of Science Education*, 16, 643–650.
- [3] Ніколс, Т. (2019). «Диванні» експерти. Як необмежений доступ до інформації робить нас тупішими. Київ: Наш формат.
- [4] Макінтайр, Л. (2021). *Постправа*. Київ: ArtHuss.

Савченко Д.В.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний

інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна;

Технічний центр НАН України, м. Київ, Україна

email: dariyasavchenko@gmail.com

**НАУКОВА ДІЯЛЬНІСТЬ ГРУПИ «ОПТИЧНІ, ЕЛЕКТРИЧНІ ТА
МАГНІТНІ ВЛАСТИВОСТІ ШИРОКОЗОННИХ
НАПІВПРОВІДНИКОВИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ SiC»
(ДО 30-РІЧЧЯ ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНОГО ФАКУЛЬТЕТУ)**

Анотація. Узагальнено результати досліджень карбіду кремнію (SiC), виконаних на фізико-математичному факультеті КПІ ім. Ігоря Сікорського протягом останніх 30 років. Представлено результати досліджень співробітників кафедри, пов'язаних із вивченням електролюмінесценції, дефектних, рекомбінаційних та спінових процесів у SiC, а також зі створенням приладів на його основі.

Ключові слова: SiC, напівпровідники, наукова група.

Abstract. The results of research on silicon carbide (SiC) carried out at the Faculty of Physics and Mathematics of Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute over the past 30 years are summarized. The results of the department's staff's research on electroluminescence, defects, recombination, and spin processes in SiC, as well as the creation of devices based on it, are presented.

Keywords: SiC, semiconductors, scientific group.

Наукову групу «Оптичні, електричні та магнітні властивості широкозонних напівпровідникових матеріалів на основі SiC» на кафедрі загальної фізики та моделювання фізичних процесів (КЗФтаМФП, у 1982–2022

роках – кафедра загальної фізики та фізики твердого тіла, КЗФтаФТТ) КПІ ім. Ігоря Сікорського було офіційно затверджено у 2020 році під керівництвом доктора фізико-математичних наук, доцента, завідувачки КЗФтаМФП Дарії Вікторівни Савченко.

Проте цей напрям діяльності КЗФтаМФП було започатковано значно раніше, коли було засновано проблемну лабораторію напівпровідників у 1957 році на чолі з доктором фізико-математичних наук, професором Миколою Петровичем Калабуховим (1902–1989) – завідувачем кафедри загальної фізики КПІ. У цій лабораторії, зокрема, працювали співробітники майбутньої КЗФтаФТТ: доктор технічних наук, професор Людмила Павлівна Гермаш (1947–2013) – завідувачка КЗФтаФТТ, кандидат фізико-математичних наук, доцент Володимир Миколайович Родіонов, кандидат технічних наук Олексій Михайлович Генкін (1949–2025), Віра Костянтинівна Генкіна, Сергій Олександрович Подласов, які продовжили розвивати цей напрям і після створення фізико-математичного факультету у 1996 році.

Так, у 1997-2000 роках О. М. Генкіним, В. К. Генкіною та Л. П. Гермаш було виявлено осциляційну структуру спектрів електролюмінесценції (ЕЛ) SiC p-n структур, зумовлену сильними електричними полями в мікроплазмах, досліджено вплив тривалої експлуатації та температури на спектральні характеристики і квантову ефективність випромінювання, встановлено закономірності температурної залежності спектрального складу та механізми формування пробійної ЕЛ, визначено кінетичні характеристики випромінювання і умови формування субнаносекундних світлових імпульсів [1-5].

У 2006-2008 роках було вивчено осциляційну структуру спектрів окремих мікроплазм і встановлено її зв'язок із сильними електричними полями та зонною структурою матеріалу, розроблено широкосмугові еталонні УФ випромінювачі на основі SiC, для яких визначено вплив мікроплазмової структури, температури та режимів живлення на квантовий вихід і спектральні характеристики [6, 7].

Подальший розвиток цих досліджень дав змогу детально вивчити поляризаційні характеристики пробійної електролюмінесценції SiC p-n-структур [8].

У 2002 році у співпраці з Інститутом фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України (ІФН НАНУ) В. М. Родіоновим та С. О. Подласовим було визначено вплив термообробок на інтенсивності процесів випромінювальної анігіляції вільних екситонів та безвипромінювальної рекомбінації електронів та дірок у SiC кубічної модифікації [9]. Подальший розвиток цієї співпраці показав, що термічна обробка SiC призводить до утворення дефектів і стекінг-дефектів, формування квантово-розмірних областей типу 3C-SiC у матриці 6H-SiC та виникнення червоної і жовтої фотолюмінесценції, зумовленої донорно-акцепторною рекомбінацією за участю глибоких центрів алюмінію [10].

У 2016–2017 роках у співпраці з НН ФТІ В. М. Родіоновим, О. М. Генкіним та В. К. Генкіною було створено сенсорні та імпульсні електронні пристрої на основі SiC, зокрема розроблено високотемпературні термоанемометри на базі полікристалічного 3C-SiC, а також стабільні формувачі імпульсного струму та джерела субнаносекундного випромінювання на основі пробійних світлодіодів SiC, що здатні забезпечувати широкосмугове випромінювання та високу часову стабільність [11-13].

Зазначені вище дослідження виконувалися в межах державних тем «Електронні процеси у пробійних електричних полях в політипах карбїду кремнію» (2008–2010 роки), «Розмірні ефекти у структурах на карбїді кремнію» (2013–2014 роки) під керівництвом Л. П. Гермаш, а також у співпраці з доктором технічних наук, професором Сергієм Олександровичем Вороновим (НН ФТІ) у межах державного бюджетного проекту «Фізичні принципи створення нових елементів оптично-електронних приладів на базі моно- та нанокристалічного карбїду кремнію» (2015–2016 роки).

У 2016 році до докторантури КЗФтаФТТ вступає Д. В. Савченко, представниця наукової школи радіоспектроскопії ІФН НАНУ, і дослідження SiC продовжуються із застосуванням методу електронного парамагнітного резонансу (ЕПР) у співпраці з ІФН НАНУ. Так, у 2017 році було визначено енергію іонізації донорних рівнів та механізми формування ЕПР-сигналу електронів провідності в n-типі 3C-SiC [14]. У 2020 році Д. В. Савченко та В. М. Родіоновим було показано, що дефекти та межі зерен у полікристалічному 3C-SiC формують пастки носіїв, які визначають процеси рекомбінації та фотопровідності [15].

У 2019 році В. М. Родіоновим у співпраці з ІФН НАНУ було визначено, що легування бором 3C-SiC призводить до утворення глибокого рекомбінаційного центру, який визначає фотопровідність і розширює спектральну область фоточутливості [16], а згодом було показано, що легування полікристалічного 3C-SiC бором підвищує його термо- та фоточутливість і дає змогу створювати сенсори для роботи в екстремальних умовах [17].

У 2023 році Д. В. Савченко та О. М. Генкіним методом мікрохвильового резонаторного збурення встановлено температурно залежні механізми переносу носіїв, зокрема іонізацію донорів і стрибкову провідність, із визначенням відповідних енергій активації у сильно легованих азотом монокристалів 6H-SiC [18].

У 2023-2024 роках Д. В. Савченко разом із аспіранткою Мариною Олексіївною Голяткіною встановлено природу сигналів ЕПР та ЕДМР у сильно легованих 6H та 15R SiC кристалах, пов'язаних із обмінною взаємодією донорів азоту та електронів провідності, а також показано роль стрибкової провідності й механізму ЕПР-індукованого нагрівання у формуванні спін-залежного транспорту носіїв [19, 20]. Робота виконувалась у рамках групового гранту “Magnetic interactions and spin dynamics in heavily nitrogen-doped 6H SiC monocrystals” (конкурс «Magnetism for Ukraine 2023» від IEEE Magnetism Society, керівник Д. В. Савченко). У 2024 році було досліджено динаміку обмінної

взаємодії між локалізованими та делокалізованими електронами в монокристалах 4H-SiC з різною концентрацією донорів азоту в широкому температурному діапазоні [21].

Одним із результатів роботи групи також є захист дисертацій М. О. Генкіна (кандидат технічних наук), Д. В. Савченко (доктор фізико-математичних наук) та М. О. Голяtkіної (доктор філософії) [22-24]. Наразі напрям роботи групи у складі Д. В. Савченко та М. О. Голяtkіної розвивається в межах спільної міжнародної освітньої програми ERASMUS+ KA1 з Лабораторією магніто-оптичної та терагерцової спектроскопії Центральноєвропейського технологічного інституту Технічного університету Брно (м. Брно, Чеська Республіка, 2024-2027 роки).

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Belous, M. V., Genkin, A. M., Genkina, V.K., & Guseva, O.A. (1997). Breakdown electroluminescence spectra of silicon carbide p-n junctions. *Semiconductors*, 31(2), 169-172. <https://doi.org/10.1134/1.1187101>
- [2] Belous, M.V., Genkin, A.M., Genkina, V.K., & Stankevich, S.A. (1997). Influence of prolonged operation at the maximum current load on the characteristics of silicon carbide light-emitting diodes operating in an electrical breakdown regime. *Technical Physics*, 42(1), 115-117. <https://doi.org/10.1134/1.1258633>
- [3] Genkin, A.M., Genkina, V.K., & Germash, L.P. (1999). Effect of prolonged operation and temperature on the spectra of silicon carbide light-emitting diodes operating in an electric breakdown regime. *Technical Physics*, 44(10), 1191-1197. <https://doi.org/10.1134/1.1259493>
- [4] Belous, M.V., Genkin, A.M., & Genkina, V.K. (1999). Influence of temperature on the spectral composition of the breakdown electroluminescence of silicon carbide p-n structures. *Semiconductors*, 33(6), 672-676. <https://doi.org/10.1134/1.1187754>
- [5] Genkin, A.M., Genkina, V.K., & Germash, L.P. (2000). Kinetics of breakdown electroluminescence in silicon carbide p-n structures. *Technical Physics*, 45(4), 432-435. <https://doi.org/10.1134/1.1259649>
- [6] Genkin, A.M., Genkina, V.K., Germash, L.P., & Zubkova, S.M. (2006). Oscillatory structure in radiation spectra of individual microplasmas in silicon carbide p-n-junctions. *The European Physical Journal Applied Physics*, 33(3), 161-167. <https://doi.org/10.1051/epjap:2006023>

- [7] Генкін, О.М., Генкіна, В.К., Гераїмчук, М.Д., Гермаш, Л.П., & Неводовський, П.В. (2008). Широкопугові еталонні випромінювачі для УФ-області на основі карбїду кремнію. *Наукові вісті НТУУ "КПІ"*, № 4, 20-26.
- [8] Генкін, О.М., Генкіна, В.К., & Гермаш, Л.П. (2014). Полярїзаційні характеристики електролюмінесценції, що супроводжує електричний пробїй р-п-структур на карбїді кремнію. *Наукові вісті НТУУ "КПІ"*, № 1, 71-78.
- [9] Братусь, В.Я., & Родїонов, В.М. (2002). Вплив термообробок на рекомбінаційні властивості кубїчного карбїду кремнію. *Укр. фіз. журн.*, 47(6), 588-591.
- [10] Lee, S.W., Vlaskina, S.I., Vlaskin, V.I., Zaharchenko, I.V., Gubanov, V.A., Mishinova, G.N., Svechnikov, G.E., Rodionov, V.M. & Podlasov, S.A. (2010). Silicon carbide defects and luminescence centers in current-heated 6H-SiC. *Semiconductor physics, quantum electronics & optoelectronics*, 13(1), 24-29. <https://doi.org/10.15407/spqeo13.01.024>
- [11] Бубуліс А., Воронов С.А., Генкін А.М., Братусь Т.И., Родионов В.Н. (2016). Термоанемометрія на основі полікристалічного карбїда кремнія кубїчної модїфікації. *Вїсник Київського політехнічного інституту. Серія Приладобудування*, 52(2), 42-47.
- [12] Aushev, E., Voronov, S., Genkin, O., Genkina, V., & Rodionov, V. (2016). Стабільні формувачі імпульсного струму для живлення світлодіодів. *Вїсник Київського політехнічного інституту. Серія Приладобудування*, (52 (2)), 59-65.
- [13] Voronov, S., Genkin, O., Genkina, V., Rodionov, V., Romaniuk, R., Kisała, P., Klimek, J., Askarova, N., & Luganskaya, S. (2017). Reference LED source of subnanosecond pulses of broadband optical radiation. In *Proc. SPIE, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments*, 1044510, 287-294. <https://doi.org/10.1117/12.2281016>
- [14] Savchenko, D., Kalabukhova, E., Prokhorov, A., Lančok, J., & Shanina, B. (2017). Temperature behavior of the conduction electrons in the nitrogen-doped 3C SiC monocrystals as studied by electron spin resonance. *Journal of Applied Physics*, 121(2), 025705. <https://doi.org/10.1063/1.4973901>
- [15] Savchenko, D., Rodionov, V., Prokhorov, A., Lančok, J., Kalabukhova, E., & Shanina, B. (2020). Impact of the dangling bond defects and grain boundaries on trapping recombination process in polycrystalline 3C SiC. *Journal of Alloys and Compounds*, 823, 153752. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.153752>
- [16] Rodionov, V.N., Bratus, V.Y., & Voronov, S.O. (2019). Influence of boron doping on the photosensitivity of cubic silicon carbide. *Semiconductor physics, quantum electronics & optoelectronics*, 22(1), 92-97. <https://doi.org/10.15407/spqeo22.01.092>
- [17] Родїонов, В., Братусь, Т., & Бубуліс, А. (2023). Сенсори на основі полікристалічного 3с-сіс: вплив легування бором. *Вїсник Київського політехнічного інституту. Серія Приладобудування*, 65(1), 42-46. [https://doi.org/10.20535/1970.65\(1\).2023.283310](https://doi.org/10.20535/1970.65(1).2023.283310)

- [18] Savchenko, D.V., Yatsyk, D.M., Genkin, O.M., Nosachov, Y.F., Drozdenko, O.V., Moiseenko, V.I., & Kalabukhova, E.N. (2023). Electrical properties of highly nitrogen-doped 6H-SiC single crystals: Microwave cavity perturbation study. *Semiconductor physics, quantum electronics & optoelectronics*, 26(1), 030-035. <https://doi.org/10.15407/spqeo26.01.030>
- [19] Solodovnyk, A., Laguta, O., Prokhorov, A., Segantini, M., Naydenov, B., Neugebauer, P., Greulich-Weber, S., Kalabukhova, E. & Savchenko, D. (2023). Spin dynamics of exchange-coupled nitrogen donors in heavily doped n-type 15R SiC monocrystals: Multifrequency EPR and EDMR study. *Physical Review B*, 107(15), 155202. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.107.155202>
- [20] Holiatkina, M., Solodovnyk, A., Laguta, O., Neugebauer, P., Kalabukhova, E., & Savchenko, D. (2024). Nature of electrically detected magnetic resonance in highly nitrogen-doped 6H-SiC single crystals. *Physical Review B*, 110(12), 125205. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.110.125205>
- [21] Holiatkina, M., Pöppl, A., Kalabukhova, E., Lančok, J., & Savchenko, D. (2023). Spin exchange dynamics in 4H SiC monocrystals with different nitrogen donor concentrations. *Journal of Applied Physics*, 134(14), 145702. <https://doi.org/10.1063/5.0172320>
- [22] Генкін О. М. (2010). Еталонні джерела оптичного випромінювання на основі явища електричного пробоя у р-п-структурах на карбіді кремнію 05.27.01 – Твердотільна електроніка.
- [23] Савченко, Д. В. (2019). Електронні та магнітні властивості парамагнітних центрів у вуглецевмістких матеріалах 01.04.07 Фізика твердого тіла.
- [24] Голятькіна, М. О. (2025). Електрофізичні та магнітні властивості домішок і дефектів у вуглецевмістких аморфних та монокристалічних матеріалах 104 «Фізика та астрономія» 10 Природничі науки.

Соколова К. Ю.

ДУ «Інститут досліджень науково-технічного потенціалу та історії

науки ім. Г. М. Доброва НАН України», м. Київ, Україна

email: ksokolova88@gmail.com

**ТРАНСФОРМАЦІЯ ІННОВАЦІЙНОГО ЗАКОНОДАВСТВА
УКРАЇНИ: ПРАВОВІ ВИКЛИКИ ТА ЕКОНОМІЧНІ ПЕРСПЕКТИВИ
РЕГУЛЮВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ**

Анотація. У статті досліджується роль цифрового моніторингу нормативно-правової бази як ключового інструменту стимулювання інновацій в умовах повоєнної відбудови економіки України. Проаналізовано поточний стан цифровізації державного управління та виявлено правові прогалини, що стримують впровадження новітніх технологій. Обґрунтовано необхідність адаптації законодавства до викликів штучного інтелекту з метою підвищення конкурентоспроможності країни.

Ключові слова: цифровий моніторинг, нормативно-правова база, інновації, відбудова економіки, цифровізація, штучний інтелект, Україна.

Abstract. The article explores the role of digital monitoring of the regulatory framework as a key tool for stimulating innovation in the context of Ukraine's post-war economic reconstruction. The current state of digitalization in public administration is analyzed, and legal gaps hindering the implementation of the latest technologies are identified. The necessity of adapting legislation to the challenges of artificial intelligence is substantiated to enhance the country's competitiveness.

Keywords: digital monitoring, regulatory framework, innovations, economic reconstruction, digitalization, artificial intelligence, Ukraine.

Стрімкий розвиток цифрових технологій та штучного інтелекту (ШІ) трансформує економіку, освіту та державне управління. Ця трансформація

створює можливості для зростання, але водночас породжує нові правові та етичні виклики. Україна, прагнучи інтегруватися до глобального інноваційного простору, стикається з необхідністю оновлення законодавства для ефективного регулювання інновацій. Актуальними є питання правового визначення ШІ, захисту інтелектуальної власності, кібербезпеки та етичних аспектів, які безпосередньо впливають на інвестиційний клімат країни.

Метою роботи є аналіз стану інноваційного законодавства України щодо його адаптації до викликів цифровізації та розвитку ШІ з урахуванням економічних наслідків, а також обґрунтування пропозицій щодо його вдосконалення.

Наукова новизна та теоретична значущість полягають у виявленні та систематизації правових колізій, що виникають на перетині українського інноваційного законодавства та розвитку ШІ. Робота пропонує міждисциплінарний погляд на взаємодію права та економіки в цифрову епоху.

Дослідження базується на аналізі нормативно-правових актів України та міжнародного досвіду (ЄС, США, Китаю) у хронологічних межах 2000–2024 років. Використовувалися методи: системного аналізу для виявлення прогалин; порівняльно-правового аналізу для оцінки міжнародних моделей регулювання ШІ; прогностичний і формально-юридичний методи.

Інноваційне законодавство України, закладене Законом «Про інноваційну діяльність» (2002) [5], наразі має суттєві проблеми реалізації. Відсутність чіткої національної стратегії щодо ШІ призводить до фрагментації зусиль, а низький рівень фінансування R&D порівняно з країнами ЄС гальмує комерціалізацію розробок [4]. Чинні норми не враховують специфіку алгоритмів ШІ та обробки великих даних, що створює правову невизначеність для розробників та інвесторів [1].

Автоматизовані рішення порушують питання відповідальності та захисту прав людини. Міжнародний досвід демонструє різні підходи: жорстке регулювання в ЄС (AI Act), гнучкий підхід у США та активний державний

контроль у Китаї. Україна вже розробляє власні стратегії, зокрема Концепцію розвитку ШІ [7] та «Білу книгу» [2]. Важливим кроком стали зміни 2023 року до Закону «Про авторські та суміжні права» щодо об'єктів, згенерованих комп'ютерними програмами (запровадження права *sui generis* строком на 25 років) [6]. Проте коротший термін захисту порівняно з класичним авторським правом викликає дискусії щодо його впливу на довгострокові інвестиції.

Для стимулювання економічного зростання необхідно: 1) ухвалити окремий Закон про ШІ для забезпечення правової передбачуваності; 2) інтегрувати етичні принципи (прозорість алгоритмів, запобігання дискримінації) у національне право; 3) удосконалити режим захисту інтелектуальної власності та впровадити цифрові інструменти моніторингу законодавства.

Чинна нормативна база України не повною мірою відповідає сучасним технологічним реаліям, що призводить до втрати конкурентних переваг. Комплексна трансформація законодавства та його гармонізація з європейським правом стануть чинниками залучення інвестицій, розвитку високотехнологічних галузей та захисту прав громадян, що є запорукою сталого економічного розвитку суспільства.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Курус, Т. (2021). Нормативно-правове регулювання електронного урядування в Україні. Вісник Прикарпатського університету. Серія: Політологія, 19, 73–92.
- [2] Міністерство цифрової трансформації України. (2024a). Біла книга зі штучного інтелекту.
- [3] Міністерство цифрової трансформації України. (2024b). Регулювання штучного інтелекту: рекомендації для держави та суспільства.
- [4] Національний інститут стратегічних досліджень. (2023, 14 лютого). Огляд цифрової трансформації економіки України в умовах війни: аналітична записка.
- [5] Україна. Верховна Рада. (2002, 4 липня). Закон України «Про інноваційну діяльність» № 40-IV.
- [6] Україна. Верховна Рада. (2022, 1 грудня). Закон України «Про авторське право і суміжні права» № 2811-IX.
- [7] Україна. Кабінет Міністрів. (2020, 2 грудня). Про схвалення Концепції розвитку штучного інтелекту в Україні: розпорядження № 1556-р.

Солдатова Г. В.

*ДУ «Інститут досліджень науково-технічного потенціалу та історії
науки ім. Г. М. Доброва НАН України», м. Київ, Україна
email: annasold70@gmail.com*

ІНСТИТУТ ФІЗІОЛОГІЇ РОСЛИН І ГЕНЕТИКИ НАН УКРАЇНИ: ДО 80-РІЧЧЯ СТВОРЕННЯ

Анотація. Доповідь присвячена 80-річчю Інституту фізіології рослин і генетики НАН України – провідній науково-дослідній установі, яка виконує широкий спектр досліджень у галузі фізіології, генетики та селекції рослин. Висвітлюється внесок установи у забезпечення продовольчої безпеки держави та збереження позицій України як одного з гарантів продовольчої безпеки світу.

Ключові слова: Інститут фізіології рослин і генетики, фізіологія рослин, історія науки і техніки.

Abstract. The article is dedicated to the 80th anniversary of the Institute of Plant Physiology and Genetics of the National Academy of Sciences of Ukraine – a leading research institution that conducts a wide range of studies in plant physiology, genetics, and breeding. It highlights the institution's contribution to ensuring national food security and sustaining Ukraine's position as one of the guarantors of global food security.

Keywords: Institute of Plant Physiology and Genetics, plant physiology, history of science and technology.

Інститут фізіології рослин і генетики НАН України – провідна науково-дослідна установа, у якій науковці здійснюють широкий спектр важливих фундаментальних і прикладних досліджень у галузі фізіології, генетики та селекції рослин.

Інститут фізіології рослин і генетики (ІФРГ) НАН України було засновано 15 травня 1946 року на базі відділу фізіології живлення рослин і агрохімії Інституту ботаніки АН УРСР відповідно до постанови № 692 від 20 жовтня 1945 року Ради народних комісарів УРСР і Центрального комітету КП(б)У, яка надала дозвіл Президії АН УРСР організувати Інститут фізіології рослин і агрохімії АН УРСР (перша назва установи).

Першим директором Інституту став відомий учений, агрохімік і фізіолог рослин, академік АН УРСР, заслужений діяч науки О. І. Душечкін. Розбудову Інституту почали зі створення у 1946 році польової лабораторії (нині – Дослідне сільськогосподарське виробництво), навколо якої розміщувалися дослідні поля. Відділи Інституту територіально розташовувалися у різних приміщеннях, а сучасний корпус Інституту було побудовано лише у 1962 році. У 1953 році директором Інституту було обрано видатного фізіолога рослин, агрохіміка та ґрунтознавця, заслуженого діяча науки УРСР, академіка АН УРСР і ВАСГНІЛ П. А. Власюка, який керував ним до 1973 року. За цей період змінювалися структура Інституту та його відомча підпорядкованість. У 1956 році Інститут увійшов до складу новоствореної Української академії сільськогосподарських наук, президентом якої став П. А. Власюк, і отримав назву Український науково-дослідний інститут фізіології рослин. У травні 1962 року Інститут повернули в систему Академії наук УРСР, і він отримав назву Інститут фізіології рослин.

У 1973–1974 роках Інститут очолював відомий фізіолог рослин, член-кореспондент АН УРСР А. В. Манорик, у 1974–1985 роках – видатний фізіолог рослин і радіобіолог, доктор біологічних наук, академік НАН України Д. М. Гродзинський.

У 1986 році директором Інституту фізіології рослин АН УРСР було обрано генетика і селекціонера, Героя України, академіка НАН України В. В. Моргуна (1938–2025). Після реорганізації шляхом приєднання генетичних

відділів Інституту молекулярної біології та генетики установа отримала назву «Інститут фізіології рослин і генетики НАН України» [1].

Інститут входить до складу Відділення загальної біології НАН України. Нині (у 2026 році) в його структурі налічується 6 наукових підрозділів (генетичного поліпшення рослин, до складу якого входять дві лабораторії – якості зерна та оригінального насінництва; генетичної інженерії; симбіотичної азотфіксації; фізіології дії гербіцидів; фізіології живлення рослин; фізіології та екології фотосинтезу), п'ять науково-технічних і науково-організаційних підрозділів (відділ маркетингу, науково-технічної інформації та бібліотека; служба охорони праці; служба цивільного захисту; редакція наукового журналу «Фізіологія рослин і генетика»; метрологічна служба) та п'ять допоміжних підрозділів. Установі підпорядковано Дослідне сільськогосподарське виробництво.

В інфраструктурі Інституту є два наукових об'єкти, що становлять національне надбання: «Колекція цінних зразків озимої пшениці та кукурудзи – сорти, популяції, унікальні мутантні та рекомбінантні лінії, інбредні лінії Інституту фізіології рослин і генетики НАН України», «Колекція штамів симбіотичних та асоціативних азотфіксувальних мікроорганізмів Інституту фізіології рослин і генетики НАН України» [2].

З 1969 року Інститут видає науково-теоретичний журнал «Физиология и биохимия культурных растений», який з липня 2013 року має назву «Фізіологія рослин і генетика». Вже у 2016 році Інститут став співзасновником науково-практичного журналу «Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин».

Інститут координує роботу Українського товариства фізіологів рослин, є співорганізатором проведення його з'їздів.

У різні роки в Інституті працювали видатні вчені, зокрема: академік АН УРСР О. І. Душечкін, академік АН УРСР і ВАСГНІЛ П. А. Власюк, академік АН УРСР С. М. Гершензон, академік АН УРСР А. М. Гродзинський, академік НАН

України Д. М. Гродзинський, академік НААН України І. М. Гудков, член-кореспондент АН УРСР В. П. Зосимович, член-кореспондент АН УРСР А. В. Манорик, член-кореспондент АН УРСР А. С. Оканенко, член-кореспондент НАН України О. П. Дмитрієв та багато інших відомих науковців.

В Інституті започатковано й успішно функціонують наукові школи з експериментального мутагенезу та теоретичних основ селекції рослин (засновник і керівник – академік НАН України В. В. Моргун), фізіології мінерального живлення рослин (засновник – академік АН УРСР і ВАСГНІЛ П. А. Власюк, керівник – член-кореспондент НАН України В. В. Швартау), фізіології та екології фотосинтезу (засновник – член-кореспондент АН УРСР А. С. Оканенко, керівник – член-кореспондент НАН України О. О. Стасик), фізіології симбіотичної азотфіксації (засновник – член-кореспондент АН УРСР А. В. Манорик, керівник – член-кореспондент НАН України С. Я. Коць) [3].

Інститут є флагманом Національної академії наук у сфері розроблення проблем аграрного сектору. Вчені Інституту першими, й поки єдиними в Україні, а щодо деяких сортів – і першими у світі, розробили оригінальні наукові методи селекції вітчизняних конкурентоздатних сортів злаків із високим потенціалом продуктивності, який сягає 100 – 140 ц/га.

Під час російської агресії було проведено значну роботу з трансферу сортів-інновацій у виробництво. Так, вироблено понад 2 тисячі тонн високоякісного насіння, яким забезпечено понад 225 насінневих господарств України. У надскладних умовах воєнного стану Інститут виконав науковий супровід вирощування оригінальних сортів пшениці озимої власної селекції. Валовий збір зерна цих сортів повністю задовольняє потребу України в продовольчій пшениці та є вагомим внеском у формування продовольчої безпеки держави. Розробки фахівців Інституту щодо вирішення проблем продовольчої безпеки відзначені Державними преміями України в галузі науки і техніки [4].

Наказом Міністерства освіти та науки України № 267 від 17.02.2025 року Інститут фізіології рослин і генетики НАН України визначено критично важливим для функціонування економіки та забезпечення життєдіяльності населення в особливий період.

Результати роботи колективу Інституту є основою аграрного виробництва в Україні під час війни та в період післявоєнної відбудови, а також мають виняткове значення для забезпечення продовольчої безпеки держави та збереження позицій України як одного з гарантів продовольчої безпеки світу.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Коць, С. Я. (2023). Творець хлібного достатку України – вагомої складової національної безпеки держави. До 85-річчя академіка НАН України В. В. Моргуна. *Вісник НАН України*, 3, 77–92.
- [2] Моргун, В. В., & Коць, С. Я. (2021). Внесок науковців Інституту фізіології рослин і генетики НАН України в розвиток біологічної науки та економіки країни. *Фізіологія рослин і генетика*, 53(2), 95–111.
- [3] Моргун, В. В. (2016). Інституту фізіології рослин і генетики Національної академії наук України – 70 років. *Физиология растений и генетика*, 48(3), 187–195.
- [4] Швартау, В., & Тарасюк, М. (2024). Внесок Інституту фізіології рослин і генетики НАН України у забезпечення продовольчої безпеки держави. *Фізіологія рослин і генетика*, 56(5), 458–459.

Хоменко Є.В.

Національна наукова сільськогосподарська бібліотека НААН,

Київ, Україна

email: evvalhom413@gmail.com

МАШИНОБУДІВНИЙ ЗАВОД ГРЕТЕРА І КРИВАНЕКА: ЕТАПИ СПЕЦІАЛІЗАЦІЇ (1882–1908 рр.)

Анотація. У статті розглянуто генезу спеціалізації київського машинобудівного і котельного заводу Гретера і Криванека в імперський період його існування – з моменту утворення і до остаточного визначення профілю підприємства в досліджуваний період. Встановлено три етапи цього процесу та з'ясовано основні фактори впливу на їх формування, а також чинники, що зумовили послідовність відповідних досліджуваних подій.

Ключові слова: машинобудівний завод, металооброблювальне підприємство, Київ, Гретер і Криванек, виробництво.

Abstract. The publication examines the genesis of the specialization of the Kyiv machine-building and boiler plant of Greter and Krivanek during the imperial period of its existence from its establishment to the final determination of the enterprise's profile in the period under study. Three stages of this process have been established, and the factors influencing their formation have been determined, as well as the reasons that determined the sequence of the relevant events being studied.

Keywords: machine-building plant, metalworking enterprise, Kyiv, Greter and Krivanek, production.

Наприкінці 1881 року на Шулявській околиці Києва підприємцем, німцем швейцарського походження Я. Гретером з метою організації металооброблювального підприємства було придбано в довічне використання

ділянку площею близько 4,4 га [1]. Очевидно, що придбання на таких умовах ділянки безпосередньо поблизу великого міста було доволі коштовною фінансовою операцією, що позбавило Я. Гретера можливості втілювати проєкт «Механічний завод Гретера» (себто як власного приватного підприємства) і змусило його до ініціювання створення товариства на паях (на кшталт сучасного товариства з обмеженою відповідальністю). У якості пайщиків Я. Гретером були залучені: В. Кукш, Е. Літке, Х. Гедеккер, І. Отт та ін., тож майбутнє підприємство отримало назву «Київський ливарно-механічний завод» товариства Кукша, Літке, Гретера і К^о (тобто Гретер не був головним пайщиком) [2, С. 338]. Директором заводу пайщики призначили підданого Великого герцогства Гессен Ф. Мозера, котрий вибудував виробничу політику підприємства, орієнтовану на задоволення нагальних потреб споживачів у металевих виробах, що, швидше за все, стало відображенням відповідних поглядів ключових пайщиків або їх переважної більшості, але не самого Я. Гретера, про що свідчать подальші події в історії розвитку заводу. Однак на момент утворення закладу його виробнича політика була саме такою, що й визначило доволі різношерсту первинну номенклатуру підприємства – від металевих ліжок до різних видів монтажних кріплень, хоча вже у 1884 році у виробничій програмі зазначено рафінадні форми та найпростіша арматура для цукроварного обладнання [3, С. 8].

Формуванню вказаної виробничої політики підприємства сприяло те, що наприкінці 1870-х років на українських теренах Російської імперії розпочалося бурхливе зростання попиту на металовироби, зумовлене як різким збільшенням обсягів металургійного виробництва, так і розвитком залізничного сполучення, завдяки чому спростилися логістика металургійної продукції. Тож доступність насамперед сталей та чавунів набула тенденції прогресуючого спрощення, що сприяло розвитку сфер їх застосування, а через це – й розвитку металооброблювальної сфери безпосередньо на місцях застосування відповідної продукції. Однак виробнича програма, що ґрунтувалася на кустарному способі

організації виробництва, побудованому виходячи з випадковості отриманих замовлень, для промислових підприємств виявилася вигідною лише на піку дефіциту металовиробів. Із: 1) зростанням на Київщині до середини 1880-х років кількості металооброблювальних закладів (у тому числі кустарних); 2) збільшенням обсягів виробництва на утворених протягом попереднього десятиліття машинобудівних підприємствах; 3) кризою одного з основних споживачів металовиробів у Київській губернії – бурякоцукрового виробництва, указаний дефіцит почав скорочуватися набагато більшими темпами, ніж він свого часу формувався [4, С. 167]. За таких умов доходність Київського ливарно-механічного заводу товариства Кукша, Літке, Гретера і К^о була втрачена, і відновити її за існуючої у Товаристві виробничої політики було неможливо, що викликало бажання більшості пайщиків згорнути діяльність підприємства.

Між тим, сам Я. Гретер не збирався припиняти розвиток заводу, правильно оцінивши тимчасовість згаданої кризи в бурякоцукровій промисловості і ще більш далекоглядно усвідомивши об'єктивну необхідність зміни виробничої політики підприємства. Таким чином, товариство на паях «Київський ливарно-механічний завод товариства Кукша, Літке, Гретера і К^о» шляхом викупу та перерозподілу паїв упродовж 1888–1889 років було реорганізовано в акціонерне товариство (АТ), а формувати та втілювати нову виробничу політику на належному йому підприємстві був запрошений як співвласник випускник Празької політехніки Й. Криванек. Останній, будучи талановитим організатором виробництва, відразу висунув умови щодо припинення практики використання підприємством кустарних методів формування виробничої програми та переходу на планові виробничі завдання. У свою чергу, означений перехід потребував загальної визначеності щодо основної номенклатури продукції заводу, яку Я. Гретером та Й. Криванеком було сформовано виходячи з того, що, попри поточну кризу, на найближчу перспективу бурякоцукрова промисловість у регіоні залишалася основним споживачем металовиробів, а звідси – ті

спеціалізовані на випуску відповідного обладнання заводи, котрим вдасться «пережити» цю кризу, після її завершення отримають найбільший зиск від своєї діяльності. Проте на кінець 1880-х років Київський ливарно-механічний завод товариства Кукша, Літке, Гретера і К^о не набув такої спеціалізації, тому для ліквідації цієї прогалини на підприємство був запрошений видатний спеціаліст у галузі котлобудування та проектування технологічного оснащення цукрових заводів, також випускник Празької політехніки Ф. Вітачек. Тож оновлена структура отримала назву АТ Київського машинобудівного і котельного заводу «Гретер і Криванек», але це не означало, що випуск металовиробів широкого вжитку та, наприклад, всілякого роду машиноремонтні роботи припинили своє здійснення. Просто дані види діяльності у виробничій програмі заводу змінили свій статус з основних на додаткові, дозволяючи завдяки невеликій (порівняно з випуском запланованої основної продукції) тривалості виробничих циклів (а відповідно – більш швидких надходжень розрахунків за виконані роботи) підтримувати баланс обігових коштів підприємства на потрібному рівні.

Отже, у 1888 році етап широкої спеціалізації досліджуваного заводу – «механічна обробка металів» – практично завершився, і підприємство, скориставшись зумовленою кризою цукровиробництва паузою в замовленнях на відповідне обладнання, розпочало перехід до більш вузького профілю основної діяльності – «виробництво устаткування цукрових заводів». Проте для ефективного здійснення означеного переходу були потрібні значні кошти на розширення основних фондів, яких заводу Гретера і Криванека бракувало, і яких було неможливо залучити у раніше застосовуваний спосіб організації його діяльності. Утім, у цей же час у Києві виникла потреба в терміновому виготовленні великих обсягів залізничного оснащення: як для рухомого складу, так і для шляхового облаштування, що було зумовлено запланованим на 1890 рік початком будівництва залізниці Київ–Вороніж (АТ Московсько-Курсько-Воронізької залізниці) та недостатністю коштів у АТ Південно-Західних

залізниць для підтримки відповідної ремонтно-виробничої інфраструктури (що, до речі, стало однією з причин її націоналізації у 1895 році). Я. Гретеру вдалося отримати від указаних акціонерних товариств низку тривалих замовлень на виробництво будівельних металоконструкцій та комплектів обладнання рухомого складу залізниць, завдяки чому завод набув фінансових ресурсів на проведення в 1890 році модернізації та розбудови основних фондів [1]. Однак при цьому відповідна продукція визначила основну спеціалізацію підприємства, залишаючи виробництво обладнання для цукрових заводів тимчасово додатковим видом промислової діяльності, але виготовлення універсального котельного устаткування (хоч і переважно для потреб залізничників) також набуло подальшого розвитку на заводі Гретера і Криванека.

Зміцнивши завдяки залізничним замовленням свій фінансовий стан, АТ Київського машинобудівного і котельного заводу «Гретер і Криванек» у 1903 році розпочало чергове розширення закладу та оновлення активної частки основних фондів, остаточно визначившись з основною спеціалізацією підприємства [1]. З 1908 року нею стало виготовлення комплектного обладнання для цукрових заводів, процеси будівництва та модернізації яких після завершення на початку ХХ століття кризи бурякоцукрового виробництва відновилися [5, С. 282]. Тож відповідно до основної спеціалізації заводу виготовлюване на ньому паросилове оснащення та підйомно-транспортні механізми поступово також набуло тенденції конструктивних змін – від універсальних до спеціалізованих, здатних бути вмонтованими як у нові, так і у вже експлуатовані технологічні лінії бурякоцукрового виробництва. Разом з тим на заводі Гретера і Криванека не було припинено виробництво будівельних металоконструкцій, виготовлення яких хоч на певний період і стало лише спорадично додатковим видом промислової діяльності, але в 1912 році дало можливість отримати урядове замовлення на виробництво комплектного оснащення низки осередкових залізничних зернових елеваторів [1].

Отже, можна стверджувати, що процес спеціалізації машинобудівного заводу Гретера і Криванека проходив у три етапи, перший з яких – у 1882–1888 роках, по суті, являв собою перехід від виробництва окремих деталей– до механізмів у цілому, без акценту на призначенні цих механізмів, а виходячи лише зі складності їх проектування та виготовлення. Другий етап– з 1889 року до 1903 року визначив види машин і агрегатів подальшої спеціалізації підприємства (котельне обладнання, пресове, підйомно-транспортне та інше устаткування, що дозволяло їх комплексне використання), а третій етап – упродовж 1904–1908 років остаточно закріпив у виробничій програмі заводу основний типаж їх призначення – технологічні лінії бурякоцукрового виробництва. Утім, накопичені під час попередніх етапів спеціалізації досвід і виробничі можливості виготовлення продукції іншого профільного призначення на заводі Гретера і Криванека не були проігноровані і використовувалися для підтримання стабільного зростання фінансових можливостей підприємства.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Слободян Л. Р., Коваленко Л. А., Перелигіна Л. С., Янковий В. В. *Найстарішому київському машинобудівному заводу – 125 років.*
- [2] Орлов П. А. *Указатель фабрик и заводов Европейской России и царства Польского: материалы для фабрично-заводской статистики.* С.-Петербург: Типографія Р. Голика, 1887. 832 с.
- [3] Лебедь Г. Н., Скляренко Е. М., Соловьев Д. Г. *Люди и годы завода «Большевик».* Київ: Техніка, 1982. 144 с.
- [4] Москалюк М. М. *Розвиток обробної промисловості українських губерній Російської імперії в другій половині XIX – на початку XX століття.* Тернопіль: ТНПУ, 2012. 300 с.
- [5] *Список фабрик и заводов России за 1910 год: по офиц. данным фабричного, податного и горного надзора / Министерство торговли и промышленности.* Москва–С.-Петербург–Варшава: Торговый дом Л. і Е. Метцль і К^о, 1910. СССІV л. 1090 с.

Шептак С.С., Хромова А.І.

Навчально-науковий Київський інститут залізничного транспорту

Національного транспортного університету, м. Київ, Україна

email: sheptak_ss@gsuite.duit.edu.ua.

ДОСЛІДЖЕННЯ УКРАЇНСЬКИХ БІОЛОГІВ ТА ХІМІКІВ У СФЕРІ ЛІКУВАННЯ ІНФЕКЦІЙНИХ ХВОРОБ У РОКИ ДРУГОЇ СВІТОВОЇ ВІЙНИ

Анотація. У статті розглянуто внесок українських біологів і хіміків у розвиток методів лікування та профілактики інфекційних захворювань у роки Другої світової війни. Висвітлено наукову діяльність Олександра Богомольця, Миколи Стражеска та Олександра Палладіна, які зробили вагомий внесок у розвиток імунології, терапії та біохімії. Проаналізовано їхні дослідження у сфері підвищення імунітету, лікування сепсису, загоєння ран і забезпечення раціонального харчування.

Ключові слова: інфекційні захворювання, військова медицина, біохімія, вчені, профілактика, лікування.

Abstract. The article examines the contribution of Ukrainian biologists and chemists to the development of methods for treating and preventing infectious diseases during World War II. The scientific activities of Oleksandr Bogomolets, Mykola Strazhesko, and Oleksandr Palladin, who made a significant contribution to the development of immunology, therapy, and biochemistry, are highlighted. Their research in the field of enhancing immunity, treating sepsis, healing wounds, and ensuring proper nutrition is analyzed.

Keywords: infectious diseases, military medicine, biochemistry, scientists, prevention, treatment.

Друга світова війна стала періодом надзвичайних викликів для медичної науки, коли питання боротьби з інфекційними хворобами набули стратегічного значення. Українські вчені-природознавці, зокрема біологи та хіміки, зробили вагомий внесок у розробку засобів профілактики та лікування, що забезпечували виживання військових і цивільного населення [1].

Одним із провідних діячів був Олександр Богомолець – президент АН УРСР, який розробив концепцію тканинних препаратів («біологічних стимуляторів»), а також розробив і впровадив у практику антиретікулярну цитотоксичну сироватку (АЦС) як засіб для лікування різних захворювань, де потрібна стимуляція захисних сил організму і репаративних процесів. Його методи застосовувалися для прискорення регенерації тканин та підвищення опірності організму в умовах фронту. Він опублікував понад 150 наукових праць, які стали основою для розвитку імунології та військової терапії. Його дослідження стали теоретичною і практичною базою для розвитку військової терапії, імунології та регенеративної медицини, а також сприяли формуванню сучасного розуміння ролі імунної системи в підтриманні здоров'я і відновленні організму.

Важливу роль відіграв Микола Стражеско, видатний терапевт, який займався проблемами інфекційних захворювань у шпиталях. У фронтових умовах поширювалися такі хвороби, як тиф, дизентерія, сепсис, що часто призводили до високої смертності. Стражеско досліджував механізми розвитку цих захворювань, особливості їх перебігу в ослабленому організмі та шукав ефективні методи лікування. Особливу увагу він приділяв проблемі сепсису. Учений аналізував причини генералізації інфекції, роль імунної системи та стану організму у розвитку септичних процесів. Важливим напрямом його діяльності було вивчення процесів загоєння ран. Стражеско наголошував на необхідності комплексного підходу до лікування: поєднання хірургічної обробки ран,

дотримання санітарно-гігієнічних норм і підтримки загального стану організму пацієнта [2].

Олександр Палладін, академік і біохімік, досліджував харчування та обмін речовин. Його роботи підкреслювали значення білків та вітамінів для підтримання працездатності військових, що мало безпосереднє значення для профілактики авітамінозів та виснаження [3].

Суттєвий внесок зробили й українські хіміки, які працювали над створенням антисептичних засобів та дезінфікувальних препаратів, доступних у польових умовах. Зокрема, розробки у сфері хімічної дезінфекції дозволили ефективно боротися з поширенням епідемій серед військових частин.

Не менш важливим був внесок ботаніків та біологів, які систематизували знання про лікарські рослини. Федір Ганжев досліджував рослини з антисептичними та протизапальними властивостями, що використовувалися як замітники дефіцитних медикаментів [4].

Отже, діяльність українських біологів та хіміків у роки Другої світової війни поєднала фундаментальні дослідження з практичними потребами медицини. Їхні напрацювання у сфері імунології, біохімії та фармакології стали важливим внеском у розвиток військової медицини та забезпечили ефективну боротьбу з інфекційними хворобами в умовах війни.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Бездробний, Ю., Козирський, В., & Шендеровський, В. (2012). Видатні українські вчені у світовій науці: Стислий довідник. Київ: ТОВ «Праймдрук».
- [2] Бойчак, М. П. (2022). Українські вчені – головні інфекціоністи й епідеміологи центрального апарату медичної служби, фронтів (флотів), армій і військових округів: уроки Другої світової війни. Медицина невідкладних станів, 18(70).
- [3] Бойчак, М. П. (2020). Нариси з історії української військової терапії. Книга I. Українська медицина у період історії нового часу. Київ: Видавничий дім «АртЕк».
- [4] Шендеровський, В. (2019). Вчені України у світовій науці. Київ: Простір.

Юрченко В.А., Хіст В.В.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна*

email: v.yurchenko-ds51@iit.kpi.ua

ІСТОРИЧНИЙ РОЗВИТОК РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ БОРОТЬБИ: ВІД ПЕРШИХ ПЕРЕШКОД ДО СУЧАСНИХ СИСТЕМ РЕБ

Анотація. У цій статті розглядається історія становлення технології РЕБ та сучасні методи електронної війни. Окремо розглянуто фізичні основи цієї технології.

Ключові слова: РЕБ, радар, співвідношення «завада/сигнал», радіосигнал.

Abstract. This article examines the history of the development of electronic warfare technology and modern methods of electronic warfare. The physical foundations of this technology are also considered.

Keywords: EW, radar, jamming-to-signal ratio, radio signal.

Радіоелектронна боротьба (РЕБ) є важливою складовою сучасних технологічних систем, пов'язаних із передачею та обробкою інформації. Вона базується на використанні електромагнітного спектра для впливу на системи зв'язку, навігації та управління. Розвиток РЕБ нерозривно пов'язаний із розвитком радіотехніки та електроніки, що зумовлює необхідність розгляду як історичних аспектів, так і фізичних принципів її функціонування.

Метою роботи є аналіз історичного розвитку радіоелектронної боротьби, її фізичних основ та сучасних методів застосування.

Для розуміння цієї технології необхідно розглянути деякі її фізичні основи, а саме: що таке радіосигнал, радіоелектронна протидія та співвідношення

«завада/сигнал». Радіосигнал – це електромагнітна хвиля, що використовується для передачі даних або комунікації бездротовим шляхом [2].

Для перешкоджання використанню противником радіоелектронних засобів застосовується радіоелектронна протидія. Вона полягає у використанні електромагнітного спектра шляхом створення завад для електронних засобів противника чи введення його в оману [1].

Важливим параметром є співвідношення «завада/сигнал» (J/S), яке визначає ефективність придушення. Чим більшим є рівень завади порівняно із сигналом, тим складніше приймачу відновити інформацію.

Співвідношення завада/сигнал (J/S ratio) – це відношення ефективної потужності завади до потужності корисного сигналу, який приймач реєструє. Формула для знаходження J/S для одностороннього зв'язку:

$$J/S(\text{в дБ})=J - S=P_J - P_T + G_J - G_T - 20 \log(D_J) + 20 \log(D_S) + G_{RJ} - G_R,$$

де P_J = потужність випромінювання глушника (в дБм) у смузі пропускання приймача; P_T = потужність передавача (в дБм); G_J = підсилення антени глушника (в дБ); G_T = підсилення передавальної антени (в дБ); D_J = відстань від глушника до приймача (у км); D_S = відстань від передавача до приймача (у км); G_{RJ} = підсилення антени приймача в напрямку глушника (в дБ); G_R = підсилення приймальної антени (в дБ). Рівень J/S, необхідний для ефективного придушення, варіюється від 0 до 40 дБ.[3]

Історію радіоелектронної боротьби можна умовно поділити на чотири етапи.

Перший етап – зародження РЕБ (1904–1939 роки) [5]. Вважається, що вперше радіоелектронну протидію застосували під час російсько-японської війни 1904–1905 років, коли вдалося порушити комунікацію між японськими кораблями-коригувальниками та крейсерами, що обстрілювали місто Порт-Артур. Під час Першої світової війни з'явилися радіоперехоплення, радіодезінформація, радіопеленгація, а в 1935 році у Британії створили радар.

Другий етап охоплює період від Другої світової війни до початку війни у В'єтнамі (1939–1964 роки) [5]. У цей час були сформовані основні принципи електронної війни. Перший полягає в тому, що, якщо в цьому немає потреби, не слід передавати сигнали, оскільки противник завжди шукає їх на полі бою. Другий – будь-яке знання про сигнал противника є критично важливим. Третій – під час встановлення глушіння найкращою практикою є введення противника в оману без викликання підозр щодо самого факту глушіння [4]. Також з'явилися засоби виявлення опромінення радаром та апаратура для протидії цьому явищу.

Третій етап охоплює період з 1964 до 1991 року [5]. Під час війни у В'єтнамі було розроблено низку нових технологій, таких як контейнерні станції завад, що встановлювалися на літаках і не давали змоги ЗРК наводитися на них. Було розроблено також безпілотні літальні апарати РЕБ, системи хибних теплових цілей. РЕБ перетворився на самостійний вид оперативного забезпечення.

Четвертий етап розпочався з 1991 року і триває дотепер. У війні в Перській затоці 1991 року вперше у практиці воєнних дій такого масштабу США було здійснено інтеграцію систем розвідки, управління силами і зброєю багатонаціональних сил усіх рівнів [5].

Сучасні підходи до РЕБ наразі розвиваються у трьох напрямках: придушення, обман, маскування.

Придушення – це генерація високопотужних сигналів для створення завад у зв'язку противника. Прикладом технології, що використовує цей підхід, є український комплекс РЕБ «Анклав», який створює перешкоди для каналів управління дронами та систем супутникового зв'язку GPS і ГЛОНАСС.

Метою обману є дезінформація противника за допомогою електромагнітних сигналів. Існує декілька способів це зробити. Однією з тактик є масований запуск хибних цілей, що провокує витрати боєприпасів та дозволяє виявити активні позиції ППО [6]. Це, зокрема, реалізує українська система РЕБ

«Канон». Також можна створювати багато фальшивих сигналів або перехоплювати справжні сигнали противника з метою внесення в них дезінформації.

Важливим є також розвиток методів електромагнітного маскування, що спрямовані на зменшення помітності об'єктів у широкому спектрі частот [6]. Використання спеціальних покриттів, що поглинають сигнал, або застосування динамічного управління випромінюванням, яке мінімізує частотний слід, ускладнюють виявлення цілей.

Радіоелектронна боротьба пройшла значний шлях розвитку – від простих методів створення перешкод до складних інтегрованих систем. Її ефективність визначається фізичними принципами поширення електромагнітних хвиль та співвідношенням «сигнал/завада».

Сучасні підходи, зокрема придушення, обман та маскування, демонструють високий рівень розвитку цієї галузі та її важливість у сучасних технологічних системах.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Командування Військ зв'язку та кібербезпеки Збройних Сил України, & Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут. (2024). *Довідник військового зв'язківця. Засоби радіоелектронної боротьби та розвідки, які використовуються Російською Федерацією.*
- [2] Star Telecom. (n.d.). *Radio signal.*
- [3] Adamy, D. (2001). *EW 101: A first course in electronic warfare.* Artech House.
- [4] Cheng, C.-H., & Tsui, J. (2021). *Introduction to electronic warfare.* River Publishers.
- [5] Шолохов, С. М., Самборський, І. І., Вакуленко, О. В., & Ніколаєнко, Б. А. (2021). *Завадозахист радіоелектронних засобів. Частина 1: Основи завадозахисту систем зв'язку.*
- [6] Бибики, Р. Т., & Опірський, І. Р. (2025). Електромагнітні загрози в сучасних конфліктах: аналіз характеристик джерел РЕБ та їх вплив на ефективність систем засобів ураження. *Cybersecurity: Education, Science, Technique.*

РОЗДІЛ III

ФІЗИКА ТА СУЧАСНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ СВІТ

Горбачук В.М., Співак Ю. В.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна
email: v.m.horbach@gmail.com; spivak_julia@ukr.net*

ВЛАСТИВОСТІ РОЗВ'ЯЗКІВ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ З ОПЕРАТОРНИМИ КОЕФІЦІЄНТАМИ У БАНАХОВОМУ ПРОСТОРІ НА НЕСКІНЧЕННОМУ ІНТЕРВАЛІ

Анотація. Досліджується представлення та гладкість розв'язків рівняння

$$\left(\frac{d}{dx} - A\right)^n \left(\frac{d}{dx} + A\right)^m y(t) = 0, \quad n, m \in \mathbb{N}_0, \quad t \in \mathfrak{I},$$

та деяких частинних випадків цього рівняння на усій осі та на пів осі та умови продовження розв'язків цих рівнянь до цілих вектор-функцій у банаховому просторі.

Ключові слова: Банаховий простір, необмежений оператор, позитивний оператор, ціла вектор-функція, півгрупа лінійних операторів.

Abstract. The representation and smoothness of the solutions of the equation

$$\left(\frac{d}{dx} - A\right)^n \left(\frac{d}{dx} + A\right)^m y(t) = 0, \quad n, m \in \mathbb{N}_0, \quad t \in \mathfrak{I},$$

are investigated. On the entire axis and on the half axis, the conditions for extending the solutions of these equations to the entire vector functions in a Banach space are investigated.

Keywords: Banach space, unbounded operator, positive operator, entire vector function, semigroup of linear operators.

Розглянемо рівнянь вигляду

$$\left(\frac{d}{dx} - A\right)^n \left(\frac{d}{dx} + A\right)^m y(t) = 0, \quad n, m \in \mathbb{N}_0, \quad t \in \mathfrak{T}, \quad (1)$$

де A – генератор аналітичної C_0 - півгрупи $\{e^{tA}\}_{t \geq 0}$ у банаховому просторі \mathfrak{B} , $\mathfrak{T} = (-\infty, \infty)$ або $(0, \infty)$. Конкретні реалізації простору \mathfrak{B} , оператора A та m, n в (1), містять у собі різноманітні класи рівнянь із частинними похідними у функціональних просторах.

Перш ніж перейти до викладу основних результатів, що стосуються рівняння (1), зупинимось на його частинному випадку

$$\left(\frac{d^2}{dt^2} - A^2\right)y(t) = 0 \quad (2)$$

де $A \in E(\mathfrak{B})$, і покажемо, які труднощі виникають при його дослідженні.

Формально будь-який розв'язок рівняння (2) можна записати у вигляді

$$y(t) = \exp(tA)f_1 + \frac{\sinh(tA)}{A}f_2, \quad (3)$$

де f_1, f_2 - векториз \mathfrak{B} . Щоб надати сенс цьому виразу, потрібно з'ясувати, що саме розуміється під $\exp(tA)$ та $\frac{\sinh(tA)}{A}$ і яку множину F мають перебігати вектори f_1, f_2 , щоб одержати усі його розв'язки на на $(0, \infty)$.

Якщо $A \in L(\mathfrak{B})$, $(L(\mathfrak{B}))$ - множина усіх обмежених операторів в \mathfrak{B}), то $\exp(tA)$ і $\frac{\sinh(tA)}{A}$ можна визначити, наприклад, за допомогою рядів $\sum_{k=0}^{\infty} \frac{t^k A^k}{k!}$ та $\sum_{k=0}^{\infty} \frac{t^{2k+1} A^{2k}}{(2k+1)!}$, які збігаються рівномірно на довільному компактi $K \in \mathbb{C}$. Тоді загальний розв'язок (2) має вигляд (3), з $f_1, f_2 \in \mathfrak{B}$.

Якщо ж A необмежений, то питання побудови цих функцій досі залишається не розв'язаним. Це по-перше. А по-друге, якщо навіть у деяких випадках і можна визначити ці функції, то немає гарантії, що вираз (3) з $f_1, f_2 \in$

\mathfrak{B} описує усі розв'язки рівняння (2). Іноді можна обійтись множиною F , вужчою за \mathfrak{B} , а інколи треба вийти за межі \mathfrak{B} , як, наприклад, у випадку рівняння Лапласа (частинний випадок (2), де A^2 береться самоспряжене розширення мінімального оператора, породженого у просторі $L_2(a, b)$ виразом $-\frac{d^2}{dx^2}$), оскільки не всяка гармонічна у відкритій області функція має граничне значення у звичайному розумінні в L_p .

Основні результати стосуються рівняння (1) на $(-\infty, \infty)$.

Під його розв'язком (класичним) розуміється $n+m$ разів неперервно диференційована на $(-\infty, \infty)$ вектор-функція $y(t): \mathbb{R} \mapsto \mathcal{D}(A^{n+m})$, що задовольняє це рівняння. Описано усі розв'язки рівняння (1) на $(-\infty, \infty)$.

Теорема 1 *Нехай A – генератор обмеженої аналітичної C_0 -півгрупи $\{e^{tA}\}_{t \geq 0}$ в \mathfrak{B} і $0 \in \rho(A)$. Вектор-функція $y(t)$ є розв'язком рівняння (1) на $(-\infty, \infty)$ тоді і тільки тоді, коли її можна подати у вигляді*

$$y(t) = \sum_{k=0}^{n-1} \exp(tA) f_k + \sum_{k=0}^{m-1} \exp(-tA) g_k, \quad f_k, g_k \in \mathfrak{G}_{(1)}(A). \quad (4)$$

($\rho(A)$ - резольвентна множина оператора). Вектори f_k, g_k однозначно визначаються за $y(t)$.

Наслідок *Будь-який розв'язок рівняння (1) на $(-\infty, \infty)$ допускає продовження до цілої вектор-функції зі значеннями в $\mathfrak{G}_{(1)}(A)$.*

Покладемо $s = s(A) = \sup_{\lambda \in \sigma(A)} \operatorname{Re} \lambda$, де $\sigma(A)$ – спектр оператора A .

Оскільки півгрупа $\{e^{tA}\}_{t \geq 0}$ є обмеженою аналітичною і $0 \in \rho(A)$, то $s(A)$ є не що інше, як тип $\omega(A)$ цієї півгрупи і $s < 0$.

Встановлено, що у просторі усіх розв'язків рівняння (1) на $(-\infty, \infty)$ діє аналог принципу Фрагмена-Ліндельофа.

Теорема 2 Нехай $y(t)$ – розв’язок рівняння (1) на $(-\infty, \infty)$. Якщо $\exists \gamma \in (0, -s), \exists C_\gamma > 0 \forall t \in (-\infty, \infty) : \|y(t)\| \leq C_\gamma e^{\gamma|t|} \Rightarrow y(t) \equiv 0$.

Розглянемо однорідне m -гармонічне рівняння

$$\left(\frac{d^2}{dt^2} - B\right)^m y(t) = 0, \quad t \in (-\infty, \infty), \quad (5)$$

де B – позитивний оператор в \mathfrak{B} , тобто $B \in E(\mathfrak{B}), (-\infty, \infty] \in \rho(B)$ і

$$\exists M > 0 \forall \lambda > 0 : \|(B + \lambda I)^{-1}\| \leq \frac{M}{1 + \lambda}.$$

Для позитивного оператора B визначені дробові степені $B^\alpha, 0 < \alpha < 1$, і оператор $A = -B^{\frac{1}{2}}$ генерує обмежену аналітичну C_0 -півгрупу.

Теорема 3 \mathfrak{B} -значна вектор-функція $y(t)$ є розв’язком рівняння (5) на $(-\infty, \infty)$ тоді і тільки тоді, коли вона допускає зображення вигляду

$$y(t) = \sum_{k=0}^{m-1} t^k (\exp(tA)f_k + \exp(-tA)g_k), \quad f_k, g_k \in \mathfrak{G}_{(1)}(A), \quad A = -B^{\frac{1}{2}}.$$

Вектори f_k та $g_k (k = 0, 1, \dots, m-1)$ однозначно визначаються за $y(t)$.

У випадку, коли в рівнянні (5) $m=1$, знайдено умови на початкові дані розв’язку $y(t)$, за яких він допускає продовження до цілої вектор-функції $y(z)$ певного скінченного порядку і скінченного типу відносно цього порядку.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

[1] V.M. Gorbachuk On the structure of solutions of operator – differential equations on the whole real axis / Methods of Functional Analysis and Topology 21 (no.2), (2015) pp. 170-178.

Годис І.А., Хіст В.В.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна*

email: hodysihor@gmail.com

ДО ІСТОРІЇ РОЗВИТКУ ДРОНІВ-ПЕРЕХОПЛЮВАЧІВ ТА ФІЗИЧНІ ПРИНЦИПИ ЇХ ФУНКЦІОНУВАННЯ

Анотація. У роботі досліджено історичний розвиток дронів-перехоплювачів та фізичні принципи їх функціонування. Розглянуто процеси керування та передавання інформації за допомогою електромагнітних хвиль, методи виявлення цілей на основі сенсорів і машинного зору, а також алгоритми наведення із використанням зворотного зв'язку. Визначено роль сучасних технологій автоматизації у підвищенні ефективності систем перехоплення повітряних цілей.

Ключові слова: дрон-перехоплювач, FPV-дрон, керування дроном, сенсори розпізнавання, алгоритм наведення, ПІД-регулятор.

Abstract. The paper examines the historical development of interceptor drones and the physical principles of their operation. The processes of control and information transmission using electromagnetic waves, methods of target detection based on sensors and machine vision, and guidance algorithms employing feedback are considered. The role of modern automation technologies in improving the efficiency of air target interception systems is determined.

Keywords: drone interceptor, FPV drone, drone control, recognition sensors, guidance algorithm, PID controller.

За сучасних умов зростає загроза дешевих і маневрених безпілотних літальних апаратів, які виснажують системи протиповітряної оборони. Одним із

перспективних напрямів протидії є використання дронів-перехоплювачів, які потребують менше часу на виготовлення, є простішими у використанні та економічно доцільнішими. Ефективність таких засобів протидії полягає у застосуванні сучасних засобів зв'язку, сенсорних технологій і алгоритмів керування.

Дрони-перехоплювачі – це різновид безпілотних літальних апаратів, призначених для ураження повітряних цілей, зокрема дронів-розвідників (Supercam, Орлан-10/30) і дронів-камікадзе (Shahed 136, Ланцет), шляхом прямого влучання апарата з бойовою частиною або підриву на достатній відстані, щоб суттєво пошкодити ціль.

Метою роботи є аналіз історичного розвитку дронів-перехоплювачів та дослідження фізичних принципів їх функціонування.

Першим дроном-перехоплювачем став дрон Flower («Птахолов») у жовтні 2022 року, проте через свої скромні характеристики він не набув широкого застосування. У лютому 2024 року бійці підрозділу систем «Аякс» 126-ї окремої бригади територіальної оборони вперше за допомогою FPV-дрона знищили російський ударний безпілотний літальний апарат літакового типу. Відтоді така тактика набула поширення. На початковому етапі розробки дрони-перехоплювачі фінансувалися благодійними фондами Притули та Стерненка [1, абз. 1–11]. У подальшому, після накопичення підрозділами бойового досвіду, відбувалося доопрацювання наявних засобів відповідно до конкретних завдань. До таких удосконалень належать встановлення акумуляторів більшої ємності, інфрачервоних камер, цифрових камер високої роздільної здатності. Це зумовлено тим, що безпілотні літальні апарати діють на значних висотах, інколи оснащуються засобами радіоелектронної боротьби, застосовують камуфляж для зменшення помітності на тлі місцевості, що ускладнює використання дешевих камер. Одними з найперспективніших вітчизняних розробок є Sting («Дикі шершні»), P1-Sun (Skyfall), Sokyra (Deviro).

Усі дрони-перехоплювачі загалом класифікують на два основні типи: мультироторні та літакові. Літаковий тип, своєю чергою, поділяється на два підтипи – першого та другого покоління. Друге покоління відрізняється від першого насамперед рівнем автоматизації процесів на різних етапах бойового циклу. У другому поколінні можливе застосування штучного інтелекту, сенсорних систем, а також часткова або повна автоматизація окремих процесів, на відміну від першого покоління, де керування здійснювалося вручну і повністю залежало від оператора [2]. Кожен із типів і підтипів доцільно використовувати для виконання певних завдань у комплексі, оскільки кожен із них має власні переваги та обмеження.

Коротко розглянемо фізичні принципи керування дроном-перехоплювачем. Під час відхилення стіка на пульті керування механічний сигнал перетворюється мікроконтролером на цифровий пакет даних. Для передавання цієї інформації використовується модуляція – процес накладання цифрового сигналу на електромагнітну хвилю-носію шляхом зміни її амплітуди, частоти або фази відповідно до закону зміни низькочастотного сигналу [3].

Сформований сигнал подається на антену, налаштовану в резонанс із частотою генератора, і випромінюється у вигляді електромагнітних хвиль у діапазоні від 433 МГц до 5,8 ГГц. Приймач дрона, антена якого також налаштована на відповідну частоту, приймає сигнал. Унаслідок розсіювання в просторі сигнал спочатку підсилюється, після чого здійснюється демодуляція– виділення цифрової інформації з хвилі-носія. Отримані дані надходять до польотного контролера, який обробляє команди та формує керувальні імпульси для виконавчих систем дрона. Окрім радіоканалу, для передавання сигналів можуть використовувати оптичне волокно – систему тонких скляних волокон, у яких інформація передається світловими імпульсами. Такий підхід є стійким до засобів радіоелектронної боротьби та забезпечує високу якість зв'язку, проте має

обмеження, пов'язані з дальністю дії та ризиком механічного пошкодження або заплутування волокна.

На більшості дронів-перехоплювачів встановлюють камери видимого спектра, які передають зображення у вигляді матриці пікселів. Це традиційний підхід, що має недоліки, зокрема залежність від погодних умов і вразливість до спуфінгу сигналу. Тому додатково застосовують електрооптичні камери з вбудованими мікропроцесорами та алгоритмами штучного інтелекту, які за допомогою методів машинного зору аналізують контури, кольори й контрасти. У разі збігу з наперед заданим шаблоном система автоматично захоплює та супроводжує ціль.

Широко використовують і тепловізійні (інфрачервоні) камери, що фіксують теплове випромінювання об'єкта, забезпечуючи роботу вночі, за несприятливих погодних умов і частково крізь дим. У дорожчих системах застосовують мініатюрні радіолокаційні станції сантиметрового діапазону для виявлення на великих відстанях, а також LiDAR – для точного вимірювання дистанцій на малих відстанях [4]. Радіолокаційні системи визначають відстань і швидкість об'єкта за відбитими сигналами та ефектом Доплера, тоді як LiDAR формує детальну просторову модель за рахунок аналізу часу повернення лазерних імпульсів. Додатково можуть використовуватися радіопеленгатори, які визначають напрямок на джерело радіовипромінювання, однак їх ефективність обмежується дією засобів радіоелектронної боротьби, перебудовою частоти та конструктивними особливостями антен [5]. Після виявлення цілі система фіксує її в межах так званого «bounding box» і безперервно обчислює траєкторію перехоплення. Цей етап називається термінальним наведенням. Ключову роль у цьому процесі відіграє зворотний зв'язок: бортовий комп'ютер постійно порівнює задані та фактичні параметри польоту й формує коригувальні сигнали. Реалізація такого підходу здійснюється за допомогою ПІД-регулятора, який

враховує поточні, попередні та прогнозовані відхилення, забезпечуючи точне й стабільне наведення дрона на ціль [6].

Тип сенсорів	Переваги	Недоліки
Оптико-електронна/цифрова камера	<ul style="list-style-type: none"> • Низька вартість • Висока роздільна здатність • Дозволяє візуально зафіксувати ціль 	<ul style="list-style-type: none"> • Сліпа в ночі • Не працює в туман або при сильному димі • Можливе засвічення сонцем
Інфрачервона(ІЧ) камера	<ul style="list-style-type: none"> • Працює в день і в ночі • “Бачить” через легкий туман і дим • Чудово бачить нагріті предмети 	<ul style="list-style-type: none"> • Висока вартість матриць • Менша деталізація • Під час теплої погоди ціль може зливатись з теплою землею
Радар	<ul style="list-style-type: none"> • Всепогодний • Точно визначає відстань і швидкість • Великий радіус 	<ul style="list-style-type: none"> • Демаскує перехоплювач випромінюванням • Дорогий, важкий та потребує багато заряду • Погано бачить пластик, карбон і інші матеріали
Лідар (LiDAR)	<ul style="list-style-type: none"> • Дуже точно визначає дальність • Створює 3Д модель цілі • Вузький промінь важко засікти ворожим РЕБ 	<ul style="list-style-type: none"> • Дуже чутливий до погоди • Маленьке поле зору • Висока вартість
Радіопеленгатор	<ul style="list-style-type: none"> • Абсолютна скритність • Всепогодність • Більша дальність виявлення 	<ul style="list-style-type: none"> • Безсильний проти автономних дронів • Вразливість до РЕБ • Габарити антени • Проблема ППРЧ

Отже, дрони-перехоплювачі є актуальним напрямом розвитку сучасних засобів протиповітряної оборони. Їх застосування дозволяє зменшити витрати на ППО та знижує ефективність використання противником дронів-камікадзе і розвідувальних безпілотних апаратів.

Важливим напрямом розвитку є підвищення рівня автоматизації на всіх етапах бойового циклу. Це передбачає виявлення цілей за допомогою зовнішніх сенсорів (тактичні радіолокаційні станції, акустичні датчики) та бортових систем

(інфрачервоні й оптико-електронні камери, радіопеленгатори, мініатюрні радары), подальше наведення із застосуванням алгоритмів штучного інтелекту та машинного зору, а також автоматичну нейтралізацію цілі, зокрема шляхом підриву або використання сіткометів.

Перспективним є також створення комплексів дронів-перехоплювачів, які у разі повітряної загрози можуть оперативно розгортатися та керуватися дистанційно з безпечних позицій, без безпосереднього перебування операторів у зоні бойових дій.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Шумлянський, Д. (2025). *Еволюція українських дронів-перехоплювачів та їхня роль у війні*. Мілітарний.
- [2] Militarnyi. (2026). *Як насправді працюють зенітні дрони?! Підрозділ Group 12* [Відео]. YouTube.
- [3] Кучерюк, І. М., Горбачук, І. Т., & Луцик, П. П. (2001). *Загальний курс фізики: Електрика і магнетизм* (Т. 2). Техніка.
- [4] Argus. (2025). *Intercepting drones, or rather “capturing” them*. Militär Aktuell.
- [5] Sirohi, H., Khairnar, C. N., Kumar, P., & Kumar, A. (2024). *A comprehensive review of modern counter-drone technologies: Trends, challenges, and future directions*. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology, 12(5).
- [6] *Proportional-integral-derivative controller*. (2026, April 9). Wikipedia.

Джежеря Ю.І., Кирилюк А.В.

Інститут магнетизму ім. В. Г. Бар'яхтара НАН України, м. Київ, Україна

email: vbar@imag.kiev.ua

РІВНОВАЖНА КІНКОПОДІБНА КРУТИЛЬНА ДЕФОРМАЦІЯ МАГНІТОАКТИВНОГО ЕЛАСТОМЕРУ ПІД ДІЄЮ МАГНІТНОГО ПОЛЯ

Анотація. Теоретично передбачено та експериментально підтверджено новий ефект, пов'язаний з утворенням кінкоподібної крутильної деформації в балці магнітоактивного еластомеру (МАЕ), що піддається впливу однорідного магнітного поля. Крутильний кінк є перехідною межею між двома недеформованими однорідними станами балки. Показано, що балка МАЕ перебуває в неоднорідно пружно деформованому магнітному стані з низькою симетрією в області кінку. Поза кінком намагніченість балки колінеарна магнітному полю, тобто МАЕ знаходиться в недеформованому однорідному магнітному стані з високою симетрією. Експеримент демонструє, що ефект утворення крутильного кінку є рівноважним та оборотним явищем.

Ключові слова: магнітоактивний еластомер, крутильний деформаційний кінк, магнітострикція, розумні матеріали.

Abstract. A new effect associated with the formation of a kink-like torsional deformation in a beam of a magnetoactive elastomer (MAE) exposed to a uniform magnetic field has been theoretically predicted and experimentally confirmed. The torsional kink is a transitional boundary between two undeformed homogeneous states of the beam. It is shown that the MAE beam exists in an inhomogeneously elastically deformed magnetic state with low symmetry in the kink region. Outside the kink, the magnetization of the beam is collinear with the magnetic field, i.e., the MAE is in an undeformed homogeneous magnetic state with high symmetry. The experiment

demonstrates that the effect of torsional kink formation is an equilibrium and reversible phenomenon.

Keywords: magnetoactive elastomer, torsion deformation kink, magnetostriction, smart materials.

На рисунку 1(a) показано зображення тонкої, довгої балки МАЕ [1,2], де висота значно більша за ширину, яка, у свою чергу, значно більша за товщину, $a \gg b \gg c$. На вставці показано збільшений фрагмент балки МАЕ з магнітними некоерцитивними частинками, вбудованими в еластомерну матрицю, де розміри частинок значно менші за товщину балки. Ми припускаємо, що частинки наповнювача є сферичними, магнітом'якими, мають незначно малу магнітокристалічну анізотропію та рівномірно розподілені по всьому об'єму зразка/балки. На рисунку 1(b) показано зображення цієї балки з рівномірною торсійною деформацією за відсутності магнітного поля ($H=0$). На відміну від інших матеріалів, завдяки високій еластичності МАЕ, торсійна деформація балки є оборотною навіть для великих кутів скручування. Коли зовнішні моменти знімаються, балка МАЕ відновлює свій початковий недеформований стан.

Для тонкої, довгої балки, що зазнає кручення, виконується наближення Сен-Венана [3] щодо недеформованих плоских поперечних перерізів балки, перпендикулярних до її довгої осі. Для рівномірного кручення ненамагніченої балки ($H=0$) на кут π , похідна кута повороту для малих перерізів балки товщиною Δz (рисунки 1(a) та 1(b)) є постійною: $\partial\varphi/\partial z = \pi/a$, з кутами кручення на кінцях $\varphi(z = a/2) = \pi$ та $\varphi(z = -a/2) = 0$. Відповідно, лінійна густина магнітної енергії вздовж z становитиме:

$$w_m(z) = -S(\chi_{\parallel} H^2 \cos^2 \varphi(z) + \chi_{\perp} H^2 \sin^2 \varphi(z)) / 2. \quad (1)$$

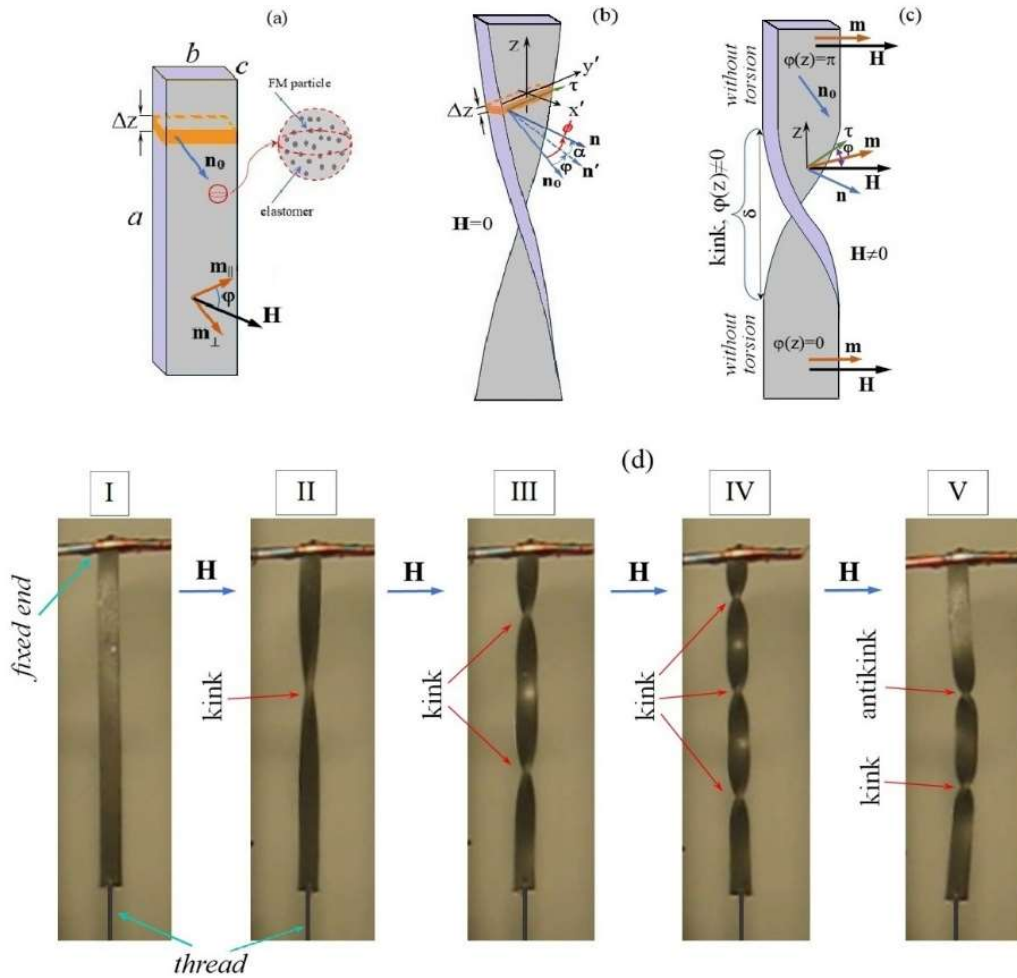


Рис. 1. Зображення недеформованої балки МАЕ (а); балка з рівномірним крученням за відсутності магнітного поля, $H=0$, (b); зображення балки з одним згином (c); експериментальні фотографії, отримані для недеформованої балки, балки з одним, двома та трьома згинаннями, а також для пари згин + антизгин (d).

Густина енергії w_m залежить від кута кручення та напруженості магнітного поля; вона описує магнітопружний внесок в енергію намагніченого променя. Повну енергію крутильного згину променя можна записати як:

$$W = \int_{-\infty}^{+\infty} (w_e(z) + w_m(z)) dz = -\frac{aS}{2} \chi_{\perp} H^2 + \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{+\infty} (GJ \left(\frac{\partial \varphi}{\partial z}\right)^2 - S \Delta \chi H^2 \cos^2 \varphi) dz, \quad (2)$$

де $\Delta\chi = \chi_{\parallel} - \chi_{\perp}$, а межі інтегрування дорівнюють $\pm\infty$, припускаючи, що поздовжній розмір згину менший за довжину зразка.

Мінімізація енергії шляхом знаходження варіаційних похідних призводить до диференціального рівняння:

$$GJ \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} - S\Delta\chi H^2 \cos \varphi \sin \varphi = 0, \quad (3)$$

з граничними умовами $\partial\varphi/\partial z|_{z=\pm\infty} = 0$.

Розв'язок рівняння (3) для випадку кінкоподібного кручення балки, незалежно від її довжини, має вигляд:

$$\varphi(z) = 2 \arctan e^{z/\lambda}, \text{ де } \lambda = \frac{1}{H} \sqrt{\frac{GJ}{S\Delta\chi}}. \quad (4)$$

Отже, кінкоподібне кручення може бути стабілізоване в балці магнітним полем, якщо довжина кінку менша за довжину балки, $\delta = \pi\lambda < a$.

Вираз для λ можна додатково перетворити, використовуючи геометричні розміри балки. Для дуже тонкої балки ($c/b \rightarrow 0$) отримуємо:

$$\lambda = b \sqrt{\frac{G}{3\Delta\chi H^2}}. \quad (5)$$

Магнітна анізотропія намагніченості балки МАЕ є необхідною умовою для появи кінку; з (5) випливає, що чим більша різниця, тим меншою буде довжина кінку. По суті, рівняння (3) описує обертання вздовж осі з центральних ліній балки, на рис. 1(b) центральна лінія збігається з координатною віссю y' .

На рисунку 1(d) показано експериментально отримані зображення балки МАЕ з одним перегином (фото II), з двома перегинами, що скручуються в одному напрямку (фото III), з трьома перегинами, що також скручуються в одному напрямку (фото IV), та системою кінк + антикінк з взаємно протилежними напрямками кручення (фото V). При зменшенні напруженості магнітного поля стан зразка зменшує кількість перегинів. Коли магнітне поле видаляється, кінк та антикінк різко та одночасно зникають.

Використовуючи рівняння (5), розмір кінку можна оцінити в критичному полі H_1 , що дає $\delta=7,1$ см. Отримане теоретичне значення розміру кінку майже дорівнює довжині балки, $a=7,3$ см. У критичному полі H_2 розмір кінку трохи менший за половину довжини балки, а для трьох кінків у критичному полі H_3 розмір кінку трохи менший за одну третину довжини балки. Можна припустити, що стабілізований магнітним полем торсійний кінк втрачає свою стійкість, коли його розмір дорівнює довжині балки. У випадку кількох кінків стійкість втрачається в магнітному полі, де довжина кінку дорівнює довжині балки, поділеній на кількість кінків. Отже, величина критичного поля стійкості для балки з кількома кінками є обернено пропорційною до кількості кінків.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Menzel, A. M. (2015). Tuned, driven, and active soft matter. *Physics Reports*, 554, 1–45.
- [2] Kim, Y., Yuk, H., Zhao, R., Chester, S. A., & Zhao, X. (2018). Printing ferromagnetic domains for untethered fast-transforming soft materials. *Nature*, 558, 274–279.
- [3] Landau, L. D., & Lifshits, E. M. (1959). *Theory of Elasticity*. Pergamon Press, New York.

Dombrovska M.V.¹, Kozlenko O.V.², Kovalenko O.V.¹, Shtofel O.O.²

¹ Polytechnic Lyceum of the National Technical University of Ukraine

“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

email: dombrovskamarina5@gmail.com

² Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine

email: ovkozlenko@gmail.com

ENERGY RECOVERY IN ELECTRIC TRAIN CARS AS AN EXAMPLE OF THE PRACTICAL APPLICATION OF PHYSICAL AND MATHEMATICAL KNOWLEDGE IN TECHNICAL EDUCATION

Abstract. This paper examines the energy recovery system in electric train cars as an example of the practical application of the laws of mechanics and electrodynamics in technical education. It is shown that this system is a clear example of the application of physical and mathematical knowledge and can be used in the educational process at higher technical educational institutions.

Keywords: electric train, bogie, energy recovery, energy efficiency, kinetic energy, wheel set.

Анотація. У роботі розглянуто систему рекуперації енергії в електропоїздах як приклад практичного застосування законів механіки та електродинаміки у технічній освіті. Показано, що ця система є наочним прикладом використання фізико-математичних знань і може бути застосована в освітньому процесі закладів вищої технічної освіти.

Ключові слова: електропоїзд, візок, рекуперація енергії, енергоефективність, кінетична енергія, колісна пара.

Modern engineering education requires a shift from abstract teaching of fundamental disciplines to demonstrating their role in solving applied problems.

Physics and mathematics are the foundation of engineering; however, students' understanding of these subjects improves significantly when analyzing real technical systems, such as energy recovery systems. The energy recovery system in electric trains [1] is a prime example, as it combines mechanical and electrical laws and mathematical analysis methods.

The subject of this study is the process of converting the kinetic energy of an electric train into electrical energy during braking. The analysis employs mathematical modeling methods and experimental research based on a physically driven model. The mathematical framework is based on the energy conservation law, electromagnetic induction principles, and integral calculus to calculate the overall energy efficiency [2].

The proposed system involves installing a generator in the car body. Torque is transmitted from the wheel set via a gearbox and a flexible coupling, which minimizes dynamic loads. The recuperation process is described by three key stages (Fig. 1).

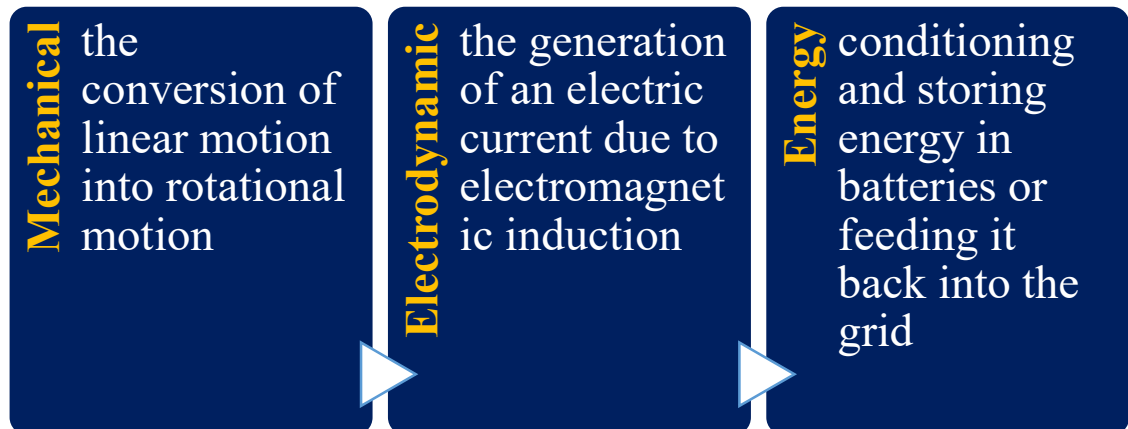


Fig. 1. Stages of energy recovery.

Experimental data (Fig. 2), obtained from a model [3], were scaled to the parameters of actual rolling stock.

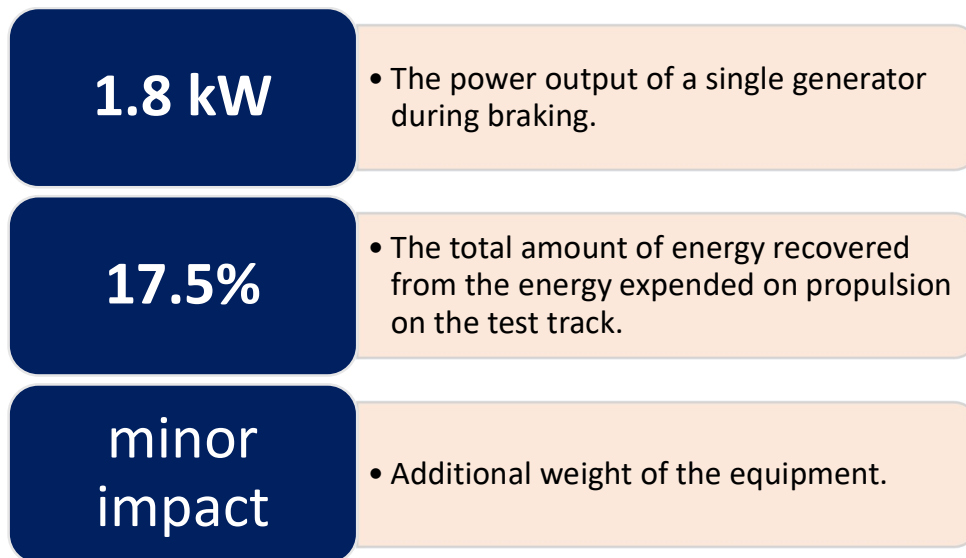


Fig. 2. Experimental data obtained from modeling.

Using this model in the educational process allows for the implementation of interdisciplinary connections (Table 1).

Table 1. Examples of interdisciplinary connections.

Subject	Task	Example
Physics	Study of kinetic energy and Faraday's law	$E = \frac{mv^2}{2} ; \varepsilon = - \frac{d\Phi}{dt}$
Mathematics	the use of integrals to calculate work and statistical analysis of measurement errors.	$A = \int P(t)dt ; \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$
Engineering	design of mechanical assemblies and power control systems.	<p>This diagram illustrates an autonomous power supply system for a passenger carriage (frame (1)). Energy is transmitted from the wheelset (2) through the gearbox (3) and coupling (4) to the generator (5). It then passes through the inverter (6) to power electrical consumers or to charge the battery (7).</p>

Research on the recovery system [4] confirms its high technical efficiency and the feasibility of its implementation. From a methodological standpoint, this approach helps students develop a comprehensive understanding of engineering practice, in which fundamental theory serves as a tool for developing real-world energy-saving technologies.

REFERENCES

- [1] Daleka, V. H., Khvorost, M. V., Skurikhin, V. I., & Skurikhin, D. I. (2018). *Rolling stock of urban electric transport. Mechanical part: Textbook*. O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv.
- [2] Vaskovsky, Y. M., & Poda, M. V. (2020). Evaluation of the energy efficiency of energy recovery systems for mechanical vibrations in vehicles. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Electrical Machines and Electromechanical Energy Conversion*, (3).
- [3] Dombrovska, M. (2026). *Energy recovery in electric train cars* [Video]. YouTube.
- [4] Profillidis, V. A. (2022). *Railway planning, management, and engineering* (5th ed.). Routledge.

Кирилюк А.В., Джежеря Ю.І.

Інститут магнетизму ім. В. Г. Бар'яхтара НАН України, м. Київ, Україна

email: vbar@imag.kiev.ua

КРИТИЧНИЙ ВИГІН МАГНІТОАКТИВНОГО ЕЛАСТОМЕРА В ПРУЖНІЙ М'ЯКІЙ ЕЛАСТОМЕРНІЙ МАТРИЦІ

Анотація. Досліджено критичний вигин магнітоактивного еластомера у поперечному однорідному магнітному полі з магнітомякими ферромагнітними частинками карбонільного заліза в пружній м'якій еластомерній матриці при вертикальному розташуванні зразка з фіксованим його верхнім кінцем. Незважаючи на протидію сили тяжіння, вигин відбувається критично з гострими піками для похідних величини зміщення вільного кінця зразка. Отримано, що в магнітному полі деформація вигину має гістерезис, значно слабший від очікуваного для МАЕ з пружною м'якою матрицею: величина залишкової деформації невелика, а отже, пружні ефекти при вигині переважають ефекти, що обумовлюють пластичність, наприклад, внаслідок можливої реології.

Ключові слова: критичний вигин магнітоактивного еластомеру, карбонільне залізо, еластомери, магнітоактивні еластомери, розумні матеріали, деформація вигину.

Abstract. The critical bending of a magnetoactive elastomer in a transverse homogeneous magnetic field containing magnetically soft ferromagnetic carbonyl iron particles in an elastic soft elastomer matrix was investigated, with the sample positioned vertically and with its upper end fixed. Despite the counteracting force of gravity, bending occurs, with sharp peaks in the derivatives of the displacement at the free end of the sample. It has been found that, in a magnetic field, bending deformation exhibits hysteresis that is significantly weaker than expected for a composite with an elastic soft matrix: the magnitude of the residual deformation is small, and thus elastic effects

during bending prevail over effects that cause plasticity, such as those resulting from possible rheological behavior. During bending, predominant effects cause plasticity, for example, due to possible rheology.

Keywords: critical bending of a magnetoactive elastomer, carbonyl iron, elastomers, magnetoactive elastomers, smart materials, bending deformation.

Досліджуваний зразок мав форму прямокутного паралелепіпеда (Рис. 1) зі сторонами $a=25.7$ mm, $b=4,5$ mm, $c=2$ mm. МАЕ містить $f = 50$ % масових відсотків феромагнітних мікрочастинок магнітом'якого карбонільного заліза розміщених в матриці силікона.

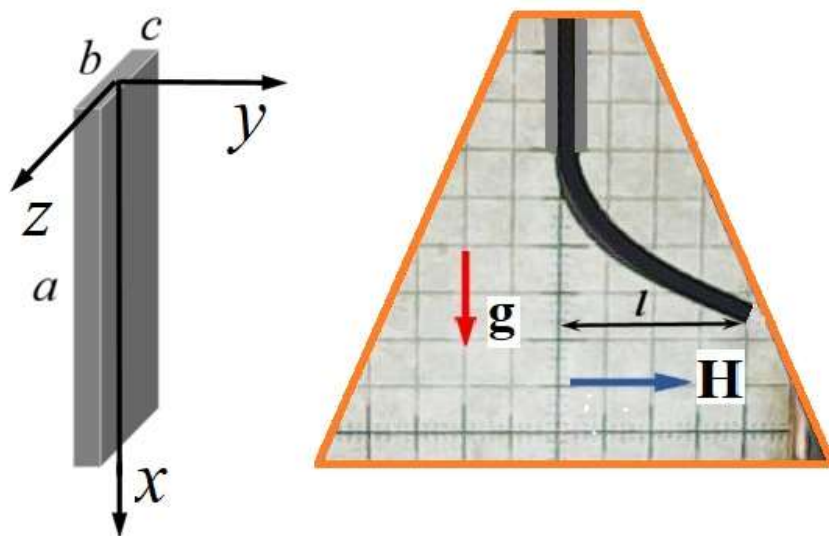


Рис. 1. Схематичне зображення тонкої балки МАЕ з розмірами $a \gg b \gg c$ та фотографія балки МАЕ, вигнутої магнітним полем в експерименті, яка до намагнічування висіла вертикально.

Розмір частинок менше 80 μm . Розташування частинок та їх орієнтація в матриці просторово випадкові. Спосіб отримання зразків описано в [1,2]. Намагніченість насичення зразка становить 98 етм/г.

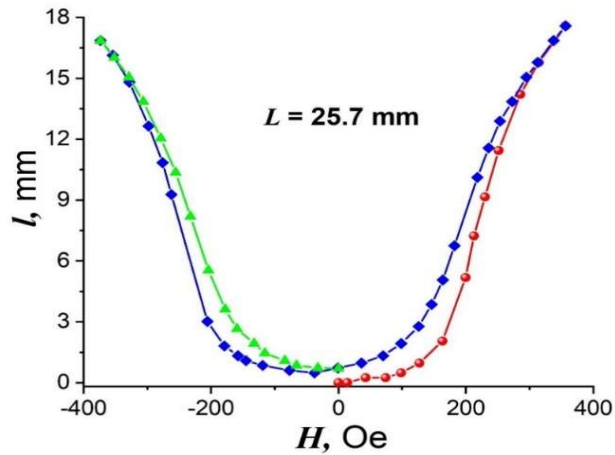


Рис. 2. Польова залежність відхилення вільного кінця балки.

Польова залежність величини зміщення вільного кінця балки, $l(H)$, показана на рис. 2. На цьому рисунку червоними кульками позначено залежність для зміщення при першому введенні магнітного поля від 0 до 400 Ое, синіми ромбами позначено хід кривої для зміщення при наступному виведенні магнітного поля від 400 Ое до 0 та введення від'ємного поля до -400 Ое, зеленими трикутниками показано хід зміщення при виведенні поля від -400 Ое до нуля. Як показано в [3], завдяки залишковому вигину знак зміщення не залежить від знаку магнітного поля.

Залежність $l(H)$ на рис. 2 має вигляд петлі гістерезису. Наявність залишкового вигину після виведення магнітного поля дозволяє припустити, що гістерезис вигину пов'язаний з впливом в'язкості на зміну положень частинок в матриці під час деформування завдяки реструктуризації МАЕ в магнітному полі [3]. Залишкове зміщення має відносно малу величину, так що різниця величин між гілками залежності для $l(H)$ також незначна, тому деформування зразка можна вважати квазіпружним, подібним до пружної поведінки твердого тіла, а не рідини.

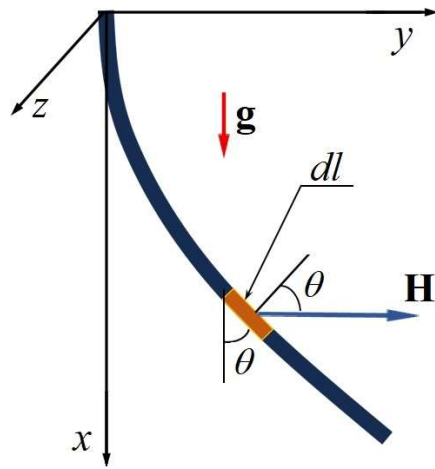


Рис. 3. Вигин тонкої балки МАЕ в горизонтальному магнітному полі \mathbf{H} , dl - мала ділянка балки, θ - кут її повороту.

Відповідно до теорії балки Ейлера–Бернуллі (Euler–Bernoulli beam theory) величини локальних моментів сил мають бути скомпенсованими. Запишемо диференційне рівняння

$$EJ \frac{d^2\theta}{dx^2} = -\Delta\chi H^2 S \sin\theta \cos\theta + \rho g S x \sin\theta \quad . \quad (1)$$

Вихідному стану не вигнутої балки відповідає рішення рівняння (1), коли $\theta = 0$.

За умови, що можна знехтувати силою тяжіння, та для випадку малого вигину, коли $\theta \rightarrow 0$, рівняння (1) набуває вигляду

$$EJ \frac{d^2\theta}{dx^2} = -\Delta\chi H^2 S \theta. \quad (2)$$

Подібно до [4] з (2) знаходимо, що втрата стійкості недеформованого стану з $\theta = 0$ відбувається в критичному полі [21],

$$H_{cr} = \frac{\pi c}{4 a} \sqrt{\frac{E}{3\Delta\chi}}. \quad (3)$$

З (2) маємо, що при вигині найбільше деформування з великою величиною похідної $d\theta/dx$ спостерігається поблизу фіксованого кінця балки.

Для оцінки впливу сили тяжіння на критичний вигин підставимо в (1) координату центру мас балки, приймаючи умову, що кут θ малий, $\theta \rightarrow 0$. За цих умов диференціальне рівняння для вигину має вигляд

$$EJ \frac{d^2\theta}{dx^2} = -(\Delta\chi H^2 - \rho g \frac{a}{2})S\theta. \quad (6)$$

З (6) отримаємо, що сила тяжіння зумовлює зростання величини критичного поля

$$H_{cr} = \sqrt{\frac{1}{\Delta\chi} \left(\left(\frac{\pi c}{4 a} \right)^2 \frac{E}{3} + \rho g \frac{a}{2} \right)}. \quad (7)$$

За відсутності впливу сили тяжіння, коли вигин відбувається у горизонтальній площині, як це досліджувалось в [21.2], критичне поле (3) обернено пропорційне до довжини балки. За умови дії сили тяжіння другий доданок під квадратним коренем в (7) прямо пропорційний довжині балки, тобто чим більша довжина балки, тим більший вплив сили тяжіння і величина критичного поля має зростати.

Отже, сила тяжіння протидіє вигину вертикально розташованої балки в поперечному магнітному полі, але критичний характер вигину зберігається, що також підтверджено експериментально.

Висновок. Експериментально та теоретично досліджено вигин балки МАЕ з магніто м'якими ферромагнітними мікрочастинками розміщеними в матриці пружно м'якого еластомеру – силікону. Отримано, що незважаючи на залишкову деформацію та гістерезис, вигин балки є квазіпружним, вона веде себе подібно твердим пружним тілам. Польові залежності для величини вигину ілюструють критичний характер вигину незважаючи на протидію сили тяжіння, яка призводить до зростання величини критичного поля. Дані експерименту

підтверджуються теоретичним описом в наближенні тонкої балки в рамках теорії балки Ейлера-Бернуллі.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Kalita, V. M., Dzhezherya, Y. I., Cherepov, S. V., Skirta, Y. B., Bodnaruk, A. V., & Levchenko, G. G. (2021). *Smart Materials and Structures*, 30, 025020. <https://doi.org/10.1088/1361-665X/abd58c>
- [2] Kalita, V. M., Dzhezherya, Y. I., Cherepov, S. V., Skirta, Y. B., Bodnaruk, A. V., & Ryabchenko, S. M. (2023). *Smart Materials and Structures*, 32, 045002. <https://doi.org/10.1088/1361-665X/acbd04>
- [3] Kalita, V. M., Dzhezherya, Y. I., Cherepov, S. V., Skirta, Y. B., Kyryliuk, A. V., Reshetniak, S. O., Bodnaruk, A. V., & Ryabchenko, S. M. (2024). *AIP Advances*, 14, 015143. <https://doi.org/10.1063/5.0178469>
- [4] Gerbal, F., Wang, Y., Lyonnet, F., & Bacri, J.-C. (2015). *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112, 7135. <https://doi.org/10.1073/pnas.142253411>

Коцєпуд А.І., Хіст В.В.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна
email: kotsepud.a.i.-dg51@iit.kpi.ua*

ІНЖЕНЕРНІ ПРИНЦИПИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ГУМАНОЇДНИХ РОБОТІВ: ВІД ЗВОРОТНОГО МАЯТНИКА ДО НЕЙРОМЕРЕЖЕВОВОГО КЕРУВАННЯ

Анотація. Розглянуто фізичні та інженерні принципи, що лежать в основі стабілізації гуманоїдних роботів під час двоногого переміщення. Описано модель зворотного маятника як базову фізичну абстракцію ходьби. Проведено порівняльний аналіз гідравлічних та електричних актуаторів за показниками густини крутного моменту та енергоефективності. Проаналізовано функціонування інерціальних і силомоментних давачів. Простежено еволюцію алгоритмів балансування – від критерію точки нульового моменту до методів навчання з підкріпленням – на прикладі роботів Honda ASIMO та Boston Dynamics Atlas.

Ключові слова: зворотний маятник, точка нульового моменту, електричний актуатор, інерціальний вимірювальний модуль, силомоментний давач, навчання з підкріпленням.

Abstract. The paper examines the physical and engineering principles underlying the stabilization of humanoid robots during bipedal locomotion. The inverted pendulum model is described as the fundamental abstraction of walking. A comparative analysis of hydraulic and electric actuators is conducted based on torque density and energy efficiency. The functioning of inertial and force-torque sensors is analyzed. The evolution of balancing algorithms, from the Zero Moment Point criterion

to reinforcement learning approaches, is traced using the examples of Honda ASIMO and Boston Dynamics Atlas.

Keywords: inverted pendulum, Zero Moment Point, electric actuator, inertial measurement unit, force-torque sensor, reinforcement learning.

Двоноге переміщення є складною інженерною задачею, що потребує високоточного контролю рівноваги. Незважаючи на природність цього процесу для людини, його реалізація в робототехніці вимагала десятиліть досліджень. Ключова проблема полягає не в обчислювальній потужності чи характеристиках приводів, а у фундаментальних фізичних обмеженнях: двоногий робот за своєю природою є нестійкою системою, і будь-яка похибка керування може призвести до втрати рівноваги. У цій роботі розглянуто підходи до розв'язання задачі балансування – від моделі маятника та конструкції приводів до застосування нейромережевих методів, що доповнюють або замінюють класичні алгоритми керування.

З погляду механіки, двоноге переміщення можна інтерпретувати як контрольоване падіння. Під час ходьби людина виводить центр мас за межі опорної площі стопи та встигає перемістити іншу ногу до моменту втрати рівноваги. Узагальненою фізичною моделлю цього процесу є лінійний зворотний маятник (Linear Inverted Pendulum Model, LIPM), у якому маса зосереджена на висоті z_c , а нога моделюється як жорсткий безмасовий стрижень. Рівняння руху має вигляд:

$$\ddot{x} = \frac{g}{z_c}(x - p_x),$$

де x – координата центра мас, p_x – координата точки опори, g – прискорення вільного падіння [1].

Така система є нестійкою: будь-яке відхилення зростає експоненційно з характерним часом $\tau = \sqrt{z_c/g}$, який для гуманоїда з висотою центра мас 0,85 м

становить приблизно 300 мс. Якщо система керування не встигає скоригувати стан за цей інтервал, відбувається падіння. Саме тому висока частота зворотного зв'язку є критичною: зокрема, у роботі ASIMO вона становила близько 1000 Гц, що забезпечувало приблизно 300 ітерацій керування протягом одного характерного часу розходження траєкторій [2]

З метою скоригувати положення тіла, потрібна сила. Її забезпечують актуатори – привідні механізми, розташовані в кожному суглобі. Гідравлічний актуатор створює силу за законом Паскаля: $F=P \cdot A$, де P – тиск рідини, A – площа поршня. Циліндр із поршнем діаметром 50 мм при тиску 20 МПа розвиває силу близько 39 кН при власній масі 2–3 кг [3]. Така схема була реалізована в роботі Atlas компанії Boston Dynamics: робот важив 150 кг, мав 28 приводів і міг виконувати сальто. Інші технології не забезпечували зіставного співвідношення сили до маси.

Однак ККД гідравлічних систем рідко перевищує 30 %б – основні втрати виникають у сервоклапанах, де потік рідини дроселюється для регулювання швидкості [3]. Існує також конструктивне обмеження: шланги неможливо провести через суглоб, що обертається на повний оберт, оскільки це призводить до їх перекручування та руйнування.

На практиці гідравлічні системи створювали значні труднощі в обслуговуванні. Ущільнення в роботі Atlas зношувалися швидше, ніж очікувалося; робот після тестових випробувань залишав витоки гідравлічної рідини, а локалізація місця витоку серед 28 приводів і десятків шлангів могла займати тривалий час. Для лабораторного прототипу це допустимо, але для серійного виробництва – ні. Саме це, разом із високою вартістю комплектуючих, зумовило рішення компанії Boston Dynamics перейти на електричні приводи у 2024 році [4].

Електричний актуатор працює за іншим принципом. BLDC-двигун обертає ротор із неодимовими магнітами, однак компактний мотор масою 300–

500 г розвиває лише 1–5 Н·м, тоді як колінний суглоб гуманоїда потребує 100–200 Н·м. Ця різниця компенсується використанням редуктора.

В ASIMO застосовано хвильовий редуктор (harmonic drive): еліптичний генератор деформує гнучке зубчасте колесо, забезпечуючи передатне число в діапазоні 50:1–160:1 за відсутності люфту [2]. ККД системи становить 70–85 %, що приблизно вдвічі перевищує ефективність гідравлічних систем, однак крутний момент на одиницю маси залишається нижчим: ASIMO важив 48 кг і не був здатний піднімати значні вантажі.

Переломним моментом став квітень 2024 року: компанія Boston Dynamics представила електричну версію Atlas, яка відтворила маневрові можливості гідравлічного попередника, а суглоби отримали можливість обертання на 360° завдяки відсутності гідравлічних шлангів [4].

Актuatorи – це «м'язи», але без системи керування вони не забезпечують функціонування. Роль «нервів» виконують сенсори. Центральне місце посідає інерціальний вимірювальний модуль (IMU) – пристрій, що містить три MEMS-гіроскопи та три MEMS-акселерометри. Гіроскоп працює на ефекті Кориоліса: віброюча маса при обертанні системи зазнає бічної сили $F = -2m(\Omega \times v)$, яку вимірюють ємнісним методом – за зміною зазору між рухомою масою та електродами [5]. Акселерометр має простіший принцип дії: пробна маса зміщується під дією прискорення, і це зміщення також реєструється ємнісним способом.

Сукупність шести вимірювальних каналів забезпечує отримання даних про кутову швидкість і лінійне прискорення корпусу. Проблема полягає в тому, що інтегрування сигналу гіроскопа дозволяє визначити кут нахилу, але супроводжується дрейфом порядку 1–10°/год. Для його компенсації використовується акселерометр: за відсутності значних прискорень вектор сили тяжіння вказує напрямом «вниз» і слугує абсолютним орієнтиром.

Поєднання цих сигналів здійснюється за допомогою фільтра Калмана, який забезпечує оптимальне зважування короткочасно точної, але нестабільної інформації гіроскопа та довготривало стабільних, але зашумлених даних акселерометра [5]. Другий критично важливий сенсор – силомоментний давач у стопі, реалізований на основі тензорезисторів: фольга на пружному елементі змінює електричний опір при деформації ($\frac{\Delta R}{R} = GF \cdot \varepsilon$, де $GF \approx 2$).

Чотири резистори, об'єднані в міст Вітстона, формують диференціальний сигнал; сукупність шести таких мостових схем забезпечує вимірювання трьох компонентів сили та трьох компонентів моменту [6].

На основі цих вимірювань визначається центр тиску (Center of Pressure, CoP) на стопі:

$$x_{CoP} = -\frac{M_y}{F_z},$$

що фактично відповідає вимірюваній точці нульового моменту (Zero Moment Point, ZMP) – критерію стійкості, запропонованому Вукобратовичем [7].

Поки ZMP залишається в межах опорного контуру, робот зберігає стійкість. Якщо ж вона виходить за ці межі, відбувається втрата рівноваги та падіння. ASIMO здійснював контроль ZMP на основі даних давачів у стопах із частотою дискретизації близько 1000 Гц.

ZMP, утім, має суттєві обмеження: він ефективний лише для руху по рівній поверхні та за умови використання попередньо спланованих траєкторій. У разі зовнішнього поштовху такий робот не встигне оперативно перепланувати рух.

Відповіддю стало предиктивне керування за моделлю (Model Predictive Control, MPC), яке було застосоване компанією Boston Dynamics у гідравлічному роботі Atlas. MPC на кожному такті розв'язує задачу оптимізації, мінімізуючи відхилення від бажаної траєкторії за наявності обмежень на сили тертя, зусилля

актуаторів та кути в суглобах [8]. Горизонт прогнозу порядку 0,5–2 с забезпечує можливість адаптації до зовнішніх збурень, зокрема поштовхів або перешкод.

Обчислювальна складність такого підходу становить приблизно 5–50 мс на один цикл, тому MPC працює з частотою близько 20–200 Гц, тоді як між його ітераціями функціонує швидший контур керування з частотою приблизно 1000 Гц [8].

Альтернативним підходом є навчання з підкріпленням (Reinforcement Learning, RL). Нейромережу тренують у фізичному симуляторі, де тисячі віртуальних роботів одночасно виконують переміщення по стохастично згенерованому рельєфу зі змінними параметрами тертя, мас ланок і затримок сенсорів. Мережа вчиться перетворювати сенсорні дані на керувальні сигнали для суглобів, отримуючи винагороду за успішні кроки та штраф за втрату рівноваги.

Після мільярдів ітерацій навчена політика переноситься на фізичного робота (sim-to-real transfer) [9]. У 2024 році група Каліфорнійського університету в Берклі продемонструвала цей підхід на гуманоїдному роботі Digit: робот одразу успішно пересувався по траві та бруківці, відсутніх у навчальному середовищі. RL не потребує ані використання критерію ZMP, ані явного аналітичного опису динаміки системи – нейромережа самостійно апроксимує її поведінку. Компанія Boston Dynamics вже поєднує методи RL і MPC в електричній версії Atlas [4].

Отже, стабілізація гуманоїдного робота реалізується як замкнений контур керування: сенсори зчитують стан системи, алгоритм приймає рішення, а актуатори виконують керувальні дії. Кожна ланка цього циклу зазнала суттєвої еволюції протягом останніх п'ятдесяти років – від тензорезисторних давачів і критерію ZMP до нейромережевих методів керування та електричних приводів із можливістю повного обертання.

Конвергенція досягнень у сенсорних технологіях, алгоритмах керування та приводних системах відбулася практично одночасно, що й зумовило появу серійних гуманоїдних роботів у 2024–2026 роках.

Водночас технологія ще не досягла повної зрілості: автономність систем обмежена кількома годинами роботи, RL-контролери демонструють обмежену надійність під час виконання високоточних маніпуляцій, а дані щодо ресурсу актуаторів у промислових умовах залишаються недостатньо оприлюдненими.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Kajita, S., & Espiau, B. (2008). Legged robots. In B. Siciliano & O. Khatib (Eds.), *Springer handbook of robotics* (pp. 361–389). Springer.
- [2] Shigemi, S. (2019). ASIMO and humanoid robot research at Honda. In A. Goswami & P. Vadakkepat (Eds.), *Humanoid robotics: A reference* (pp. 55–81). Springer.
- [3] Semini, C. (2010). HyQ: Design and development of a hydraulically actuated quadruped robot (Doctoral dissertation, Istituto Italiano di Tecnologia).
- [4] Boston Dynamics. (2024, April 17). Electric new era for Atlas [Blog post].
- [5] Woodman, O. J. (2007). An introduction to inertial navigation (Technical Report No. UCAM-CL-TR-696). University of Cambridge, Computer Laboratory.
- [6] Sun, Y., Liu, Y., Zou, T., Jin, M., & Liu, H. (2015). Design and optimization of a novel six-axis force/torque sensor for space robot. *Measurement*, 65, 135–148.
- [7] Vukobratović, M., & Borovac, B. (2004). Zero-Moment Point: Thirty five years of its life. *International Journal of Humanoid Robotics*, 1(1), 157–173.
- [8] Di Carlo, J., Wensing, P. M., Katz, B., Bledt, G., & Kim, S. (2018). Dynamic locomotion in the MIT Cheetah 3 through convex model-predictive control. In *Proceedings of the 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems* (pp. 1–9). IEEE.
- [9] Radosavovic, I., Xiao, T., Zhang, B., Darrell, T., Malik, J., & Sreenath, K. (2024). Real-world humanoid locomotion with reinforcement learning. *Science Robotics*, 9(89), eadi9579.

Kulynych M. V., Gareeva F. M.

National Technical University of Ukraine

“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

email: kulinichnikolay.07@gmail.com

FUNDAMENTAL LAWS OF PHYSICS AS THE BASIS FOR THE DEVELOPMENT OF MODERN TECHNOLOGIES

Abstract. This article analyses the role of fundamental physical laws in the development of modern technologies. It shows that electrodynamics, quantum mechanics, and relativity provide the theoretical basis for electronics, information technologies, energy systems, telecommunications, and space engineering. The findings confirm the key role of physics in scientific and technological progress and in training future engineers.

Keywords: physics, fundamental laws, modern technologies, electrodynamics, quantum mechanics, relativity, scientific and technological progress.

Анотація. У роботі проаналізовано роль фундаментальних законів фізики у розвитку сучасних технологій. Показано, що електродинаміка, квантова механіка та теорія відносності становлять теоретичну основу електроніки, інформаційних технологій, енергетики, телекомунікацій і космічної інженерії. Обґрунтовано ключову роль фізики у науково-технічному прогресі та підготовці майбутніх інженерів.

Ключові слова: фізика, фундаментальні закони, сучасні технології, електродинаміка, квантова механіка, теорія відносності, науково-технічний прогрес.

Physics is one of the fundamental natural sciences, as it studies the most general laws of nature, properties of matter and forms of its motion and interaction.

It plays a crucial role in the modern world, not only shaping our scientific understanding of reality but also serving as the theoretical foundation for engineering, technology, energy systems, communications, and information technologies. Without a deep understanding of physical processes, it is impossible to explain the principles underlying the operation of most modern devices and everyday technological systems.

The current stage of civilisation's development is characterised by the rapidly increasing role of science in society. Many modern technological solutions that have become an integral part of everyday life originate from long-term fundamental physical research. Discoveries that were initially purely theoretical have later become the basis for the creation of instruments, electronic systems, telecommunication networks, computer technologies, and space communication systems. In this context, physics functions both as an academic discipline and as a universal tool for cognition and technological progress. As a fundamental science, it explains the basic laws of the physical world and serves as the foundation for the development of other natural and technical sciences [1].

Electrodynamics is one of the most important branches of physics and has had a profound impact on the development of modern technologies. Its development marked a significant stage in the evolution of scientific thought, enabling the explanation of electrical and magnetic phenomena and the establishment of their interconnection. The theoretical principles of electrodynamics form the basis for understanding electromagnetic waves, radiation, signal propagation, and reception processes. These principles underpin radio communication, television, mobile communication, wireless networks, and internet technologies.

The results of electrodynamics research are embodied in a wide range of technical systems that are indispensable to modern society. Long-distance information transmission, the operation of antennas, radar systems, telecommunication networks, and wireless communication are all directly based on the laws of electromagnetism. The unification of electricity and magnetism is considered one of the greatest

achievements in physics, as it has determined the further development of communication and information technologies [2]. This scientific breakthrough is of great practical importance, as it opens new possibilities for the development of the information society, in which data exchange plays a key role in economic and social progress.

Quantum mechanics has made an equally significant contribution to the development of modern technologies. It emerged from the need to explain phenomena that could not be described within the framework of classical physics. The study of microparticles, atomic energy levels, the nature of radiation, and the behaviour of matter at the microscopic level has fundamentally changed our understanding of the structure of matter. Quantum mechanics has opened new perspectives for understanding processes occurring in atoms, molecules, and solids, and has become the basis for the development of new technologies.

Quantum mechanics is particularly important for the development of modern electronics. The study of electronic processes in semiconductors enabled the creation of transistors, diodes, integrated circuits, and microprocessors – the fundamental components of computers, smartphones, digital control systems, and automated devices. The development of quantum physics has not only explained the operation of these elements but has also improved their performance, enabling miniaturisation, high speed, and reduced energy consumption. Progress in quantum mechanics became one of the key prerequisites for the emergence of modern electronics and microprocessor technologies [3].

In addition to electronics, quantum mechanics plays a crucial role in optoelectronics, laser technology, medical equipment, quantum computing, and modern materials science. It provides the theoretical basis for lasers, photodetectors, light-emitting diodes (LEDs), magnetic resonance imaging systems, and many other devices widely used in science, industry, medicine, and everyday life. Thus, quantum

mechanics demonstrates a strong connection between fundamental research and technological innovation.

Another major milestone in the development of physics is the theory of relativity, which has transformed our understanding of space, time, mass, and energy. Although initially considered purely theoretical, it now plays a crucial role in many modern technologies, including satellite navigation, space exploration, astrophysics, and high-precision timekeeping systems.

One of the most well-known practical applications of the theory of relativity is the Global Positioning System (GPS). Accurate navigation requires relativistic corrections that take into account both the high velocity of satellites and the influence of the Earth's gravitational field on time. Without these corrections, significant positioning errors would occur. Therefore, relativistic effects are essential for the high accuracy of modern navigation systems, confirming the practical significance of this theory [4].

Beyond practical applications, the theory of relativity is fundamental for understanding processes occurring in the universe. It explains the motion of celestial bodies, the nature of black holes, gravitational lensing, and many other complex astrophysical phenomena. The theory marked a new stage in our understanding of physical reality and the structure of the universe, significantly influencing modern scientific knowledge [5].

The analysis of the fundamental branches of physics demonstrates that physical laws form the scientific basis for the creation and development of modern technologies. Electromagnetic, quantum, and relativistic phenomena together constitute the intellectual foundation of technological progress. Therefore, the study of physics is essential for students of technical specialities, as it not only involves mastering laws and formulas but also developing analytical thinking and scientific reasoning.

During their studies, students realise that most modern technologies are based on fundamental physical principles. This understanding motivates them to study

physics more deeply, contributes to the formation of a holistic scientific worldview, and strengthens the connection between theoretical knowledge and its practical application. For future engineers, physics is a key tool for professional development, enabling them not only to use existing technologies but also to create new ones.

Thus, physics is the theoretical foundation of modern scientific and technological civilization. Fundamental physical laws determine the possibilities for the development of electronics, telecommunications, energy systems, navigation, space technologies, and many other fields. Therefore, further scientific and technological progress will remain closely linked to advances in physics, making its study a top priority in modern education and research.

REFERENCES

- [1] Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2018). Fundamentals of physics (11th ed.). Wiley.
- [2] Griffiths, D. J. (2017). Introduction to electrodynamics (4th ed.). Cambridge University Press.
- [3] Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2019). Physics for scientists and engineers (10th ed.). Cengage Learning.
- [4] Tipler, P. A., & Mosca, G. (2014). Physics for scientists and engineers (6th ed.). W.H. Freeman.
- [5] Einstein, A. (1955). The meaning of relativity. Princeton University Press.

Куліш В.В., Єрьомін С.І.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна
email: kulish_volv@ukr.net; s.yeromin.ua@gmail.com*

ADVANCES IN SPIN WAVES IN NANOSYSTEMS BASED ON MAGNETICALLY ORDERED MATERIALS DURING 2021–2026

Анотація. Проаналізовано основні досягнення у галузі магنونіки протягом останніх п'яти років. У 2021–2026 роках магنونіка перейшла від дослідження окремих ефектів спінових хвиль до створення функціональних наносистем для їх генерації, керування та детектування. Серед ключових результатів – низьковтратні хвилеводи й резонатори на основі ЗІГ, підсилення спінових хвиль за допомогою спін-орбітального моменту, нелінійні ефекти та когерентне поширення в антиферомагнетиках. Матеріальна база розширилася у напрямі ван-дер-ваальсових і гібридних квантово-магنونних систем. Наносистеми на основі спінових хвиль є перспективними для малопотужної логіки, нейроморфних і reservoir-обчислень, обробки мікрохвильових сигналів і комунікаційних технологій. Основними викликами залишаються зниження втрат, масштабована нанофабрикація, надійне зчитування та CMOS-інтеграція. Загалом, магنونні нанопристрої еволюціонують від об'єктів фундаментальних досліджень до практичних технологічних рішень.

Ключові слова: магنونіка, спінові хвилі, наносистеми, антиферомагнетна магنونіка, магنونна логіка, нейроморфні обчислення, мікрохвильова електроніка, динаміка намагніченості.

Abstract. The main advances in magnonics over the past five years are analyzed. In 2021–2026, magnonics evolved from the study of individual spin-wave effects to the development of functional nanosystems for their generation, manipulation, and detection. Key achievements include low-loss waveguides and

resonators based on YIG, spin-wave amplification via spin-orbit torque, nonlinear effects, and coherent propagation in antiferromagnets. The material platform has expanded toward van der Waals magnets and hybrid quantum-magnonic systems. Spin-wave-based nanosystems are promising for low-power logic, neuromorphic and reservoir computing, microwave signal processing, and communication technologies. The main challenges remain loss reduction, scalable nanofabrication, reliable readout, and CMOS integration.

Overall, magnonic nanodevices are transitioning from objects of fundamental research to practical technological solutions.

Keywords: magnonics, spin waves, nanosystems, antiferromagnetic magnonics, magnonic logic, neuromorphic computing, microwave electronics, magnetization dynamics.

During the last five years, magnonics has advanced from the study of isolated spin-wave effects to the development of functional nanosystems capable of generating, guiding, transforming, amplifying, and detecting spin waves. This progress is important because spin waves can transport and process information without charge motion, offering a route toward low-power, high-frequency and highly compact devices. Recent work [1] shows that magnonics is becoming relevant not only for fundamental science but also for device-oriented applications, with particular emphasis on scalable waveguides, new material platforms, hybridization phenomena, microwave electronics, and unconventional computing.

One of the most important achievements has been the improvement of coherent spin-wave transport in nanoscale magnetic insulators, especially YIG-based systems [2]. Nanoscale resonators and engineered waveguides have demonstrated low-loss propagation and controllable confinement of spin waves, bringing magnonics closer to integrated on-chip circuitry. In parallel, active control of spin-wave propagation has significantly improved. A major step was the demonstration of true spin-wave amplification in nano-waveguides by spin-orbit torque. Together with recent results on second-harmonic generation and other nonlinear effects, this shows that magnonic

nanodevices are no longer only passive elements, but can perform amplification and frequency conversion needed for real circuits.

Another major breakthrough concerns active control of losses and nonlinear functionality [3]. For many years, amplification was the missing component of practical magnonic circuits. In 2024, true spin-wave amplification in magnonic nanowaveguides was demonstrated using clocked spin-orbit torque pulses, producing exponential growth in the intensity of propagating waves by up to 500% over micrometer distances. In the same period, nonlinear frequency conversion also became more realistic: resonant generation of propagating second-harmonic spin waves was experimentally realized in nano-waveguides using phase-matched modes of low-damping magnetic insulators. These advances are scientifically important because they move magnonics beyond passive transport into the regime of gain, wavelength conversion, and nonlinear signal processing. Practically, they are prerequisites for cascaded logic, compact microwave functional blocks, and neuromorphic hardware based on wave interference and threshold effects.

Another major direction is antiferromagnetic magnonics. In antiferromagnets such as hematite, coherent spin waves with very high group velocity and micrometer-scale propagation have been observed at room temperature [4]. These materials are especially promising for nanosystems because they support ultrafast dynamics, operate at high frequencies, and generate weak stray fields, which is advantageous for dense integration.

The material base of magnonics has also expanded. Along with traditional ferrimagnetic insulators, growing attention is being paid to van der Waals magnets and materials for quantum magnonics [5]. Their importance lies in the possibility of tuning magnetic properties by interfaces, strain, gating, and layer number, as well as in compatibility with hybrid nanosystems combining magnons with photons, phonons, and superconducting circuits.

From an application perspective, the last five years have been particularly productive [6,7]. Spin-wave logic has evolved toward reconfigurable, inverse-designed

devices, while neuromorphic and reservoir-computing schemes have demonstrated that nonlinear wave interference can be used for analog information processing. At the same time, magnonic resonators and wave-based elements are becoming attractive for microwave signal processing, including compact and selective communication filters. Another practically important advance is the emergence of efficient electrical and magnetoresistive detection methods, which are necessary for integrating magnonic devices into realistic electronic platforms.

Thus, the period 2021–2026 confirmed that spin waves in nanosystems based on magnetically ordered materials are evolving from an elegant research topic into a realistic technological platform. The key advances include low-loss nanoscale waveguiding, amplification, nonlinear signal processing, fast antiferromagnetic spin transport, new low-dimensional magnetic materials, and growing application potential in logic, neuromorphic computing, RF electronics, and quantum systems. The main remaining challenges are large-scale integration, reproducible nanofabrication, further reduction of losses, and the creation of fully compatible hybrid circuits, but the progress of the last five years clearly demonstrates the high scientific and practical significance of modern nano-magnonics.

REFERENCES

- [1] Flebus, B., Grundler, D., et al. (2024). The 2024 magnonics roadmap. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 36(36), 363501.
- [2] Qin, H., Bender, S. A., Du, C., et al. (2021). Nanoscale magnonic Fabry–Pérot resonator for low-loss spin-wave manipulation. *Nature Communications*, 12, 2293.
- [3] Merbouche, H., Beaulieu, N., et al. (2024). True amplification of spin waves in magnonic nanowaveguides. *Nature Communications*, 15.
- [4] Wang, H., Li, Y., et al. (2023). Long-distance coherent propagation of high-velocity antiferromagnetic spin waves. *Physical Review Letters*, 130(9), 096701.
- [5] Mañas-Valero, S., Cardona-Serra, S., et al. (2025). Fundamentals and applications of van der Waals magnets in magnon spintronics. *Cell Reports Physical Science*
- [6] Zenbaa, N., Fischer, T., et al. (2025). Realization of inverse-design magnonic logic gates. *Science Advances*, 11(3), eadu9032.
- [7] Papp, Á., Porod, W., & Csaba, G. (2021). Nanoscale neural network using nonlinear spin-wave interference. *Nature Communications*, 12, 6422.

Momot A.S., Yakunina N.O.

National Technical University of Ukraine

“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine,

email: a.momot@kpi.ua

MINIMISATION OF THE PARASITIC ELECTROMAGNETIC COMPONENT IN BROADBAND PVDF ULTRASONIC TRANSDUCERS

Abstract. This paper examines the problem of parasitic electromagnetic components arising during the excitation of ultrasonic transducers. A systematic analysis framework is proposed that combines equivalent electrical modeling, temporal separation of electromagnetic and acoustic components, and design strategies to mitigate interference at the source and along the propagation path. It is shown that, for broadband PVDF transducers, not only the material choice but also the excitation configuration, shielding, and measurement methodology are critical.

Keywords: PVDF, PZT, ultrasonic transducer, electromagnetic component, acoustic measurements.

Анотація. У роботі досліджено проблему виникнення паразитних електромагнітних складових під час збудження ультразвукового перетворювача. Запропоновано системний підхід до її аналізу, що поєднує оцінювання за еквівалентними електричними схемами, часове розділення електромагнітних та акустичних складових, а також конструктивні заходи для зменшення завад у джерелі та на шляху поширення сигналу. Показано, що для широкосмугових перетворювачів на основі PVDF визначальним є не лише вибір матеріалу, а насамперед конфігурація збудження, екранування та методика вимірювань.

Ключові слова: PVDF, PZT, ультразвуковий перетворювач, електромагнітна складова, акустичні вимірювання.

The parasitic electromagnetic component in ultrasonic transducers arises as a side effect of applying an electrical excitation signal to the active element, electrodes, cables, and surrounding conductive structures. At the moment of excitation, the transducer behaves not only as a source of mechanical vibrations but also as a source of a rapidly varying electric field, which can couple directly into neighboring circuits, sensors, amplifiers, and measurement equipment. Consequently, a signal appears in the system that is not related to the actual propagation of ultrasound in the medium.

This phenomenon is dangerous primarily because it distorts the assessment of the actual acoustic output during the monitoring and calibration of ultrasonic transducers. When measuring acoustic field parameters, such a component may be mistakenly interpreted as part of the useful acoustic response, thereby overestimating the actual amplitude, energy, or spectral width of the radiation. As a result, the calculated modes may not correspond to reality.

This is particularly critical for broadband and short-pulse modes, where the useful signal itself has a complex temporal and spectral structure. Under such conditions, the parasitic electromagnetic component can mask weak acoustic components, creating a false impression of a wider operating band or improved transducer output characteristics. Therefore, when designing ultrasonic systems, it must be considered as a separate source of error, rather than a negligible technical effect.

Previous studies of polymer ultrasonic transducers have shown that PVDF remains a key material for broadband systems, as it combines mechanical flexibility, a relatively low mechanical quality factor, and the ability to produce a broad spectral response [1].

Further analysis of the design principles of piezoelectric polymer transducers has shown that their electrical and acoustic characteristics are determined not by a single material property, but by a combination of parameters – film thickness, electrode configuration, matching, damping, and the external excitation circuit [2]. In this regard,

it is advisable to analyze the parasitic electromagnetic component in the context of the transducer's entire electromechanical structure.

Model-based and experimental studies of broadband PVDF transducers have confirmed that the physical structure significantly influences the center frequency, bandwidth, and signal amplitude [3]. At the same time, metrological studies on the measurement of acoustic field characteristics emphasize that a reliable assessment depends not only on the emitter but also on the receiving path's sensitivity to electromagnetic noise [4].

Another important area concerns the design-based reduction of crosstalk in piezoelectric systems. The work by L. Qiu et al. has shown that shielding conductors, rational design of the signal layer, and reduction of spatial electromagnetic coupling enable significant reductions in noise and cross-talk [5].

When it comes to the parasitic electromagnetic component of an ultrasonic transducer, given the same geometric dimensions, frequency, and applied voltage, a PZT transducer typically produces a stronger electromagnetic component than a PVDF transducer. The reason is that PZT ceramics have a significantly higher relative permittivity. Consequently, the capacitance of a PZT transducer is substantially greater.

This is important for the parasitic electromagnetic component because the transducer behaves electrically as a capacitive load:

$$C \approx \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{t}, \quad I \approx 2\pi f C V.$$

At the same voltage V , frequency f , area A , and thickness t , a higher ε_r in PZT means a higher bias current, a stronger magnetic field near the terminals, and, in general, a higher level of electromagnetic interference from cables and the driver.

If we compare driver materials at different voltages but the same acoustic power, it is not so much the material properties that become decisive, but rather the operating voltage, current, pulse shape, rise and fall times, current loop area, and shielding of the electrodes and cables. Because PVDF often requires a higher voltage

to achieve the same acoustic effect, its electrical component in a given design may be higher.

It is almost impossible to completely eliminate the parasitic electromagnetic component in a real system. It can only be reduced to a level that is significantly smaller than the acoustic signal or lower than the noise of the receiving path.

The most effective approach is not a single action, but a combination of measures in three areas: at the source of the interference, along its propagation path, and in the signal receiver. On the source side, it is necessary to reduce dV/dt , dI/dt , and the area of the current loops. This means short connections between the driver and the transducer, coaxial or triaxial feed, balanced differential excitation instead of single-ended with respect to ground, as well as a shielded metal driver housing with properly organized current return.

It is also important to shield the transducer correctly. It is best to shield the rear and side surfaces, leaving the working aperture open only where the acoustic output is formed. In other words, the design should function as a nearly solid Faraday cage with a minimal 'acoustic window'.

Another very effective technique is to make the excitation field as symmetrical as possible. If signals of equal magnitude but opposite polarity are applied to both electrodes, the external electromagnetic field is reduced, as a significant portion of the field is confined locally between the electrodes. This does not eliminate the parasitic component entirely, but often reduces it more effectively than simple mechanical shielding. This is precisely why differential excitation is, in many cases, preferable to asymmetric excitation.

Thus, minimizing the parasitic electromagnetic component is not a matter of a single local solution. The most promising approach is a combination of differential excitation, minimizing unshielded connections, shielding the driver and non-operating surfaces of the transducer, and a correct ground topology. The next stage in researching methods to reduce the electromagnetic component could involve conducting a series of

control hydrophone experiments using an equivalent capacitor, various shield configurations, and signal connection options to quantitatively assess the contribution of each measure in a real-world system.

REFERENCES

- [1] Sherar, M. D., & Foster, F. S. (1989). The design and fabrication of high frequency poly (vinylidene fluoride) transducers. *Ultrasonic Imaging*, 11(2), 75–94.
- [2] Brown, L. F. (2000). Design considerations for piezoelectric polymer ultrasound transducers. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, 47(6), 1377–1396.
- [3] Zheng, D.-D., Mao, Y., & Lv, S.-H. (2019). Research and validation of design principles for PVDF wideband ultrasonic transducers based on an equivalent circuit model. *Measurement*, 141, 324–331.
- [4] Harris, G. R., Lewin, P. A., Schafer, M. E., & Wear, K. A. (2023). Hydrophone measurements for biomedical ultrasound applications: A review. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, 70(2), 85–100.
- [5] Qiu, L., Yuan, S., Shi, X., & Huang, T. (2012). Design of piezoelectric transducer layer with electromagnetic shielding and high connection reliability. *Smart Materials and Structures*, 21(7), Article 075032.

Мосюк О.О., Хіст В.В.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна*

email: alexserrkwc@gmail.com

ВПЛИВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ІМПУЛЬСУ НА ЕЛЕКТРИЧНІ СИСТЕМИ ТА МЕТОДИ ЇХ ЗАХИСТУ

Анотація. У роботі розглянуто фізичну природу електромагнітного імпульсу (ЕМІ), механізми його деструктивного впливу на електронну інфраструктуру та методи інженерного захисту. Основну увагу приділено явищу електромагнітної індукції та пасивним методам екранування, зокрема використанню кліток Фарадея та спеціалізованих провідних покриттів.

Ключові слова: електромагнітний імпульс, клітка Фарадея, екранування, ядерний вибух, електромагнітна індукція, електричні системи.

Abstract. The paper examines the physical nature of electromagnetic pulses (EMP), the mechanisms of their destructive impact on electronic infrastructure, and methods of engineering protection. The main focus is placed on the phenomenon of electromagnetic induction and passive shielding techniques, in particular, the use of Faraday cages and specialized conductive coatings.

Keywords: electromagnetic pulse, Faraday cage, shielding, nuclear explosion, electromagnetic induction, electrical systems.

У сучасному світі функціонування суспільства значною мірою залежить від електричних та електронних систем. Порушення їх роботи може призвести до суттєвих економічних і технічних наслідків. Одним із факторів, здатних викликати такі порушення, є електромагнітний імпульс (ЕМІ).

Електромагнітний імпульс (ЕМІ) визначається як короткочасний інтенсивний сплеск електромагнітної енергії, здатний вивести з ладу або

пошкодити незахищені електронні пристрої. Він може генеруватися різними способами, зокрема під час ядерних вибухів на великій висоті або за допомогою високопотужних мікрохвильових джерел випромінювання, і впливати як на великі території, так і на конкретні цілі [1].

Метою роботи є аналіз фізичних принципів формування електромагнітного імпульсу, механізмів його впливу на електричні системи та основних інженерних методів захисту.

Електромагнітне поле є формою існування матерії, пов'язаною з рухом електричних зарядів. Різка зміна електромагнітного поля у просторі призводить до виникнення електромагнітного імпульсу – короткочасного інтенсивного викиду електромагнітної енергії з широким спектром частот.

Джерелами електромагнітного імпульсу можуть бути як природні явища (сонячні спалахи, грозові розряди), так і техногенні процеси (ядерні вибухи, спеціалізовані генератори ЕМІ). Особливістю явища ЕМІ є те, що швидкозмінні електромагнітні поля індукують значні напруги в електричних колах і провідниках, які проникають в обладнання у вигляді імпульсних перенапруг і струмів, спричиняючи порушення функціонування та можливе фізичне пошкодження. Електромагнітні імпульси застосовуються як у медичних технологіях, так і у військовій сфері.

Основний механізм, за допомогою якого ЕМІ пошкоджує електроніку, полягає в електромагнітній індукції. Коли швидкозмінне магнітне поле ЕМІ проходить через або поблизу провідних матеріалів, таких як дроти, антени чи провідні доріжки на друкованих платах, воно індукує в них електричний струм і напругу. Цей процес аналогічний принципу дії бездротових зарядних пристроїв, у яких змінне магнітне поле індукує струм у приймальній котушці.

Чим швидша та інтенсивніша зміна електромагнітного поля, тим більшими є індуквані напруга і струм. Кількісний опис цього явища

визначається законом електромагнітної індукції Фарадея: $\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt}$, де ε – електрорушійна сила (ЕРС), а $\frac{d\Phi}{dt}$ – швидкість зміни магнітного потоку.

Навіть якщо пристрій від'єднаний від мережі живлення, його внутрішні провідники та компоненти можуть діяти як антени, приймаючи електромагнітне випромінювання та індукуючи значні струми. Цей короткочасний імпульсний сплеск електричної енергії може перевантажити чутливі компоненти, що призводить до їх пошкодження або виходу з ладу [2].

ЕМІ здатний викликати значні порушення у роботі електричних систем. Основні наслідки включають: індукування перенапруг у провідниках; перевантаження електронних компонентів; порушення функціонування систем керування та зв'язку. Окрім того, вплив ЕМІ може призвести до відмови або повного руйнування чутливих електронних схем; виникнення коротких замикань і перегріву в електронних пристроях; пошкодження програмного забезпечення або втрати даних, що зберігаються в комп'ютерах та інших цифрових системах [3].

Клітка Фарадея є однією з найефективніших форм захисту від електромагнітних імпульсів. Названа на честь фізика Майкла Фарадея, ця конструкція складається з провідних матеріалів, які екранують внутрішній об'єм, перенаправляючи електромагнітну енергію по поверхні та запобігаючи її проникненню всередину. Коли ЕМІ взаємодіє з кліткою Фарадея, електричний струм проходить по провідній поверхні і частково розсіюється, зокрема через заземлення, залишаючи вміст захищеним.

Радіочастотне (RF) екранування є ще одним важливим аспектом комплексного захисту від електромагнітних імпульсів. Ця техніка забезпечує ослаблення електромагнітного випромінювання в широкому діапазоні частот, включаючи ті, що виникають під час подій ЕМІ [4]. Фактично клітка Фарадея є окремим випадком радіочастотного екранування.

Принцип роботи радіочастотного екранування полягає в одночасній дії кількох механізмів. Коли електромагнітна хвиля падає на провідний бар'єр, відбуваються три процеси. По-перше, значна частина хвилі відбивається від поверхні, аналогічно відбиттю світла від дзеркала. По-друге, частина енергії, що проникає в матеріал, поглинається та дисипує у вигляді тепла. По-третє, залишкова енергія, що досягає внутрішніх шарів матеріалу, зазнає багаторазових відбиттів, втрачаючи енергію під час кожного проходження [5].

Провідні покриття (екранувальні фарби) є додатковим засобом захисту. ЕМІ-екранувальна фарба працює шляхом введення провідних частинок – зазвичай вуглецю, міді або срібла – у водну або акрилову основу. Коли ці частинки формують суцільний провідний шар, він фактично створює ефект клітки Фарадея, що відбиває та частково поглинає електромагнітне випромінювання [6].

Отже, електромагнітний імпульс є важливим та небезпечним фактором, який впливає на надійність і працездатність сучасної електротехніки та електричних систем. Основним фізичним механізмом його впливу є електромагнітна індукція, внаслідок якої в провідниках індуються небезпечні струми та напруги. Основними методами захисту є екранування, використання клітки Фарадея та застосування провідних матеріалів. Розуміння фізичних механізмів дії ЕМІ дає змогу розробляти ефективні інженерні рішення для захисту електронного обладнання та зменшення його впливу на електричні системи.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Elsevier. (n.d.). Electromagnetic pulse.
- [2] Biology Insights. (n.d.). Why does an EMP destroy electronics?
- [3] Шевченко, І. (2025). ЕМІ – електромагнітний імпульс.
- [4] dB Absorber. (n.d.). Essential strategies for electromagnetic pulse protection of electronic devices.
- [5] Science Insights. (n.d.). What is RF shielding: How it works and where it's used.
- [6] EMF Safe Living. (n.d.). EMF shielding paints: Complete guide to conductive paint protection.

Нестеренко Д. Д., Строкач М.С.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна*

email: denisnesterenko486@gmail.com

РОЗВИТОК ДОСЛІДЖЕНЬ ПРО КВАНТОВІ ТОЧКИ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ В ЕЛЕКТРОНІЦІ

Анотація. У статті розглядаються історичні аспекти дослідження квантових точок, особливості їхньої будови, а також деякі ключові галузі їхнього практичного застосування в сучасних технологіях.

Ключові слова: квантові точки, нанотехнології, квантове обмеження, напівпровідники, люмінесценція, QLED-дисплей.

Abstract. This article examines the historical aspects of quantum dot research, their structural characteristics, as well as some key areas of their practical application in modern technologies.

Keywords: quantum dots, nanotechnology, quantum confinement, semiconductors, luminescence.

Стрімкий розвиток нанотехнологій упродовж останніх десятиліть сприяв появі нового класу матеріалів – напівпровідникових квантових точок, які мають унікальні електронні та оптичні властивості. Квантовими точками називають кристали нанометрового розміру з напівпровідниковими властивостями, що формуються на основі сполук перехідних металів із неметалами або металоїдами, найчастіше кремнію, германію та арсеніду галію. Оскільки нанокристали мають надзвичайно малі розміри (зазвичай від 2 до 10 нм у діаметрі), носії заряду всередині них зазнають квантового просторового обмеження (квантового конфайнменту) в усіх трьох вимірах. Зміна фізичного розміру квантової точки

безпосередньо впливає на ширину її забороненої зони, що дає змогу точно керувати оптичними характеристиками, зокрема спектром люмінесценції. Наприклад, найменші за розміром точки (близько 2–3 нм) випромінюють високоенергетичне короткохвильове світло синього кольору, тоді як більші нанокристали (до 10 нм) випромінюють менш енергетичне довгохвильове світло червоного діапазону спектра. Крім того, завдяки цій залежності квантові точки поглинають фотони з енергією, вищою за енергію їхнього власного випромінювання. Ця керована залежність властивостей від розміру полегшує застосування нанокристалів у багатьох галузях сучасної електроніки [1]. Сучасні квантові точки, як правило, мають форму, наближену до сферичної, та складаються переважно з ядра, оточеного шаром оболонки.

Наночастинки, що налічують приблизно від 100 до 10 000 атомів, характеризуються надзвичайно вузькими, симетричними та яскравими спектрами випромінювання. Виготовлення квантових точок вимагає висококонтрольованих умов синтезу, оскільки їхні властивості залежать від кількох чинників, таких як розмір, форма, наявність дефектів кристалічної ґратки та домішок.

Перше експериментальне підтвердження існування квантових точок здійснив фізик Олексій Єкімов у 1981 році в Державному оптичному інституті ім. С. І. Вавилова. Він виявив розмірноюзалежні оптичні ефекти, досліджуючи нанокристали хлориду міді, сформовані у скляній силікатній матриці. Важливий теоретичний фундамент для пояснення цього явища заклав фізик Олександр Ефрос, який математично описав вплив розміру напівпровідникової частинки на її енергетичний спектр. Невдовзі, у 1983 році, американський хімік Луїс Брюс із лабораторії AT&T Bell Laboratories незалежно спостерігав аналогічне явище в розчинах, ставши першовідкривачем колоїдних квантових точок. Досліджуючи оптичні властивості наночастинок, він встановив, що спектри поглинання та випромінювання змінюються у процесі зростання кристала. Брюс дійшов

висновку, що саме просторове обмеження електронів зумовлює ці унікальні властивості.

За ці дослідження у 2006 році О. Єкімов, О. Ефрос та Л. Брюс були нагороджені премією Р. Вуда Американського оптичного товариства.

Справжній технологічний прорив, який відкрив шлях до комерційного застосування, відбувся у 1993 році. Муні Бавенді, колишній дослідник-постдок Л. Брюс розробив метод гарячої інжекції для синтезу високоякісних квантових точок. Ця технологія дала змогу отримувати колоїдні суспензії з відхиленням у розмірах частинок меншим ніж 5 %, що дозволило надзвичайно точно налаштувати довжину хвилі їхньої флуоресценції.

Подальший розвиток наноматеріалів пов'язаний з роботою Філіпа Гайо-Сьоннеста та його команди в Чиказькому університеті, які у 1996 році синтезували перші квантові точки з ядром, оточеним оболонкою. Створення захисної оболонки навколо квантової точки дозволило підвищити яскравість і стабільність її світіння. Єкімов, Брюс та Бавенді були удостоєні Нобелівської премії з хімії 2023 року за їхній новаторський внесок у відкриття та розробку квантових точок, що перетворили теоретичні уявлення на один із найперспективніших напрямів сучасних технологій [2].

Технологія квантових точок швидко стала однією з найбільш перспективних інновацій у сучасних пристроях. Сфера їхнього використання охоплює біомедицину, каталіз, фотовольтаїку, а також створення фотопровідників і фотодетекторів, проте наймасовішим напрямом застосування залишаються дисплеї на основі технології світлодіодів на квантових точках (QLED).

Інтеграція цих наноструктур у матриці телевізорів і комп'ютерних моніторів дає змогу досягти високої яскравості, розширеного колірного охоплення та покращених характеристик розширеного динамічного діапазону (HDR). Зокрема, південнокорейська корпорація Samsung протягом останніх років

стала одним із лідерів інновацій на світовому ринку, активно досліджуючи та застосовуючи нанокристали у своїх технологічних розробках.

Лінійка QLED від Samsung, представлена у 2017 році, встановила новий технологічний стандарт на ринку преміальних дисплеїв і усунула частину обмежень, притаманних OLED-екранам. Застосування технології квантових точок із металевими домішками дало змогу вперше досягти 100% колірного об'єму за стандартом DCI-P3, що забезпечило високу точність передавання відтінків [3].

Квантові точки є свідченням того, як нанорозмірна інженерія може змінювати макроскопічні властивості матеріалів завдяки квантово-розмірним ефектам. Синтез, характеристика та застосування квантових точок залишаються активними напрямками досліджень. І хоча людство ще перебуває на шляху до повного усвідомлення потенціалу цих матеріалів, очевидно, що ці крихітні частинки вже здійснили революцію в сучасній електроніці та повсякденному житті.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Woodford, C. (2023). Quantum dots: Introduction to their science and applications. Explain that Stuff.
- [2] Картель, М., & Лобанов, В. (2023). Квантові точки – основа сучасного та майбутнього матеріалознавства. Вісник Національної академії наук України.
- [3] Samsung Україна. (n.d.). Що таке QLED-телевізор?

Орел А.Б., Муравська І.О., Лепеха В. В., Лінчевський І.В.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний

інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

email: orel.a.b.-zm51@edu.kpi.ua, muravska.i.o.-zm51@edu.kpi.ua,

lepekhav60@gmail.com, igorvl2009@gmail.com

СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАННЯ ЖЕСТИВ ДЛЯ ВІДДАЛЕНОГО ВВЕДЕННЯ ТЕКСТУ ЛЮДЬМИ З ЗАХВОРЮВАННЯМИ МОТОРНОЇ СИСТЕМИ

Анотація. У сучасних умовах зростання захворювань рухової системи актуальною є проблема забезпечення безбар'єрного цифрового доступу для осіб з есенціальним тремором та ампутацією або протезуванням верхніх кінцівок. Однією з ключових труднощів є введення тексту на сенсорних пристроях через порушення координації рухів і мимовільні скорочення м'язів. Голосовий ввід не завжди доцільний через обмеження конфіденційності, фоновий шум або вимоги тиші. Перспективним рішенням є система перетворення жестів у текст із компенсацією похибок, спричинених тремором.

Ключові слова: жестове введення, розпізнавання жестів, цифрова інклюзія, есенціальний тремор, ампутація верхніх кінцівок.

Abstract. With the growing prevalence of motor system disorders, ensuring accessible digital interaction for individuals with essential tremor and upper-limb amputation or prosthetics becomes increasingly important. A key challenge is text input on touch devices due to impaired coordination and involuntary muscle contractions. Voice input is not always suitable due to privacy, noise, or silent environments. A promising solution is a gesture-to-text system with compensation for tremor-induced errors.

Keywords: gestural input, gesture recognition, digital inclusion, essential tremor, upper-limb amputation.

Моторний тремор є поширеним симптомом, пов'язаним із такими неврологічними станами, як хвороба Паркінсона, есенціальний тремор та розсіяний склероз. Він суттєво впливає на дрібну моторику, роблячи традиційні методи введення тексту складними, повільними та схильними до помилок. Жестове введення тексту постає перспективною альтернативою традиційному друкуванню, даючи змогу користувачам вводити текст за допомогою безперервного руху, а не дискретних натискань клавіш. Проте більшість наявних систем жестового введення розроблені для користувачів зі стабільним моторним контролем і не є стійкими до мимовільних рухів, спричинених тремором.

Цей проєкт спрямований на усунення цієї прогалини шляхом розроблення та оцінювання підходу до введення тексту, спеціально адаптованого до моторних патернів, спричинених тремором. Моторний тремор визначають як мимовільний ритмічний коливальний рух частини тіла, що виникає внаслідок почергового або синхронного скорочення груп м'язів-антагоністів. Згідно з Елбле [1], тремор виникає через коливальну активність у системі керування рухами, що охоплює як периферичні, так і центральні нейронні механізми. Ці ритмічні скорочення м'язів відбуваються незалежно та накладаються на цілеспрямовані рухові дії, що спотворює траєкторії руху. Частота м'язових скорочень при треморі варіюється залежно від його типу та індивідуальних особливостей пацієнта. У роботі [1] зазначено, що фізіологічний та есенціальний тремор зазвичай мають частоту в діапазоні приблизно 4–12 Гц, і це відповідає кільком циклам коливань на секунду. Есенціальний тремор, зокрема, характеризується відносно стабільною частотою та амплітудою під час виконання тривалих поступальних або кінетичних завдань [2].

Есенціальний тремор є одним із найпоширеніших розладів рухової активності й передусім вражає верхні кінцівки, особливо під час виконання довільних дій [2]. Есенціальний тремор – це не просто перебільшена форма фізіологічного тремору, а окремий неврологічний стан зі специфічними часовими

та спектральними властивостями. Амплітуда тремору часто зростає під час цілеспрямованого руху, що робить завдання дрібної моторики особливо складними.

В інтерактивних системах, які покладаються на безперервне введення даних за допомогою руху, тремор проявляється як структурований періодичний шум. Регулярність частоти тремору дає підстави вважати, що алгоритми оброблення сигналів і розпізнавання можуть потенційно відокремлювати мимовільні осциляції від навмисних жестів. Це створює теоретичне підґрунтя для розроблення методів розпізнавання жестів, стійких до тремору, що має пряме відношення до створення доступних систем введення тексту для таких користувачів [1,2].

Система Manuscriptum – це система розпізнавання жестів у формі рукавички, яка перетворює рух на текстовий формат. Кожен жест зіставляється з базою даних на основі значень, отриманих від п'яти датчиків вигину, розташованих на рукавичці в ділянці пальців. Отримані дані передаються дротовим способом до інтегрованого мікроконтролера класу ESP, який фіксує ці зміни як падіння напруги через аналогово-цифровий перетворювач і виконує всі основні обчислювальні операції (Рис.1).

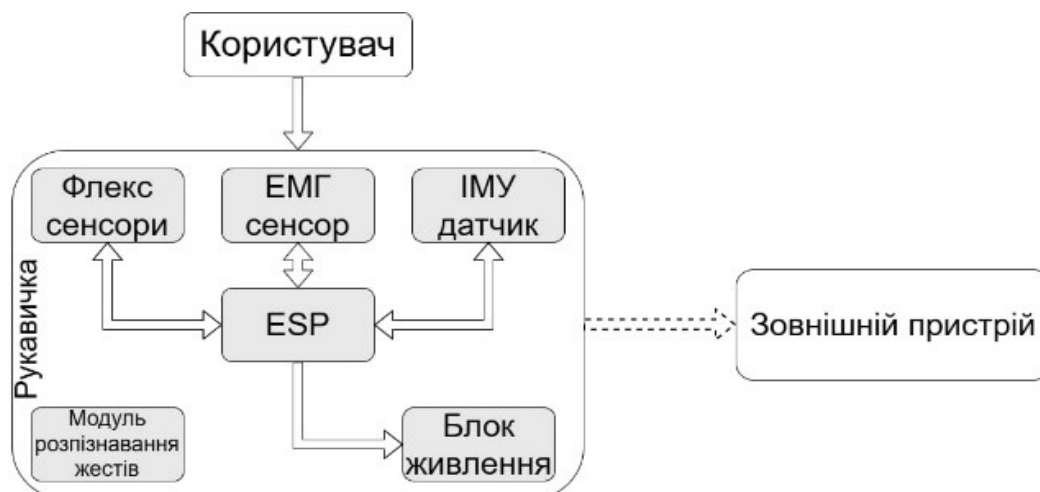


Рис.1 Принцип роботи рукавички

Робота пристрою базується на алгоритмі комплексної обробки даних про згинання пальців та просторове положення кисті. Зміна показників із датчиків вигину математично інтерпретується у відсоткове значення згинання пальця. Положення кисті додатково визначається за допомогою інерціального вимірювального модуля (ІМУ). Цей модуль фіксує кінематичні параметри: лінійне прискорення за допомогою акселерометра та кутову швидкість за допомогою гіроскопа. Для усунення гіроскопічного дрейфу та стабілізації просторових координат застосовуються алгоритми злиття даних, такі як комплементарний фільтр або фільтр Калмана. Оскільки частота мимовільних м'язових скорочень при треморі становить 4–12 Гц, ключовим завданням цифрового оброблення сигналів є відокремлення корисного руху від періодичного високочастотного шуму. Для цього в системі реалізовано математичну фільтрацію, що дає змогу згладжувати осциляції та підвищувати завадостійкість системи. Важливою особливістю системи є динамічна структура бази даних: вона може постійно поповнюватися за допомогою алгоритмів машинного навчання.

Для класифікації багатовимірних нелінійних даних використовуються відповідні математичні моделі, що дає змогу з високою точністю враховувати індивідуальні особливості моторики кожного користувача. База побудована на основі власнорозробленої системи жестів, яка не пов'язана з офіційною українською жестовою мовою (УЖМ), і повністю охоплює всі літери українського алфавіту.

Наразі передача даних та перетвореного тексту здійснюється через дротове з'єднання. У подальшому планується інтеграція технології Bluetooth для бездротової передачі тексту на зовнішні пристрої.

Отже, система Manuscriptum має потенціал стати універсальним інструментом комунікації для людей із різними типами моторних або сенсорних обмежень. Подальша розробка дасть змогу не лише забезпечити повне

відтворення українського алфавіту та розділових знаків, а й адаптувати систему до індивідуальних потреб користувачів.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

[1] McAuley, J., & Marsden, C. (2000). Physiological and pathological tremors and rhythmic central motor control. *Brain*, 123(8), 1545–1567.

[2] Elble, R. J. (2013). What is essential tremor? *Current Neurology and Neuroscience Reports*, 13(6), 353.

[3] Chen, Q. (2024). Design of human–computer interaction gesture recognition system based on a flexible biosensor. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 17, 180.

Підгайний Я. І., Марчук К. А., Іванова І. М.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна*

email:kimurdar123@gmail.com

ЧАРІВНІ МЕЗОНИ: ЩО МИ ЗНАЄМО ПРО НИХ ЗАРАЗ?

Анотація. У роботі стисло розглянуто історію передбачення с-кварка та відкриття J/ψ -мезона, що започаткувало «листопадову революцію» у фізиці частинок. Також окреслено сучасний стан спектроскопії чармованих мезонів і проблему інтерпретації екзотичних станів.

Ключові слова: чарм-кварк, J/ψ -мезон, екзотичні стани, спектроскопія мезонів.

Abstract. The paper briefly reviews the prediction of the c- quark and the discovery of the J/ψ meson, which triggered the «November Revolution» in particle physics. It also outlines the current state of charmed meson spectroscopy and the problem of interpreting exotic states.

Keywords: charm quark, J/ψ meson, exotic states, meson spectroscopy.

У 1970 році Дж. Бйоркен і Ш. Глешоу висунули гіпотезу існування четвертого кварка, яка спиралася на логіку кваркових дублетів і потребу узгодити тогочасну схему слабких взаємодій [1]. Цей гіпотетичний кварк дістав назву с-кварк, або «зачарований» кварк (від англ. charm). Саме від нього походить і термін «чармовані мезони» (charmed mesons), тобто мезони, до складу яких входить чарм-кварк.

У 1974 році дві незалежні експериментальні групи майже одночасно виявили нову частинку з масою близько $3,1 \text{ GeV}/c^2$, яка не вкладалася в межі тодішніх уявлень про адронну структуру [2; 3]. Частинку назвали J/ψ , оскільки

дві команди використовували різні позначення. Відкриття J/ψ -мезона стало подією революційного масштабу та увійшло в історію фізики як «листопадова революція» [4; 5].

Група Бертона Ріхтера на Стенфордському лінійному прискорювачі (SLAC) досліджувала зіткнення електронів і позитронів та аналізувала переріз народження адронів і мюонних пар. У ході експериментів було виявлено надзвичайно вузький резонансний пік великої інтенсивності поблизу $3,1 \text{ GeV}/c^2$ [2; 5]. Майже одночасно команда Семюела Тінга на прискорювачі AGS у Брукгейвенській національній лабораторії (Brookhaven National Laboratory), використовуючи пучок протонів енергією близько $28\text{--}30 \text{ GeV}$ і берилієву мішень, також отримала переконливі докази існування нового адрона з тією самою масою [1; 3].

Відкриття J/ψ -мезону стало переконливим свідченням реальності чарм-кварка. Уже в 1976 році Б. Ріхтер і С. Тінг отримали Нобелівську премію з фізики за відкриття нової важкої елементарної частинки [4; 5]. Цей результат суттєво зміцнив кваркову модель і відкрив шлях до побудови сучасної картини кваркового спектра.

За останні два десятиліття спектроскопія мезонів пережила справжнє відродження. Після відкриття стану $X(3872)$, який нині часто ідентифікують як $\chi_{c1}(3872)$, було зареєстровано багато нових станів, значна частина яких містить один або кілька чарм-кварків [6]. Саме ці об'єкти найчастіше пов'язують з так званими екзотичними адронами. Екзотичними зазвичай називають стани, квантові числа або внутрішня структура яких не пояснюються простою моделлю $q\bar{q}$ для мезонів або qqq для баріонів. У цьому контексті активно обговорюються тетракварки, молекулярні стани, гібриди та інші складні конфігурації. Саме тому сучасна спектроскопія чарм-мезонів є важливим полігоном для перевірки як кваркових моделей, так і більш загальних підходів квантової хромодинаміки [6].

Окремий інтерес становлять рідкісні розпади чармонію, пов'язані з нейтральними струмами, що змінюють аромат кварків (FCNC). У межах Стандартної моделі такі процеси можливі лише на петльовому рівні, тому їхні ефекти сильно пригнічені. Через це дослідження FCNC-переходів у чарм-секторі розглядають як потенційний інструмент пошуку фізики поза межами Стандартної моделі.

Відкриття J/ψ -мезона стало переконливим свідченням реальності c -кварка. Уже в 1976 році Б. Ріхтер і С. Тінг отримали Нобелівську премію з фізики за відкриття нової важкої елементарної частинки [4; 5]. Цей результат суттєво зміцнив кваркову модель і відкрив шлях до побудови сучасної картини спектра адронів.

За останні два десятиліття спектроскопія мезонів пережила інтенсивний розвиток. Після відкриття стану $X(3872)$, який нині часто ідентифікують як $\chi_{c1}(3872)$, було зареєстровано значну кількість нових резонансних станів, більшість із яких містить один або кілька c -кварків [6]. Саме ці об'єкти найчастіше пов'язують із так званими екзотичними адронами.

Екзотичними зазвичай називають стани, квантові числа або внутрішня структура яких не пояснюються простою моделлю $q\bar{q}$ для мезонів або qqq для баріонів. У цьому контексті активно досліджуються тетракваркові конфігурації, адронні молекули, гібридні стани та інші складні структури. Саме тому сучасна спектроскопія чармованих мезонів є важливим полігоном для перевірки як кваркових моделей, так і більш загальних підходів квантової хромодинаміки (QCD) [6].

Окремий інтерес становлять рідкісні розпади чармонію, пов'язані з нейтральними струмами, що змінюють аромат кварків (FCNC, flavor-changing neutral currents). У межах Стандартної моделі такі процеси можливі лише на петльовому рівні, тому їхні ефекти сильно пригнічені. У зв'язку з цим

дослідження FCNC-переходів у чарм-секторі розглядають як перспективний інструмент пошуку фізики поза межами Стандартної моделі.

Отже, історія чарівних мезонів поєднує яскравий етап становлення кваркової моделі та одну з найдинамічніших сучасних тем фізики високих енергій. Від першого відкриття J/ψ -мезону до дослідження екзотичних чарм-вмісних станів ця галузь залишається важливою для розуміння структури адронної матерії.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Ting, S. C. C. (1976). The discovery of the J particle. Nobel Lecture.
- [2] Ting, S. C. C. (2025). Discovery of the J particle at Brookhaven National Laboratory and the physics of electrons and positrons. HEP & HI.
- [3] Ting, S. C. C. (1977). The discovery of the J particle: A personal recollection. *Reviews of Modern Physics*, 49, 235–247.
- [4] Nobel Prize Outreach AB. (1976). The 1976 Nobel Prize in Physics: Press release.
- [5] *Physics Today*. (1976). Nobel prize to Richter and Ting for discovery of J/ψ . *Physics Today*, 29(12), 17.
- [6] American Physical Society. (2016). Exotic hadrons on the rise. *Physics*, 9, Article 22

Решетняк С.О.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна*

email: s.reshetnyak@kpi.ua

СПІНОВІ ХВИЛІ: ВІД ТЕОРІЇ ДО СПІНТРОННИХ ПРИЛАДІВ

Анотація. В статті розглянуто історію розвитку досліджень у галузі магнетизму, присвячених проблемам поширення спінових хвиль. Відтворено хронологію розвитку відповідних термінів та наукових здобутків. Проаналізовано еволюцію теоретичних і прикладних досліджень, а також розвиток можливостей щодо створення технологічних пристроїв, дія яких ґрунтується на особливостях поширення спінових хвиль.

Ключові слова: спінові хвилі, намагніченість, магнітне поле, обмінна взаємодія, магноніка, спінтроніка.

Abstract. The article reviews the historical development of magnetism research focused on spin wave propagation. It reconstructs the chronology of relevant terminology and scientific milestones. The paper analyzes the evolution of theoretical and applied studies, as well as the advancements in developing technological devices based on the specific characteristics of spin wave propagation.

Keywords: spin waves, magnetization, magnetic field, exchange interaction, magnonics, spintronics.

Спінові хвилі – це колективні збудження в магнітних матеріалах, які є узгодженими прецесіями магнітних моментів (спінів) навколо напрямку рівноважної намагніченості. Кожен спін не просто відхиляється на певний кут, обертаючись самостійно, а через сильну обмінну взаємодію впливає на сусідні спіни, створюючи неперервну хвилю фазового зсуву, що поширюється

кристалічною ґраткою.

Історія розвитку розділу фізики магнітних явищ, який нині називають магنونікою, та який присвячений проблемам поширення спінових хвиль, розпочалася задовго до появи цього терміна. Фундамент цього напрямку було закладено у 1930 році Феліксом Блохом [1], який, описуючи температурну залежність намагніченості ферромагнетиків, увів поняття колективних збуджень спінової системи – спінових хвиль. Учений сформулював знаменитий закон « $T^3/2$ », що пояснює зменшення намагніченості зі зростанням температури внаслідок виникнення квазічастинок, пов'язаних зі спін-хвильовими коливаннями в межах концепції корпускулярно-хвильового дуалізму, – так званих магنونів.

Пізніше, у 1940 році, Гольштейн і Примаков [2] запропонували математичний апарат для подання спінових операторів через квантові оператори народження та знищення, що дало змогу квантувати спінові хвилі як магтони. У 1950-х роках дослідження перейшли в площину експериментального та феноменологічного опису.

Важливим етапом стало запровадження Деймоном та Ешбахом в 1961 році поняття *магностатичних хвиль* [3], які описали поверхневі моди у ферромагнітних пластинах. Особливе місце в історії посідає залізо-ітрієвий гранат (YIG). Завдяки рекордно низькому загасанню цей діелектрик став «кремнієм магنونіки». Дослідження низки вчених цього періоду заклали основу для створення надвисокочастотних фільтрів та ліній затримки.

З розвитком технологій наплення у 1980-х роках увага змістилася до багатощарових структур. Відкриття гігантського магнитоопору (GMR) Фертом і Грюнбергом [4, 5], за яке вони отримали Нобелівську премію у 2007 році, продемонструвало, як спінові хвилі та спіновий транспорт взаємодіють на інтерфейсах. Поява магنونних кристалів (аналогів фотонних кристалів) дала змогу штучно керувати дисперсією спінових хвиль за допомогою періодичної

зміни параметрів середовища.

У 1990-х – 2000-х роках було показано, що градієнти внутрішнього магнітного поля або зміна геометрії магнітних матеріалів можуть формувати хвильоводи, лінзи й призми для магنونів [6]. Це відкрило можливість створення магنونних лінз і систем паралельної обробки інформації без використання електричних струмів. Зокрема, на кафедрі загальної та експериментальної фізики КПІ ім. Ігоря Сікорського спільно з Інститутом магнетизму НАН України та МОН України було розроблено концепцію геометричної оптики спінових хвиль [8], яка полягає в тому, що спінові хвилі можуть заломлюватися, відбиватися та фокусуватися подібно до світла.

Термін «спінтроніка» (spin electronics, spintronics) став популярним наприкінці 1990-х років після успіху впровадження магнітних головок зчитування для жорстких дисків комп'ютерів. «Магنونіка» як окремий напрям сформовано близько 2006 року. Основна ідея магنونіки полягає у використанні спінових хвиль як носіїв інформації, де дані кодуються амплітудою або фазою хвилі. Ключовим прикладом став магنونний логічний затвор (transistor), де потік магنونів керується іншим магنونним потоком або електричним полем [9].

Серед найбільш цікавих напрямів сучасних досліджень в області спінових хвиль можна виокремити такі:

- *Антиферромагнітна спінтроніка* [10]: використання антиферромагнетиків, що дозволяє досягти терагерцових частот та нульових полів розсіювання.
- *Нейроморфні обчислення* [11]: використання інтерференції спінових хвиль для створення фізичних нейронних мереж.
- *Квантова магنونіка* [12]: вивчення окремих магنونів та їх зв'язку з квантовими кубітами.

Спінтронні прилади вже давно набули широкого практичного застосування. Зокрема, крім вже згаданих зчитувальних головок жорстких

дисків, що використовують сенсори на основі тунельного магнітоопору, поширеними є: магніторезистивна пам'ять (STT-MRAM), що використовує спінополяризований струм для перемикання магнітного стану комірки (spin-transfer torque); спінові вентиля та сенсори кута/положення, що використовуються в автомобілебудуванні та робототехніці (датчики ABS, вимірювачі швидкості обертання колінвала, безконтактні потенціометри, що працюють на ефекті гігантського магнітоопору); спін-торк осцилятори (нанорозмірні генератори надвисокочастотних сигналів, які є перспективними для створення надкомпактних передавачів систем зв'язку 6G та нейроморфних процесорів); магнітні логічні затвори, в яких інформація передається не електронами, а спіновими хвилями; спінові діоди, здатні випрямляти надвисокочастотні сигнали за допомогою магнітного резонансу та можуть використовуватися для збирання енергії з навколишнього середовища (наприклад, зарядка від хвиль Wi-Fi) тощо.

Слід зазначити, що подальший розвиток наноелектроніки значною мірою пов'язаний із розвитком досліджень спінових хвиль, оскільки спітронні прилади здатні працювати в терагерцовому діапазоні частот, що сприяє мініатюризації відповідної елементної бази, створеної на основі магнітних матеріалів.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Bloch, F. (1930). Zur Theorie des Ferromagnetismus. *Zeitschrift für Physik*, 61(3–4), 206–219. <https://doi.org/10.1007/BF01339661>
- [2] Holstein, T., & Primakoff, H. (1940). Field dependence of the intrinsic domain magnetization of a ferromagnet. *Physical Review*, 58(12), 1098–1113. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.58.1098>
- [3] Damon, R. W., & Eshbach, J. R. (1961). Magnetostatic modes of a ferromagnet slab. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 19(3–4), 308–320. [https://doi.org/10.1016/0022-3697\(61\)90041-5](https://doi.org/10.1016/0022-3697(61)90041-5)
- [4] Baibich, M. N., Broto, J. M., Fert, A., Van Dau, F. N., Petroff, F., Etienne, P., Creuzet, G., Friederich, A., & Chazelas, J. (1988). Giant magnetoresistance of (001)Fe/(001)Cr magnetic superlattices. *Physical Review Letters*, 61(21), 2472–2475. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.61.2472>
- [5] Binasch, G., Grünberg, P., Saurenbach, F., & Zinn, W. (1989). Enhanced

- magnetoresistance in layered magnetic structures with antiferromagnetic interlayer exchange. *Physical Review B*, 39(7), 4828–4830. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.39.4828>
- [6] O'Keefe, T. W., & Patterson, R. W. (1978). Magnetostatic surface-wave propagation in finite samples. *Journal of Applied Physics*, 49(9), 4886–4895. <https://doi.org/10.1063/1.325522>
- [7] Demokritov, S. O., Hillebrands, B., & Slavin, A. N. (2001). Brillouin light scattering studies of confined spin waves: Linear and nonlinear confinement. *Physics Reports*, 348(6), 441–489. [https://doi.org/10.1016/S0370-1573\(00\)00116-2](https://doi.org/10.1016/S0370-1573(00)00116-2)
- [8] Gorobets, Yu. I., & Reshetnyak, S. A. (1998). Reflection and refraction of spin waves in uniaxial magnets in the geometrical-optics approximation. *Technical Physics*, 43(2), 188–191. <https://doi.org/10.1134/1.1258965>
- [9] Kruglyak, V. V., Demokritov, S. O., & Grundler, D. (2010). Magnonics. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 43(26), Article 264001. <https://doi.org/10.1088/0022-3727/43/26/264001>
- [10] Baltz, V., Manchon, A., Tsoi, M., Moriyama, T., Ono, T., & Tserkovnyak, Y. (2018). Antiferromagnetic spintronics. *Reviews of Modern Physics*, 90(1), Article 015005. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.90.015005>
- [11] Grollier, J., Querlioz, D., Rewitz, K. Y., & Stiles, M. D. (2020). Neuromorphic spintronics. *Nature Electronics*, 3(7), 360–370. <https://doi.org/10.1038/s41928-019-0360-9>
- [12] Lachance-Quirion, D., Tabuchi, Y., Gloppe, A., Usami, K., & Nakamura, Y. (2019). Hybrid quantum systems based on magnonics. *Applied Physics Express*, 12(7), Article 070101. <https://doi.org/10.7567/1882-0786/ab248d>

Русаков В.Ф.¹, Чабаненко В.В.²,

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна,

email: v.rusakov@kpi.ua

²Донецький фізико-технічний інститут ім. О. О. Галкіна

НАН України, Україна

МАГНІТНІ ВЛАСТИВОСТІ НАДПРОВІДНИКІВ

Анотація. Наведено огляд особливостей поведінки надпровідників у зовнішньому магнітному полі. Показано, що за певних значень зовнішніх параметрів на діаграмах стану виникають, «заборонені зони» для стрибків потоку. Розглянуто явище магнітострикції і екрануючі властивості порожніх напровідникових виробів.

Ключові слова: надпровідники I та II роду, критичне поле, термомагнітні нестійкості, магнітострикція.

Abstract. An overview of the peculiarities of the behavior of superconductors in an external magnetic field is given. It is shown that for certain values of external parameters, “forbidden zones” for flux jumps appear on the state diagrams. The phenomenon of magnetostriction and shielding properties of hollow superconducting products are considered.

Keywords: superconductors of the I and II kind, critical field, thermomagnetic instabilities, magnetostriction.

Явище надпровідності було відкрито Г. Камерлінг–Оннесом у 1911 році. Коли речовина переходить у надпровідний стан, її властивості суттєво змінюються. Температура, за якої це відбувається, називається критичною температурою T_c . Зокрема: опір на постійному струмі стрибком падає до нуля,

також стрибком змінюється теплоємність. При поміщенні надпровідника у зовнішнє магнітне поле спостерігається повний або частковий ефект Мейснера–Оксенфельда, який полягає у повному або частковому витісненні магнітного поля з надпровідника. Відповідно до поведінки надпровідників у зовнішньому магнітному полі вони розділяються на два типи: надпровідники I і II роду. Якщо надпровідник I роду, який знаходиться у надпровідному стані ($T < T_c$), помістити у змінне зовнішнє магнітне поле, то при досягненні певного значення індукції B_c поле проникає у зразок, речовина переходить у нормальний стан, це, так зване, критичне магнітне поле. Для надпровідників I роду $B_c \approx 0,1$ Тл, що робить практично неможливим їх застосування у технічних приладах.

Поведінка надпровідників II роду у надпровідному стані щодо зміни магнітного поля суттєво відрізняється. Спочатку спостерігається повний ефект Мейснера–Оксенфельда – поле не проникає у зразок. При досягненні певного значення індукції B_{c1} , першого критичного поля, магнітне поле починає проникати у зразок, але надпровідний стан не руйнується, він називається змішаним станом. Цей стан було відкрито Л. В. Шубніковим. Як показав А. А. Абрикосов, магнітне поле проникає у зразок у вигляді окремих вихорів, взаємодія яких з дефектами та неоднорідностями матеріалу і між собою, власне і визначають магнітні властивості надпровідників другого роду. Закріплення вихорів на домішках або дефектах кристалу називається пінінгом. При подальшому зростанні індукції магнітного поля, поле усередині зразка зростає і при досягненні значення індукції B_{c2} надпровідний стан руйнується – це друге критичне поле. У низькотемпературних надпровідників воно досягає десятків, а у високотемпературних – сотень тесла. Саме цей факт і зумовлює широке технічне застосування надпровідників II роду: у прискорювачах елементарних частинок, електрогенераторах, електродвигунах тощо. Однак з самого початку застосування надпровідників II роду у високострумівих і високопольових приладах виникла суттєва проблема: за певних умов магнітне поле стрибком

проникало у зразок, руйнуючи надпровідний стан і виводячи з ладу увесь пристрій. Це так зване явище термомагнітної нестійкості. Стрибки потоку спостерігаються в усіх надпровідниках, які застосовуються у технічних приладах. Питання запобігання виникненню термомагнітних лавин, є важливим і до теперішнього часу є актуальним.

Нами проводилося вивчення магнітних властивостей надпровідників з використанням рівняння теплопровідності, рівнянь Максвелла і різних моделей критичного стану.

У роботі [1] термомагнітні нестабільності надпровідників були досліджені експериментально та теоретично. Дослідження було проведене для різних моделей критичних станів. Були побудовані (H–T) діаграми магнітне поле–температура нестабільності критичних станів надпровідників. З’ясовано, що за певних значень зовнішніх параметрів (магнітне поле і температура) на діаграмах виникають, «заборонені зони» для виникнення стрибків потоку, тобто при роботі у цих інтервалах критичний стан зберігає стійкість.

При дослідженні поведінки надпровідників у змінному магнітному полі було відкрито явище магнітострикції, яке полягає в тому, що, як і у феромагнетиках, змінюються форма і розміри зразка. Але її механізм суттєво відрізняється. Магнітострикція надпровідників зумовлена магнітним тиском на межі зразка і рухом вихорів Абрикосова, які взаємодіють з центрами піннінга, що і зумовлює деформацію зразка при зміні магнітного поля і, за певних умов, може призвести навіть до руйнування зразка. Явище було відкрито у високотемпературних надпровідниках, пізніше з’ясувалося, що воно проявляється і у низькотемпературних надпровідниках, зокрема у NbTi і Nb₃Al [2,3]. Ці матеріали цікаві з точки зору технічних застосувань. Сполука NbTi є найбільш вживаним надпровідником при виготовленні приладів з надпровідними елементами, оскільки має якісні надпровідні властивості і високу пластичність, що значно полегшує обробку. Надпровідний Nb₃Al використовується у приладах,

які працюють за високих магнітних полів. Він застосовується для виготовлення дротів для отримання надпровідних магнітів з високими полями. У роботі [3] було показано, що у Nb_3Al за певних умов виникає гігантська магнітострикція, крім того виникають стрибки магнітострикції. Виявлені явища пояснені в моделі магнітострикції, індукованої силами піннінга і специфічною, з пік-ефектом, залежністю густини критичного струму від магнітного поля.

У 2001 році було відкрито надпровідник II роду – діборид магнію MgB_2 з критичною температурою $T_c \approx 39K$, що значно вище за звичайні металічні та інтерметалічні надпровідники. MgB_2 може використовуватись за температур рідкого водню, що значно здешевшує його практичне застосування. Він займає проміжне положення між низькотемпературними надпровідниками, які працюють за температур кошовного рідкого гелію і високотемпературними, які є більш кошовними як за складом, так і за технологією виготовлення. У роботі [4] було досліджено стійкість критичного стану MgB_2 , проаналізовано його магнітні і термічні властивості. Показано, що при виборі стійких режимів роботи надпровідних виробів з дібориду магнію необхідно враховувати залежність теплоємності від магнітного поля. Явища, що спостерігаються, пояснюються специфічними магнітними і термічними властивостями надпровідника.

Особливості проникнення магнітного поля у надпровідники, зокрема ефект Мейснера, призводять до того, що усередині порожнього надпровідного циліндра магнітне поле дорівнює нулю, якщо товщина його стінок більша за глибину проникнення поля. Це означає, що надпровідники можуть застосовуватись у як екрани магнітного поля. З'ясувалося, що термомагнітні властивості двозв'язних надпровідників, (наприклад кілець, порожніх циліндрів) суттєво відрізняються від однозв'язних. У роботі [5] досліджена просторова і часова динаміка термомагнітних лавин у надпровідному $NbTi$ кільці і порожньому циліндрі. Експериментально показано, що умови стійкості для критичного стану у кільці суттєво відрізняються від умов у суцільному диску.

Діапазон нестабільності за магнітним полем критичного стану у кільці майже удвічі ширший ніж у диску. Суттєво змінюється температурна залежність величини магнітного потоку, що входить у зразок. Величина магнітного потоку, що входить у кільце під час лавин при збільшенні зовнішнього магнітного поля, зменшується обернено пропорційно індукції поля, тоді як для диска спостерігається значно повільніше зменшення і майже за лінійним законом. Отримані результати для динамічного відгуку надпровідного порожнього циліндра демонструють сильний вплив порожнини на стійкість критичного стану. Усі ці результати є важливими і повинні враховуватись у технічних застосуваннях розглянутих надпровідників.

Намагнічені надпровідні диски, які є постійними магнітами, широко застосовуються у технічних приладах, таких як генератори, двигуни тощо. Особливістю їх застосування є багатократне повторення різкого перемагнічування, що впливає на їхні характеристики. У роботі [6] досліджено поведінку таких магнітів і виявлено пряму кореляцію між магнітним впливом і поведінкою захопленого магнітного потоку. *Ступінчасте збільшення або зменшення* зовнішнього поля, протилежного за напрямком полю захопленого магнітного потоку, викликає відповідне *зменшення або збільшення* величини індукції магніту. Значні зміни захопленого магнітного потоку, спричинені електромагнітними збуреннями, пояснюють зниження потужності та втрати на обертання у цих пристроях. Отримані результати аналізу поведінки захопленого магнітного потоку у змінних полях мають важливе значення для підвищення продуктивності та надійності надпровідних магнітів у системах генерації енергії, магнітної левітації та інших застосуваннях, пов'язаних з полями, що змінюються у часі.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Chabanenko, V. V., D'yachenko, A. I., Zalutskii, M. V., Rusakov, V. F., Szymczak, H., Piechota, S., & Nabialek, A. (2000). Magnetothermal instabilities in type-II superconductors: The influence of magnetic irreversibility. *Journal of Applied Physics*, 88, 5875-5884. <https://doi.org/10.1063/1.1314611>
- [2] Nabialek, A., Vasiliev, S., Chabanenko, V.V., Aleksyeyev, P., Rusakov, V.F., Piechota, S., & Szymczak, H. (2006). Giant Magnetostriction Jumps in Conventional NbTi Superconductor. *Acta Physica Polonica A*, 109, 633-639. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.109.633>
- [3] Nabialek, A., Chabanenko, V.V., Rusakov, V.F., Vasiliev, S., Kabdin, N.N., Szymczak, H., ..., Kononogov, S.A. (2005). Giant magnetostriction and flux jumps in superconducting Nb₃Al polycrystalline slab. *Journal of Low Temperature Physics*, 139, 239-246. <https://doi.org/10.1007/s10909-005-3927-y>
- [4] Chabanenko, V.V., Puzniak, R., Nabialek, A., Vasiliev, S., Rusakov, V.F., Huanqian, L., ..., Finkel, V. (2003). Flux jumps and H-T diagram of instability for MgB₂. *Journal of Low Temperature Physics*, 130, 175-191. <https://doi.org/10.1023/A:1022236117354>
- [5] Chabanenko, V. V., Nabiałek, A., Puźniak, R. & Rusakov, V. F. (2023). Avalanche dynamics of magnetic flux in the Nb-Ti superconducting ring. *Superconductor Science and Technology*, 36, 035010. <https://doi.org/10.1088/1361-6668/acb10f>
- [6] Chabanenko, V.V., Abaloszewa, I., Rusakov, V. F., Kuchuk, O. I., Chumak, O.M., Nabiałek, A., ..., Escudero, R. (2026). Magnetic induction and its evaluation in superconducting disc under electromagnetic exposure. *Superconductor Science and Technology*, 39, 035001. <https://doi.org/10.1088/1361-6668/ae4830>

Стеценко О.Є, Хіст В.В.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна
email: prizvishesasha@gmail.com*

ФІЗИЧНІ ОСНОВИ РОБОТИ СИСТЕМ ППО: ВІД ВИЯВЛЕННЯ ДО УРАЖЕННЯ ЦІЛІ

Анотація. У роботі розглянуто фундаментальні фізичні принципи функціонування сучасних систем протиповітряної оборони (ППО) в умовах протидії високоточній зброї та безпілотним літальним апаратам (БПЛА). Проаналізовано радіолокаційне виявлення цілей на основі рівняння дальності радіолокаційної станції (РЛС) та селекцію рухомих об'єктів із використанням ефекту Доплера. Особливу увагу приділено системам самонаведення, де порівнюються методи супроводження через ракету (TVM) та активного радіолокаційного наведення, що забезпечують реалізацію концепції «hit-to-kill». Досліджено вплив обмежень технічних систем, атмосферного згасання та засобів РЕБ на точність ураження. Показано ключову роль цифрової обробки сигналів у підвищенні ефективності перехоплення.

Ключові слова: протиповітряна оборона; радіолокація; ефект Доплера; самонаведення; пропорційна навігація; РЕБ; «hit-to-kill».

Abstract. We examine the fundamental physical principles of modern air defense systems (ADS) in countering precision-guided weapons and unmanned aerial vehicles (UAVs). Radar detection based on the radar range equation and Doppler-based target selection is analyzed. Particular attention is given to homing systems, where methods of missile tracking (TVM) and active radar guidance are compared, enabling the “hit-to-kill” concept. The impact of technical system limitations, atmospheric

attenuation, and electronic warfare (EW) on accuracy is examined. The key role of digital signal processing in improving interception effectiveness is demonstrated.

Keywords: air defense; radar; Doppler effect; missile guidance; proportional navigation; electronic warfare; “hit-to-kill”.

У сучасних умовах, коли життя людини залежить не лише від випадкових обставин, а й від ефективності високотехнологічних систем активного захисту, розвиток у галузі протиповітряної оборони стає пріоритетним завданням для інженерної спільноти. На тлі стрімкої еволюції засобів повітряного ураження зростає роль систем протиповітряної оборони як засобу захисту від високоточних видів озброєння та безпілотних літальних апаратів. Це зумовлює необхідність аналізу фізичних принципів їх функціонування та переходу до стратегій активного перехоплення загроз у реальному часі за допомогою систем, що реалізують концепцію «hard kill». Цей принцип передбачає фізичну нейтралізацію загрози до моменту її контакту з об'єктом захисту [1].

Метою даної роботи є системний аналіз фізичних принципів, що забезпечують повний функціональний цикл ППО: від первинного виявлення цілі в електромагнітному спектрі до її безпосереднього фізичного знищення.

Сучасна ППО – це інтегрована мережа, що складається з сенсорів виявлення, систем керування вогнем та засобів ураження, які функціонують у межах трьох фаз польоту: старту, маршової ділянки (де часто використовується зовнішнє цілевказання) та термінальної фази самонаведення [7].

Фундаментальним етапом роботи ППО є виявлення цілі, яке базується переважно на технології радіолокації. Сучасні РЛС, такі як AN/TPS-43E або AN/TPS-75, випромінюють електромагнітні хвилі, які поширюються у просторі зі швидкістю світла та відбиваються від поверхонь об'єктів [1]. Ефективність цього процесу описується фундаментальним рівнянням радіолокації, згідно з

яким потужність сигналу, що повертається до приймача, зменшується пропорційно четвертому степеню відстані до об'єкта [6]:

$$R_{max} = \sqrt[4]{\frac{P_s G^2 \lambda^2 \sigma}{P_{e_{min}} (4\pi)^3}}, \text{ де } R_{max} \text{ — позначає максимальну дальність}$$

виявлення, що залежить від потужності передавача P_s , підсилення антени G , довжини хвилі λ , ефективної площі розсіювання цілі σ та мінімальної чутливості приймача $P_{e_{min}}$

Важливу роль у цьому процесі відіграє ефективна площа розсіювання (ЕПР) цілі, яка характеризує її здатність відбивати енергію назад до антени радара [6]. Оскільки швидкість поширення хвиль є сталою величиною, система

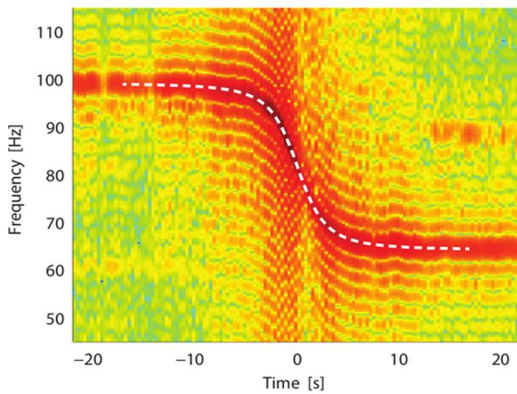


Рис. 1. Спектрограма ефекту Доплера

точно обчислює дальність до цілі за вимірним інтервалом часу між випромінюванням імпульсу та прийманням відбитого сигналу. Для повного визначення координат об'єкта та аналізу частотного зсуву Доплера для знаходження радіальної швидкості. Ефект Доплера полягає у зміні частоти сигналу через відносний рух цілі (рис. 1), що математично виражається як: $\omega = \gamma_s \gamma_r \omega_0$ [2]. Тут ω та ω_0 —

зареєстрована та базова частоти відповідно, а γ_s і γ_r — кінематичні фактори джерела та спостерігача. Аналіз цього зсуву дозволяє системі не лише точно вираховувати радіальну швидкість об'єкта, а й ефективно відфільтровувати нерухомі перешкоди від поверхні землі чи хвиль [6]. Після захоплення цілі система переходить у режим супроводу.

В ідеалізованому випадку планарного перехоплення (рис. 2) фінальна стадія ураження цілі базується на складних кінематичних законах, серед яких найбільш вживаним у сучасній техніці є закон пропорційної навігації [4]. Для алгоритмів самонаведення критично важливою є оцінка промаху за нульового зусилля (ZEM), яка для доповненої пропорційної навігації обчислюється як:

$$ZEM_{APN} = r_y + v_y t_{go} + \frac{1}{2} a_T t_{go}^2,$$

що залежить від поточних відносних координат r_y і швидкості v_y , розрахункового часу до зустрічі t_{go} та поперечного прискорення (маневру) цілі $\frac{1}{2} a_T t_{go}^2$. Саме введення цієї оцінки в алгоритм теоретично вирішує проблему перехоплення надманеврених цілей, дозволяючи бортовому комп'ютеру ракети завчасно прогнозувати майбутнє положення об'єкта та реагувати на випередження [6].

Еволюція цих технологій призвела до створення різних методів наведення, від Track-via-Missile (TVM) у Patriot PAC-2, де дані відбитого сигналу транслюються для обробки на землю [7], до повністю активного радіолокаційного самонаведення у ракетах PAC-3. Використання міліметрового Ка-діапазону в активних головках забезпечує екстремальну роздільну здатність, необхідну для реалізації технології прямого кінетичного удару «Hit-to-Kill», що гарантує знищення боєголовки балістичної ракети виключно за рахунок енергії зіткнення [1]. Поряд із радіолокаційними методами, для ураження цілей широко застосовується інфрачервоне (теплове) самонаведення. Фізика цього процесу

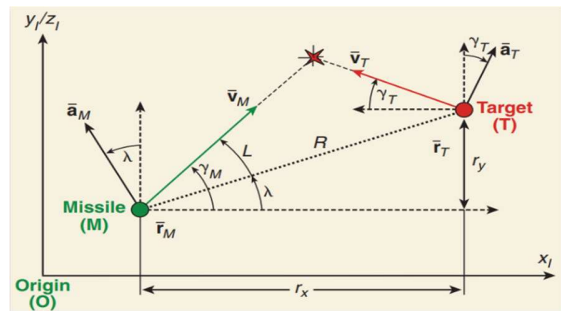


Рис. 2. Кінематика планарного перехоплення

глибоко базується на принципі зворотного зв'язку: оптико-електронний сенсор безперервно генерує електричний сигнал помилки відносно лінії візування, який бортовий комп'ютер та автопілот перетворюють на команди для аеродинамічних керм ракети, постійно зводячи відхилення до нуля аж до моменту ураження [8].

Незважаючи на високу точність, реальні системи стикаються з фізичними обмеженнями, такими як атмосферне згасання сигналів через дисипацію енергії

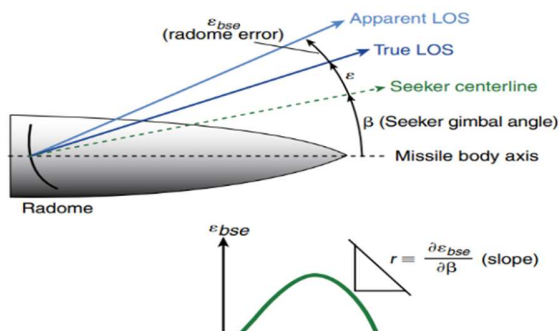


Рис. 3. Створення лінії візування через електромагнітну рефракцію на обтічнику ракети

та поглинання ІЧ-випромінювання вологою [8]. Зокрема, акустичні системи виявлення піддаються впливу вітру та температурних градієнтів. Це фізичне явище описується залежністю швидкості звуку від температури повітря на заданій висоті: $c(h) = c(0) \cdot \sqrt{\frac{t(h)+273.15}{273.15}}$, де $c(0)$ –

базова швидкість звуку, а $t(h)$ – температура в градусах Цельсія, 273.15 – фізична стала для переведення температури в абсолютну шкалу Кельвіна [2]. Зміна температури з висотою заломлює (рефрагує) звукові хвилі, створюючи похибки у локації. Зі свого боку, радіолокаційні системи вимагають складних алгоритмів фільтрації для подолання сцинтиляційних шумів. Крім того, інженерною проблемою є рефракція хвиль через захисний обтічник ракети (рис. 3), що створює похибку вимірювання кута на ціль і вимагає програмної компенсації для підтримки стабільності зворотного зв'язку в контурі керування [3].

Підсумовуючи викладене, зазначимо, що сучасна протиповітряна оборона є результатом глибокої інтеграції законів електродинаміки, термодинаміки та теорії автоматичного керування. Перехід від пасивних методів захисту до інтелектуальних систем активного перехоплення дає змогу ефективно нейтралізувати сучасні високоточні загрози на безпечній відстані [1, 5]. Вирішальну роль у цьому процесі відіграє цифрова обробка сигналів, яка

забезпечує високу точність супроводу та наведення навіть в умовах інтенсивних атмосферних завад і активної радіоелектронної протидії противника.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Bondarenko, M., Gabrinets, V., & Vorobei, M. (б.д.). Active Protection Systems Against Precision Weapons and Their Prospects.
- [2] Суханевич, Р. В. (б.д.). Акустична локація літаючих дозвукових об'єктів.
- [3] Palumbo, N. F., Blauwkamp, R. A., & Lloyd, J. M. (б.д.). Basic Principles of Homing Guidance.
- [4] Palumbo, N. F., Blauwkamp, R. A., & Lloyd, J. M. (б.д.). Modern Homing Missile Guidance Theory and Techniques.
- [5] Національний Фронт. (б.д.). Як ППО збиває ракету. Вилучено з <https://nfront.org.ua/yak-ppo-zbyvaye-raketu/>
- [6] Wolff, C. (б.д.). The Radar Range Equation. RadarTutorial.eu. Вилучено з <https://www.radartutorial.eu/01.basics/The%20Radar%20Range%20Equation.en.ht>
- [7] Federation of American Scientists (FAS). (б.д.). Missile Guidance Fundamentals. Вилучено з <https://man.fas.org/dod-101/navy/docs/fun/part15.htm>
- [8] Air Power Australia. (б.д.). Electro-optical Systems – Infrared Guidance. Вилучено з <https://www.ausairpower.net/TE-IR-Guidance.html>

Тарас Є-Д.І., Чижська Т.Г.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний

інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

email: ekaterinanasinnik@gmail.com; chijskaya@gmail.com.

ІНФРАЗВУК: КОРИСНИЙ І ШКІДЛИВИЙ

Анотація. У тезах висвітлено поняття «інфразвук» та його фізичний зміст. Проаналізовано вплив інфразвуку на людину як у мегаполісі, так і в умовах підприємства. Особливу увагу приділено питанням боротьби з негативним впливом інфразвуку на людину. Також окреслено використання інфразвуку для дослідження процесів у надрах Землі, тобто прогнозування виверження вулканів, землетрусів тощо.

Ключові слова: інфразвук, джерела інфразвуку, вплив на людину, використання інфразвуку.

Abstract. These theses consider the concept of "infrasound", its physical meaning. The impact of infrasound on humans both in a metropolis and at an enterprise. Attention is paid to combating the negative impact of infrasound on humans. The issue of using infrasound to study the "life" of the planet, i.e. predicting volcanic eruptions, earthquakes, etc., is also considered.

Keywords: infrasound, sources of infrasound, impact on humans, use of infrasound.

Перше знайомство з поняттям «звук» в учнів відбувається в дев'ятому класі. Звук – це фізичне явище, що є механічною хвилею частотою від 20 до 20 000 Гц. Джерела звуку – це різноманітні тіла, що коливаються з частотою 20–20 000 Гц. Так, джерелами звуку є мембрани навушників і струни музичних інструментів, дифузори гучномовців і крила комах, частини машин тощо [1]. Наведене визначення поняття «звук» передбачає, що саме в цьому діапазоні людина чує звук. Однак існують коливання, частота яких є більшою або меншою за зазначений діапазон.

Звукові хвилі, частота яких менша за 20 Гц, називають інфразвуковими (від лат. *Infra* – нижче, під). Інфразвукові хвилі виникають під час роботи деяких механізмів, у разі вибухів, обвалів, потужних поривів вітру, під час шторму, землетрусу тощо. Інфразвук є дуже небезпечним для тварин і людини: він може викликати симптоми морської хвороби, запаморочення, порушення зору, підвищену агресивність. У разі тривалої дії інтенсивне інфразвукове випромінювання може призвести до зупинки серця. При цьому людина навіть не розуміє, що відбувається, адже вона не чує інфразвук [1].

Інфразвук має ту саму фізичну природу, що й акустичний звук, але має кілька особливостей:

- вищу, ніж в акустичних хвилях, амплітуду коливань за однакової потужності джерела звуку;
- поширення на значну відстань від джерела через слабе поглинання його атмосферним повітрям;
- створення явища дифракції через велику довжину хвилі;
- здатність створювати вібрацію великих об'єктів через явище резонансу.

Джерела утворення інфразвуку різні. До природних належать грози (електричні розряди), сильні вітри (особливо над морями), сонячні спалахи, виверження вулканів, землетруси. Навіть порівняно невеликий шторм породжує інфразвуки потужністю 90 кВт. Антропогенними джерелами інфразвуку є міський транспорт, а також процеси, пов'язані з пострілами, вибухами та обвалами. У промисловості інфразвук повсякденно генерують заводські вентилятори, турбіни, повітряні компресори, дизелі, а також інші повільно працюючі машини. Саме тому в сучасному світі виникла проблема інфразвукового забруднення [2]. Високий рівень інфразвуку викликає порушення функції вестибулярного апарату, зумовлюючи запаморочення, головний біль, зниження уваги та працездатності [3]

Фахівці Інституту громадського здоров'я імені О. М. Марзєєва Національної академії медичних наук України розробили відповідні державні

санітарні норми «Допустимі рівні інфразвуку в приміщеннях житлових та громадських будинків і на прилеглих до них територіях».

Згідно з цими нормами, інфразвук класифікують за двома характеристиками:

- постійний, рівень звукового тиску якого змінюється не більш ніж на 10 дБ за 1 хвилину спостереження;
- непостійний, рівень звукового тиску якого змінюється більш ніж на 10 дБ за 1 хвилину спостереження.

Однак, окрім негативного впливу на здоров'я людини інфразвук має також певні корисні властивості. Так, інфразвук використовують у геофізиці, зокрема для прогнозування сейсмічної активності, штормів, вивержень вулканів та інших природних катаклізмів, оскільки він здатний поширюватися на великі відстані та фіксуватися спеціальними приладами ще до настання небезпечних явищ. Також інфразвук застосовують у системах моніторингу навколишнього середовища, що дає змогу своєчасно виявляти джерела природних і техногенних процесів. У медицині інфразвук використовується обмежено та під суворим контролем, переважно в експериментальних дослідженнях впливу низькочастотних коливань на організм людини.

Як показує огляд літератури, інфразвук є досить «підступним» сусідом людини, оскільки його дія часто є непомітною, але може мати тривалі негативні наслідки. Тому вчені докладають значних зусиль для мінімізації впливу інфразвуку на людину як на виробництві, так і в побуті, зокрема шляхом розроблення санітарних норм, удосконалення технічних засобів захисту та впровадження сучасних методів контролю рівнів інфразвуку.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Бар'яхтар, В. Г., Довгий, С. О., Божинова, Ф. Я., & Кірюхіна, О. О. (2017). *Фізика: Підручник для 9 кл. загальноосвіт. навч. закл.* (В. Г. Бар'яхтар & С. О. Довгий, Ред.). Ранок.
- [2] Сергеев, Д. В. (б. д.). *Особливості впливу інфразвуку на людину*. Open Archive NURE.
- [3] Атаманчук, П. С., Мендерецький, В. В., Панчук, О. П., & Чорна, О. Г. (2011). *Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник*. Центр учбової літератури.

Татуєва Є. О., Лінчевський І.В.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна*

email: igorvl2009@gmail.com

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ НАНОТЕХНОЛОГІЙ

Анотація. Одним із перспективних напрямів підвищення ефективності сонячних елементів є використання нанофотонних структур, зокрема плазмонних наночастинок. Проведений аналіз наукових джерел показує, що застосування плазмонних покриттів у фотовольтаїчних пристроях дозволяє зменшити відбиття світла від поверхні, збільшити кути його розсіювання та, відповідно, підвищити ефективну довжину оптичного шляху фотонів у фотоактивному шарі. Локалізовані поверхневі плазмонні резонанси сприяють значному підсиленню електромагнітного поля поблизу наночастинок, що підвищує ймовірність поглинання випромінювання. У практичній частині роботи було виміряно вольт-амперні характеристики сонячного елемента за контрольованих умов. Представлено експериментальні залежності для зразка без плазмонних наночастинок срібла (AgNPs) та з їх використанням. Побудовано розрахункові графіки залежності потужності від напруги. Показано, що застосування наночастинок срібла призводить до зростання максимальної вихідної потужності сонячного елемента на 22%.

Ключові слова: плазмонні наночастинок, сонячні елементи, локалізований поверхневий плазмонний резонанс, світлорозсіяння, фотострум, нанофотоніка, AgNPs, метаповерхні.

Abstract. One of the promising approaches to improving the efficiency of solar cells is the use of nanophotonic structures, particularly plasmonic nanoparticles. A

review of scientific literature shows that plasmonic coatings in photovoltaic devices can reduce surface reflection, increase light scattering angles, and thereby enhance the effective optical path length of photons in the photoactive layer. Localized surface plasmon resonances generate strong electromagnetic fields near nanoparticles, increasing the probability of light absorption.

In the experimental part of this study, the current–voltage (I–V) characteristics of a solar cell were measured under controlled conditions. Experimental results are presented for both a reference solar cell without silver nanoparticles (AgNPs) and a modified cell incorporating AgNPs. Calculated power–voltage characteristics were obtained. It is shown that incorporating silver nanoparticles increases the solar cell's maximum output power by 22%.

Keywords: plasmonic nanoparticles, photovoltaic solar cells, localized surface plasmon resonance (LSPR), light scattering, photocurrent enhancement, nanophotonics, silver nanoparticles (AgNPs), metasurfaces.

У зв'язку зі зростанням світового попиту на сонячну енергію дослідження нових підходів до підвищення ефективності сонячних елементів набувають особливого значення. Традиційні кремнієві сонячні елементи досягли високого рівня ефективності, однак подальше зростання ККД елемента з одним р–п переходом при освітленні стандартним сонячним спектром майже досягає межі Шоклі–Квайссера [1].

Одним із перспективних напрямів підвищення ефективності є використання нанофотонних структур, зокрема плазмонних наночастинок. Плазмонні покриття в сонячних елементах дозволяють зменшити відбиття світла поверхнею, збільшити кути його розсіювання в матеріалі та, відповідно, підвищити довжину оптичного шляху фотонів у фотоактивному шарі.

Локалізовані поверхневі плазмонні резонанси створюють сильні електромагнітні поля поблизу наночастинок. Завдяки цьому відбувається значне

підсилення електричного поля в наномасштабних областях [2], що збільшує ймовірність поглинання фотонів.

Для створення плазмонних покриттів найчастіше використовують [3]: Ag – завдяки сильному плазмонному ефекту, Au – через високу хімічну стабільність, Al – як дешевшу альтернативу, а також наноструктуровані діелектрики з металевими включеннями. Найбільш поширеними у фотовольтаїці є наночастинки срібла.

Незважаючи на значний потенціал плазмонних структур, існує низка важливих проблем: металеві наноструктури можуть спричиняти паразитне поглинання світла, а їх виготовлення потребує складних технологічних процесів. Отже, використання плазмонних ефектів відкриває нові можливості для створення високоефективних сонячних елементів нового покоління.

У практичній частині роботи було виміряно вольт-амперні характеристики (ВАХ) сонячного елемента. Вимірювання здійснювалися за контрольованих умов освітлення. Як джерело світла використовувалася галогенна лампа з інтенсивністю випромінювання 100 мВт/см^2 . Усі дослідження проводилися за кімнатної температури. Площа сонячного елемента становила $1 \times 1 \text{ см}^2$.

На рис. 1 представлено експериментальні вольт-амперні характеристики сонячного елемента в темряві та при освітленні галогенною лампою для зразків без AgNPs і з AgNPs.

На рис. 2 наведено графіки залежності потужності від напруги для сонячного елемента без AgNPs та з їх використанням. Показано, що зростання максимальної потужності за рахунок нанесення наночастинок срібла становить 22%.

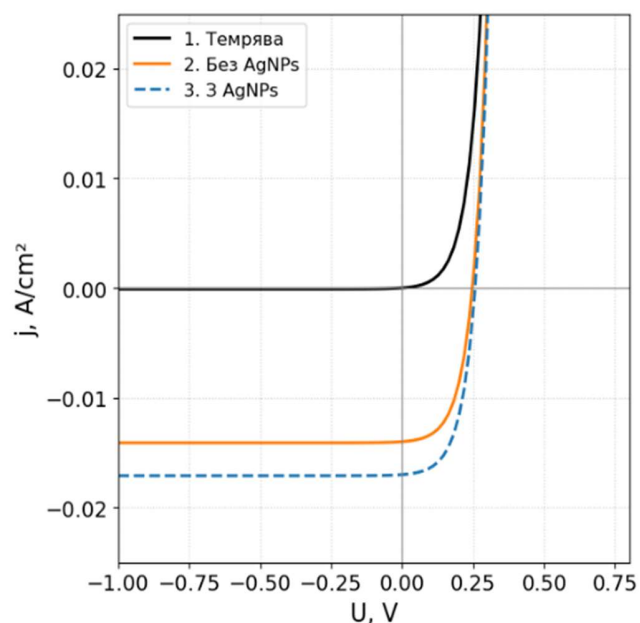


Рис.1. ВАХ сонячного елемента
1) у темряві; 2) із використанням
галогенної лампи (без AgNPs);
3) з AgNPs.

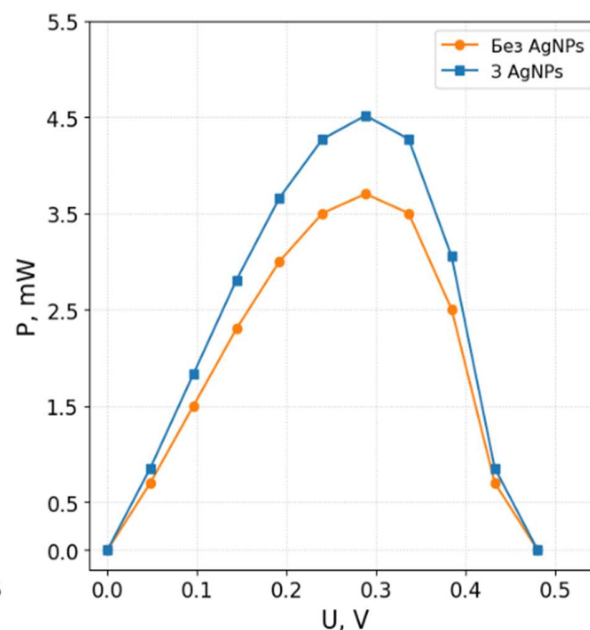


Рис 2. Графік залежності
потужності від напруги сонячного
елемента (без AgNPs) та з AgNPs.

Плазмонні наноструктури та метаповерхні є перспективними інструментами для підвищення ефективності сонячних елементів. Завдяки здатності керувати світлом на наномасштабному рівні, ці структури можуть значно поліпшити поглинання сонячного випромінювання.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Shockley, W., & Queisser, H. J. (1961). Detailed balance limit of efficiency of p–n junction solar cells. *Journal of Applied Physics*, 32, 510–519. <https://doi.org/10.1063/1.1736034>
- [2] Atwater, H. A., & Polman, A. (2010). Plasmonics for improved photovoltaic devices. *Nature Materials*, 9, 205–213. <https://www.nature.com/articles/nmat2629>
- [3] Akhtary, N., et al. (2023). TiN plasmonic nanoparticles for solar cells. *Optics Continuum*, 2(7), 1701–1715. <https://doi.org/10.1364/OPTCON.493184>

Українець Б. В., Іванова І.М.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна*

email: aliensoq1@gmail.com

ЧАСТИНКА МАЙОРАНИ ТА ЇЇ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ ПОШУК

Анотація. У роботі розглянуто теоретичну ядерну реакцію – безнейтринний подвійний бета-розпад ($0\nu\beta\beta$), спостереження якої в експерименті доведе як існування частинок Майорани, так і те, що нейтрино є ферміоном Майорани. Описано сучасний стан пошуків у рамках експерименту LEGEND. Розглянуто методи боротьби з шумами, конструкцію експериментальної установки та методи обробки експериментальних даних.

Ключові слова: Ферміон Майорани; частинка Майорани; LEGEND; подвійний безнейтринний бета розпад.

Abstract. This work reviews the theoretical nuclear reaction, neutrinoless double beta decay ($0\nu\beta\beta$), the observation of which in an experiment would prove both the existence of Majorana particles and that the neutrino is a Majorana fermion. The current state of research within the LEGEND experiment is described. Methods for noise reduction, experimental setup design, and data processing are reviewed.

Keywords: Majorana fermion; Majorana particle; LEGEND; neutrinoless double beta decay.

У 1937 році Еttore Майорана опублікував роботу, в якій йшлося про симетричний розв'язок рівнянь Дірака, який описував ферміон який і є своєю античастинкою. Сьогодні ця концепція називається ферміоном Майорани. Експериментально доведено, що в природі існує звичайний подвійний бета розпад ($2\nu\beta\beta$) (Рис. 1). Але якщо припустити, що частинки Майорани існують, і

нейтрино є такою частинкою, то цілком можливий і подвійний безнейтринний бета розпад ($0\nu\beta\beta$) (Рис . 2).

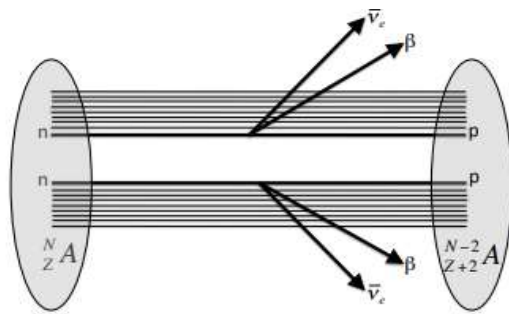


Рис. 1

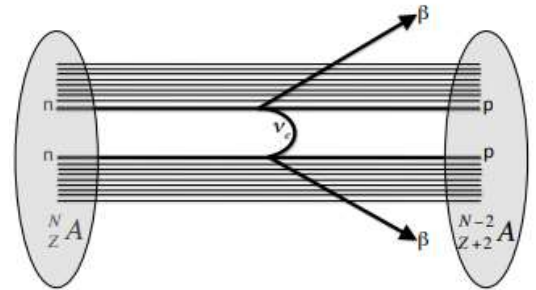


Рис. 2

Якщо спостерігати спектр енергії електронів, що випромінюються зразом, який може зазнавати подвійного бета-розпаду, то, якщо подвійний безнейтринний бета-розпад ($0\nu\beta\beta$) існує, то ми побачимо пік справа (Рис. 3). У цьому випадку вся енергія реакції ($0\nu\beta\beta$) буде винесене двома електронами, на відміну від ($2\nu\beta\beta$), де частина енергії буде винесена двома нейтрино.

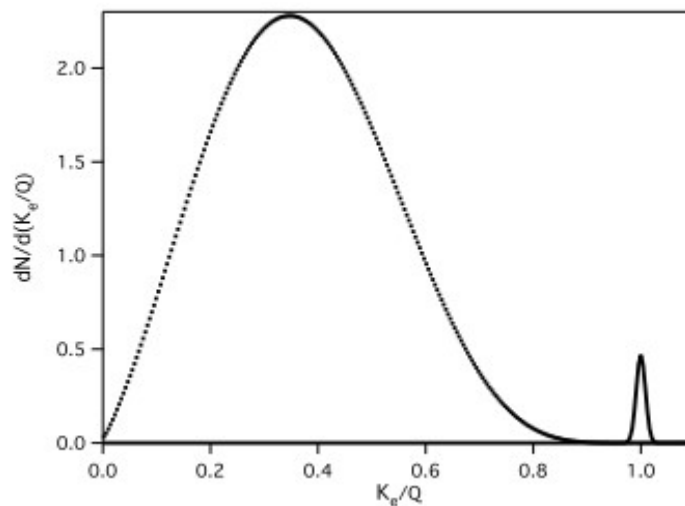


Рис. 3 Спектр суми енергій двох електронів від $\beta\beta(2\nu)$ та $\beta\beta(0\nu)$ [1]

Цю гіпотезу і намагається перевірити команда LEGEND. Головна проблема, що спостерігається в ході експерименту, – це шуми. Для запобігання систематичній похибці експериментальна установка розташована на глибині

1500 м під гірським масивом, щоб зменшити число високоенергетичних частинок, які приходять з космосу. Детектори виготовлені з германію-74, він може виконувати роль, як детектора, так і сенсора. Також варто зазначити, що каркаси, які знаходяться біля детекторів, виготовлені з міді, яка осаджена електролітичним способом для зменшення радіоактивних домішок.

Для запобігання випадковим похибкам використовується метод (PSD) pulse shape discrimination, тобто якщо форма сигналу не схожа на очікувану форму ($2\nu\beta\beta$), то сигнал не записується. Основні германієві детектори обгорнуті додатковим шаром детекторів, які фіксують мюони. Якщо допоміжні детектори фіксують сигнал, то в цей момент дані з основних детекторів не враховуються (muon veto). Бета-розпад відбувається локально, тому якщо сигнал буде одночасно зареєстрований в багатьох датчиках, то такі сигнали не враховуються (multiplicity cut). Германієві датчики знаходяться в рідкому аргоні, який має властивість світитися при взаємодії з гама-випромінюванням. У момент, коли аргон світиться, сигнали не враховуються.

У вересні 2024 року команда LEGEND представила результати експерименту на той момент [2,3]. Піку в неочікуваному місці не було отримано (Рис. 4).

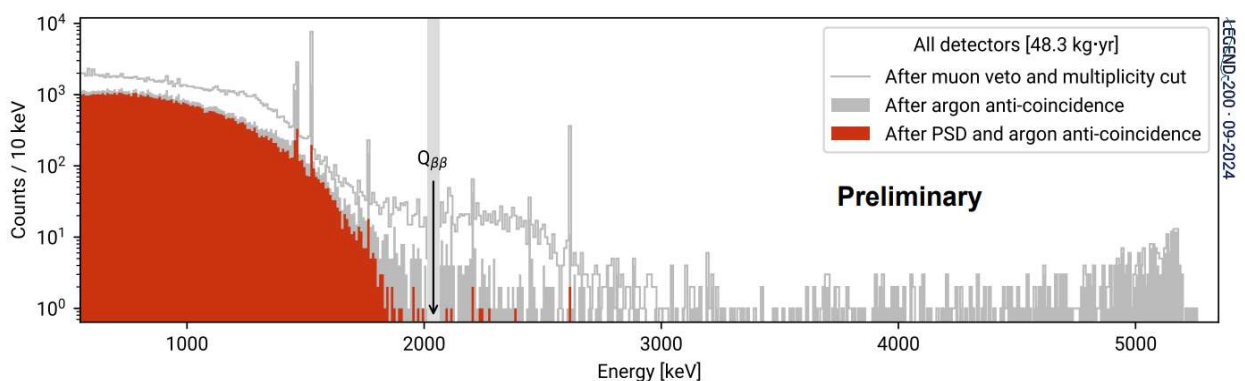


Рис. 4 Розподіл енергії подій у діапазоні від 565 до 5300 кеВ [2]

Не всі гіпотези справджуються, і в природі може не існувати ($0\nu\beta\beta$), або чутливості експерименту недостатньо для виявлення цієї ядерної реакції. Але якщо ($0\nu\beta\beta$) існує, це буде означати існування ферміонів Майорани, не виконання закону збереження лептонного заряду в деяких реакціях, та багато іншого.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Elliott, S. R., & Franz, M. (2015). Colloquium: Majorana fermions in nuclear, particle and solid-state physics. *Reviews of Modern Physics*, 87, 137.
- [2] Brugnera, R. (2025). Neutrinoless double-beta decay search with the LEGEND experiment. *Journal of Instrumentation*, 20, C03050.
- [3] The LEGEND Collaboration. (2025). First physics results from LEGEND-200 published in *Physical Review Letters*.

Ферт А. М., Джежеря Ю.І.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна*

email:fert47336@gmail.com

КОМПЛЕКСНА ОПТИМІЗАЦІЯ ТРАЄКТОРІЙ ТА АЛГОРИТМІВ КЕРУВАННЯ РУХОМ АВТОНОМНИХ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Анотація. Доповідь присвячена комплексному аналізу методів оптимізації траєкторій та алгоритмів керування рухом автономних безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Розглянуто теоретичні основи кінематики, стратегії глобального та локального планування шляху, а також сучасні методи згладжування траєкторій. Особливу увагу приділено розвитку групової автономії (ройового інтелекту) та стійкості навігаційних систем в умовах радіоелектронної боротьби (РЕБ).

Ключові слова: безпілотні літальні апарати (БПЛА), оптимізація траєкторії, алгоритми планування шляху, згладжування руху, ройовий інтелект, автономна навігація.

Abstract. The report presents a comprehensive analysis of trajectory optimization methods and motion control algorithms for autonomous unmanned aerial vehicles (UAVs). Theoretical foundations of kinematics, strategies for global and local path planning, and modern trajectory smoothing methods are considered. Special attention is paid to the development of group autonomy (swarm intelligence), and the resilience of navigation systems in electronic warfare (EW) environments.

Keywords: unmanned aerial vehicles (UAVs), trajectory optimization, path planning algorithms, motion smoothing, swarm intelligence, autonomous navigation.

Сьогодні в авіоніці та робототехніці відбувається очевидний зсув: розробники масово відмовляються від ручного керування дронами, роблячи ставку на повну автономність. Безпілотники мають самостійно виконувати завдання там, де людина просто не може або не встигає втрутитися. Для цього потрібне ефективне керування польотом на підставі адекватної математичної моделі. Саме вона перетворює абстрактні координати на вектор руху з огляду на аеродинаміку та перешкоди навколо [1].

У процесі руху необхідно здійснювати корекцію напрямку швидкості залежно від змін швидкості та напрямку руху об'єкта, за яким ведеться спостереження. Якщо дрон летить до заданої цілі, його необхідний кут напрямку (курс) φ обчислюється через співвідношення векторів швидкості:

$$\varphi = \arctan\left(\frac{u_y}{u_x}\right)$$

Якщо говорити про тривимірний простір, то точність тут залежить від того, наскільки швидко бортовий комп'ютер узгоджує інерціальну систему координат із зв'язаною (корпусною) системою самого дрона. Зазвичай для цього використовують кути Ейлера (крен, тангаж та рискання) та відповідні матриці повороту.

Сама оптимізація польоту проходить у кілька етапів. Спочатку будується глобальний маршрут. Тут у нагоді стають такі відомі алгоритми, як A*, Дейкстри або RRT*. Вони непогано прокладають шлях в обхід статичних перешкод, але є одна проблема: маршрут часто виходить «ламаним». Якщо дрон спробує пролетіти такою траєкторією на високій швидкості, йому доведеться різко гальмувати на кожному повороті. Це не тільки розхитує апарат, а й марно спалює заряд батареї. Тому отриманий маршрут обов'язково згладжують. Досить добре для мультироторів зарекомендував себе метод Minimum Snap. Його суть полягає

в мінімізації четвертої похідної положення (снєпу) $p^{(4)}(t)$ на всьому відрізку часу польоту T , що математично записується як цільова функція:

$$J = \min \int_0^T \left(p^{(4)}(t) \right)^2 dt$$

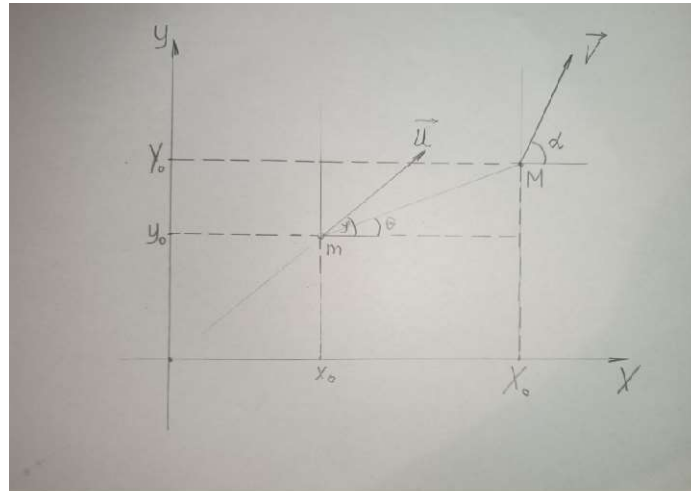
Це дає змогу дуже плавно змінювати тягу моторів, проходячи точки маршруту без зупинок [2]. А для локального коригування шляху зручно застосовувати криві Безьє або В-сплайни.

Звісно, під час польоту можуть з'являтися нові перешкоди. Щоб дрон встигав їх оминати, часто застосовують алгоритми на базі штучних потенціальних полів (APF) [3]. Працює це досить інтуїтивно: кінцева точка маршруту генерує потенціал притягання U_{att} , а перешкоди – потенціал відштовхування U_{rep} . Дрон просто рухається у напрямку антиградієнта цього сумарного поля:

$$\bar{F} = -\nabla(U_{att} + U_{rep})$$

Окремою і надзвичайно складною задачею є кінематичне моделювання процесу динамічного зближення (наприклад, для перехоплення іншого рухомого об'єкта або встановлення комунікації у рої). Якщо розглядати рух двох об'єктів – цілі з координатами (X_0, Y_0) , швидкістю V та курсом α , і нашого апарата з

координатами (x_0, y_0) та швидкістю v , – умовою їхньої успішної зустрічі в момент часу t є рівність поточних координат: $x(t) = X(t)$ та $y(t) = Y(t)$



Використовуючи співвідношення швидкостей та початковий кут лінії візування θ , необхідний поточний курс нашого дрона φ обчислюється за такою формулою:

$$\varphi = \theta + \arcsin\left(\frac{V}{u} \sin(\alpha - \theta)\right)$$

Ця залежність є критичною для алгоритмів управління. Оскільки значення координат і швидкостей цілі (величини θ , α , V) можуть змінюватися, поточний курс φ підлягає безперервному онлайн-коригуванню. Не менш важливим є розрахунок прогнозованого часу до зустрічі (часу комунікації), який визначається через початкову дистанцію D :

$$t = \frac{D}{\sqrt{u + V - 2uV \cos(\varphi - \alpha)}}$$

З цього аналітичного рішення випливає, що мінімальний час досягається за умов зустрічного руху ($t_{min} = \frac{D}{u+V}$), а максимальний – при паралельному переслідуванні ($t_{max} = \frac{D}{u-V}$). Ці розрахунки лежать в основі предиктивних алгоритмів, що оцінюють доцільність виконання маневру.

Враховуючи сучасні реалії, від БпЛА вимагається максимальна стійкість у зонах дії засобів РЕБ. Коли сигнал GPS глушиться, апарат має летіти «всліпу», покладаючись на інерціальні датчики та візуальну одометрію (VIO) [4]. Ще одним перспективним рішенням є об'єднання дронів у децентралізовані рої. У такій системі безпілотники обмінюються даними: якщо один апарат виходить з ладу, рій миттєво самоорганізовується та перерозподіляє його завдання.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Zhao, J., Zhang, Y., Ning, L., Xiao, X., Bai, C., Zhang, J., & Yang, M. (2026). Adaptive path planning of UAV based on A* algorithm and artificial potential field method. *MDPI*.
- [2] Iskander, A., Elkassed, O., & El-Badawy, A. A. (2026). Minimum snap trajectory tracking for a quadrotor UAV using nonlinear model predictive control. *IEEE Xplore*.
- [3] Han, Q., Ma, X., Liu, H., Xu, Y., Xie, Y., Yang, Q., & Meng, F. (2026). Improved artificial potential field method for UAV path planning. *ResearchGate*.
- [4] Maqbool, U., & Mohsin, M. (2026). A critical analysis of spoofing and jamming approaches in UAV navigation. *ResearchGate*.

РОЗДІЛ IV
РОЗВИТОК ОСВІТИ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ. МЕТОДОЛОГІЯ
НАВЧАННЯ ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНИХ НАУК

Авдєєва Т. В.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна
email: avdeeva.tetyana@gmail.com*

ТЕОРЕМА БАЙЄСА ЯК МЕТОДОЛОГІЧНА ОСНОВА ДЛЯ
ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У ЦИФРОВУ ЕПОХУ

Анотація. Показано історичні аспекти виникнення формули Байєса, її актуальність для прийняття рішень. На прикладі проілюстровано застосування теореми Байєса в медицині.

Ключові слова: повна ймовірність, теорема Байєса, прийняття рішення.

Abstract. The historical origins of Bayes's formula and its relevance to decision-making are shown. An example illustrates the application of Bayes's theorem in medicine.

Keywords: total probability, Bayes' theorem, decision making.

Справжнє мистецтво прогнозування полягає у вмінні розпізнати серед нескінченного інформаційного потоку істину. В роботі [1] Сілвер акцентує увагу на тому, що цифрові дані не мають вирішального значення, їх значення ще треба правильно інтерпретувати. Ефективне прийняття рішень у складних умовах сьогодення базується на поєднанні комп'ютерних алгоритмів та гнучкого

людського інтелекту, зокрема, теорема Байєса слугує для цього елегантним математичним підґрунтям [2].

Історично склалося, що робота Байєса стала відома серед наукового суспільства лише після його смерті (1758).

Перед роботою Байєса, в якій вперше сформульовано названу його ім'ям формулу, розміщено лист Прайса до Кетона від 10.XI.1763 року В цьому листі Прайс пише: «Я надсилаю Вам дослід, який я знайшов серед паперів нашого померлого друга, містера Байєса, і який, на мою думку, має великі переваги і заслуговує на те, щоб бути збереженим». Постановкою задачі, за автором, є відшукання шансу для невідомої події (відома кількість разів її настання в дослідах) ймовірності «її появи при одному єдиному досліді знаходиться між якими-небудь ступенями ймовірності, які можуть бути названі». Цікавим є той факт, що поняття умовної ймовірності на той час вже було сформульовано Муавром. Але Байєс вперше почав обчислювати умовні ймовірності за ймовірностями $P(AB)$ і $P(A)$. Власне, це і дало основу називати його ім'ям формулу.

В роботі Лапласа «Досвід філософії теорії ймовірностей» (фр. *Essai philosophique sur les probabilités*, 1814/1825) вперше словесно показано результат Байєса, так як математик в філософських працях дотримувався принципу не вживати математичні формули [8]: «ймовірність існування якої-небудь з цих причин дорівнює дробу, чисельник якого є ймовірність події, що слідує з цієї причини, а знаменник є сума подібних ймовірностей, що стосуються всіх причин: якщо ці різні причини, що розглядаються а ргіогі, неоднаково ймовірні, то замість ймовірності події, що впливає з кожної причини, слід взяти добуток цієї ймовірності на ймовірність самої причини».

Покажемо застосування відомої теореми Байєса. Завдяки їй абстрактні дані перетворюються на динамічну карту, що дозволяє планувати майбутнє в умовах невизначеності. Відбувається інтеграція досвіду, аналіз не починається «з

нуля», враховуються апріорні знання та «повільне мислення» [3]. Імовірнісне мислення надає нам необхідну точку опори: правило, яке створено у хаосі XVIII століття, перетворюється на сучасний алгоритм оновлення знань, де кожна нова подія впливає на передбачення [2, 4].

На відміну від статичних моделей, байєсівський підхід розглядає ймовірність як міру впевненості, що постійно коригується. Математична структура формули відображає процес навчання: апріорна ймовірність (початкова гіпотеза) у поєднанні з новими даними (свідченнями) формує апостеріорну ймовірність (оновлене знання) [5].

Розглянемо «парадокс Байєса» у медичному діагностуванні на прикладі тесту на рідкісне захворювання. Хвороба Гоше, згідно з Wikipedia [6], у населення Західної та Східної Європи зустрічається з частотою 1 випадок на 50 тисяч населення. Байєсівський аналіз допомагає лікарям зрозуміти, що при рідкісних захворюваннях навіть «позитивний тест» має не дуже правильну прогностичну цінність.

За проведеним масовим обстеженням населення на рідкісну хворобу її діагностовано в 0,1% людей (1 людина на 1000). Припустимо, чутливість (точність) тесту складає 95%, а для здорової людини тест може помилково показати «позитивно» у 3% випадків. Пацієнт здав аналіз, і результат виявився позитивним. Яка ймовірність того, що він справді хворий? Якщо тест на хворобу позитивний, то якою є реальна ймовірність наявності хвороби?

Позначимо через A подію {тест дав «позитивний» результат}, H_1 – {людина хвора}, H_2 – {людина здорова}. Згідно з умовами, ймовірність того, що людина хвора, складає $P(H_1)=0,001$, ймовірність того, що тест при цьому дає «позитивний» результат, $P_{H_1}(A) = 0,95$. Ймовірність того, що людина здорова, $P(H_2) = 0,999$; при цьому тест дає «позитивний» результат $P_{H_2}(A) = 0,03$.

Імовірність «позитивного» тесту знаходимо за формулою повної імовірності:

$$P(A) = P(H_1)P_{H_1}(A) + P(H_2)P_{H_2}(A),$$
$$P(A) = 0,001 \cdot 0,95 + 0,999 \cdot 0,03 = 0,03092.$$

Тоді, людина реально хвора при позитивному тесті (апостеріорне знання):

$$P_A(H_1) = \frac{P(H_1) \cdot P_{H_1}(A)}{P(A)} = \frac{0,001 \cdot 0,95}{0,03092} \approx 0,0307 \quad \text{або } 3\%.$$

Попри те, що тест здається «точним» (95%), через рідкість хвороби 97% позитивних результатів будуть помилковими. Після першого позитивного тесту лікарі завжди призначають другий, інший тип аналізу, щоб підтвердити діагноз. Варто пам'ятати, що «позитивний тест \neq хвороба». Такий підхід дозволяє не тільки проводити діагностування, враховуючи різні симптоми захворювання, але й визначати методику найефективнішого лікування пацієнтів [7].

Байєсівські мережі є основою для алгоритмів класифікації, фільтрації спаму та систем розпізнавання образів [2]. В судах багатьох країн, особливо в Європі, байєсівський підхід використовується для оцінки ДНК-доказів. Експерти оцінюють не просто «чи є збіг», а ймовірність того, що цей збіг виник за умови винуватості чи невинуватості підозрюваного. У сучасних іграх, складних логічних квестах формула Байєса допомагає створювати адаптивні сценарії, можна «вгадувати» наступний крок гравця на основі його попередніх рішень, змінюючи рівень складності гри або «на ходу» коригуючи сюжетну лінію.

За останнє століття формула Байєса перетворилася з рядового представника класичного розділу теорії ймовірностей на фундаментальний інструмент прийняття рішень у ситуаціях невизначеності.

Підсумовуючи, можна зазначити, що у сучасному світі формула Байєса слугує математичним компасом, вчить відкритості до нових доказів, переоцінки

ймовірності події за умови появи нових, надає можливість «передбачати» майбутнє з великою точністю.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Сілвер, Н. (2018). Сигнал і шум. Чому більшість прогнозів виявляються хибними. Stone Publishing (Наш Формат). 544 с.
- [2] Згуровський, М. З., Бідюк, П. І., Терентьев, О. М., & Просьянкіна-Жарова, Т. І. (2015). Байєсівські мережі в системах підтримки прийняття рішень. Київ: ТОВ «Видавниче підприємство «Едельвейс». 300 с.
- [3] Канеман, Д. (2021). Мислення швидке й повільне (М. Яковлев, пер.; 5-те вид.). Київ: Наш формат. 480 с.
- [4] McGrayne, S. B. (2011). *The Theory That Would Not Die: How Bayes' Rule Cracked the Enigma Code, Hunted Down Russian Submarines, and Emerged Triumphant from Two Centuries of Controversy*. Yale University Press. 336 p.
- [5] Кушлик-Дивульська, О. І., & Горбачук, В. М. (2026). Теорія ймовірностей та математична статистика (2-ге вид.). Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка». 358 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/79914>
- [6] Хвороба Гоше. (n.d.). Wikipedia.
- [7] Гасанова, Л. Т., Терентьев, О. М., & Мельник, І. В. (2008). Застосування мережі Байєса в медицині. Вісник Університету «Україна», (6), 93–96.
- [8] Тичинська, Л. М., & Черепашук, А. А. (2010). Теорія ймовірностей. Ч. 1. Історичні екскурси та основні теоретичні відомості. Вінниця: ВНТУ. 112 с.

Білевич В.Д., Жилінська О.І.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Київ, Україна

email: vladyslav.bilevych@gmail.com

ФАКТОРИ ПРОФЕСІЙНОЇ АДАПТАЦІЇ ВЕТЕРАНІВ У РІЗНИХ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМАХ

Анотація. У тезах розглядаються фактори професійної адаптації ветеранів у різних соціально-економічних системах. На основі аналізу сучасних досліджень систематизовано ключові детермінанти успішного переходу військовослужбовців до цивільної професійної діяльності, зокрема роль професійного навчання, економічних умов, психологічної підтримки та соціального середовища. Обґрунтовано, що ефективність професійної адаптації визначається комплексною взаємодією індивідуальних, інституційних та макроекономічних факторів.

Ключові слова: професійна адаптація, ветерани, соціально-економічні системи, працевлаштування, реінтеграція, професійне навчання, реадаптація.

Abstract. The paper examines the factors and mechanisms of professional adaptation of veterans in different socio-economic systems. Based on the analysis of recent studies, the key determinants of a successful transition of military personnel to civilian employment are systematized, including the role of vocational training, economic conditions, psychological support, and the social environment. It is substantiated that the effectiveness of professional adaptation is determined by the complex interaction of individual, institutional, and macroeconomic factors.

Keywords: professional adaptation, veterans, socio-economic systems, employment, reintegration, vocational training, readaptation.

Професійна адаптація ветеранів є одним із найбільш актуальних соціально-економічних викликів для країн, що переживають або пережили

збройні конфлікти. Повернення значної кількості військовослужбовців до цивільного життя породжує комплекс викликів, пов'язаних зі зміною професійних ролей, втратою звичної соціальної структури та необхідністю інтеграції у ринок праці в умовах, що суттєво відрізняються від військового середовища. Актуальність дослідження цієї проблематики для України є безпрецедентною: з початку повномасштабного вторгнення кількість осіб, які потребують професійної реадaptaції, зростає до масштабів, що вимагають системного наукового осмислення та розроблення ефективних механізмів підтримки, зокрема на державному та інституційному рівнях.

Серед ключових факторів професійної адаптації ветеранів провідну роль відіграють професійне навчання та перекваліфікація. В. Близнюк та І. Терюханова у своєму дослідженні обґрунтовують, що професійне навчання та працевлаштування є основними інструментами професійної адаптації ветеранів війни, які забезпечують їхню конкурентоспроможність на ринку праці та формують передумови для стійкої інтеграції у цивільне економічне середовище [1]. Дослідники наголошують на необхідності створення системних механізмів, які поєднують профорієнтацію, підготовку за новими спеціальностями та супровід працевлаштування, враховуючи специфіку компетенцій, набутих під час військової служби [1]. При цьому важливим є не лише формальне надання освітніх послуг, а й їх узгодженість із реальними потребами ринку праці та індивідуальними можливостями кожного ветерана, а також із рівнем їхньої попередньої підготовки та психологічним станом.

Фактори професійної адаптації суттєво визначаються макроекономічними умовами та станом ринку праці. Г. Назарова, Ю. Сотнікова, В. Лугова та співавтори на основі соціологічного та статистичного аналізу досліджують проблеми й перспективи економічної адаптації військовослужбовців до цивільного життя [2]. Їхнє дослідження демонструє, що успішність професійної адаптації залежить від сукупності економічних факторів: стану ринку праці, наявності вакансій, що відповідають компетенціям ветеранів, рівня оплати праці

та доступності програм перекваліфікації [2]. Автори підкреслюють, що в умовах воєнного часу та повоєнного відновлення економічна адаптація ветеранів набуває стратегічного значення, оскільки ця категорія населення є важливим людським капіталом держави, здатним зробити вагомий внесок у відбудову національної економіки та забезпечення її сталого розвитку [2].

Не менш значущим фактором є психологічна складова професійної адаптації. У праці С. Шевченко та Г. Варіної, де досліджуються особливості реадаптації військовослужбовців після бойових дій, зазначено, що повернення до цивільного життя пов'язане не лише з фізичним відновленням, а й із подоланням психологічних та соціальних бар'єрів реінтеграції [3]. До них належать переживання травматичного стресу, відчуження, соціальна ізоляція та труднощі адаптації до зміненої реальності [3]. Дослідники наголошують на важливості раннього виявлення та лікування посттравматичного стресового розладу, який є поширеним серед ветеранів і суттєво ускладнює процес реадаптації [3]. Крім того, підкреслюється роль соціальної підтримки, стабільних соціальних зв'язків та індивідуальних копінг-стратегій як детермінантів успішної професійної реінтеграції [3].

Для України характерними є додаткові фактори, що впливають на процес професійної адаптації: масштабність мобілізації, триваюча війна, руйнування економічної інфраструктури в окремих регіонах та обмеженість бюджетних ресурсів. Водночас позитивним фактором є високий рівень суспільної підтримки та активна позиція бізнесу, що впроваджує власні програми реінтеграції ветеранів. Як зазначають дослідники, системне вирішення проблеми вимагає поєднання державних механізмів профорієнтації та перепідготовки [1] з урахуванням реальних потреб ринку праці [2] та забезпеченням належної психологічної підтримки на кожному етапі переходу від військової до цивільної кар'єри [3].

З огляду на виявлені у дослідженні ключові детермінанти професійної адаптації, доцільно систематизувати їх у вигляді взаємопов'язаних рівнів впливу (табл. 1).

Таблиця 2 Системна взаємодія факторів професійної адаптації ветеранів

Фактор впливу	Основні фактори	Механізм впливу	Результат адаптації
Індивідуальний	Психологічний стан, мотивація, досвід служби	Формування готовності до змін і працевлаштування	Особиста адаптивність, самореалізація
Освітньо-професійний	Перекваліфікація, навчання, навички	Підвищення конкурентоспроможності на ринку праці	Отримання роботи, кар'єрний розвиток
Соціальний	Підтримка сім'ї, громади, соціальні зв'язки	Зниження рівня ізоляції та стресу	Стабілізація соціального статусу
Економічний	Стан ринку праці, рівень доходів, вакансії	Забезпечення доступу до економічних можливостей	Фінансова незалежність
Інституційний	Державні програми, політика зайнятості	Організація системної підтримки ветеранів	Масштабність та доступність адаптації
Системний (інтегр.)	Координація держави, бізнесу, громадського сектору	Синергія ресурсів і підходів	Стійка довгострокова реінтеграція

Джерело: складено автором

Узагальнення представлених у таблиці положень свідчить, що професійна адаптація ветеранів формується як багаторівнева система, в якій кожен рівень

виконує окрему функцію, але лише їх узгоджена взаємодія забезпечує ефективний результат. Ключовим фактором є те, що ізольований вплив окремих показників не забезпечує стійкої реінтеграції, тоді як їх комплексне поєднання створює синергетичний ефект. Саме тому сучасні моделі адаптації орієнтуються на інтеграцію індивідуальних, соціальних та економічних компонентів.

Отже, професійна адаптація ветеранів у різних соціально-економічних системах підпорядковується низці спільних рис, серед яких визначальними є: комплексність підходу, інтеграція професійного навчання з психосоціальною підтримкою, узгодженість програм підготовки з потребами ринку праці, індивідуалізація траєкторій адаптації та координація зусиль усіх зацікавлених сторін. Подальші дослідження мають бути спрямовані на емпіричну перевірку виявлених залежностей в українському контексті та розроблення практичних рекомендацій щодо оптимізації системи професійної адаптації ветеранів в умовах післявоєнного відновлення економіки.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Близнюк, В. В., & Терюханова, І. М. (2024). *Професійне навчання та працевлаштування як інструмент професійної адаптації ветеранів війни*. Вчені записки, 37(4), 18–30.
- [2] Назарова, Г. В., Сотнікова, Ю. О., Лугова, В. М., Клизуб, О., & Іващенко, М. (2025). *Дослідження проблем і перспектив економічної адаптації військовослужбовців до цивільного життя: соціологічний та статистичний аналіз*. Technology Audit and Production Reserves, 3(4(83)), 93–99.
- [3] Shevchenko, S., & Varina, H. (2025). *Specific features of re-adaptation of military personnel after combat operations*. Scientific Bulletin of Mukachevo State University. Series “Pedagogy and Psychology”, 11(1), 82–90.

Bondarenko Y.Y., Chyzhska T.H.

National Technical University of Ukraine

“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

email: yulia.b-fmf27@lil.kpi.ua, chijskaya@gmail.com

METHODOLOGICAL ASPECTS OF INTRODUCING AND DEVELOPING THE CONCEPT OF WORK IN THE SCHOOL PHYSICS CURRICULUM

Abstract. A scientific and methodological analysis has been carried out of the introduction and development of the concept of «work» in the school physics curriculum for Years 7–11, based on the textbooks by the Bar'yakhtar team and the current curriculum. The staged nature of the formation of this concept is revealed: from the definition of mechanical work in Year 7 to its generalization as a universal measure of energy transfer and transformation in upper secondary school. It is shown that the concept of «work» is considered in all sections of school physics. Based on an integrated approach to studying this concept, pupils gradually form a coherent system of knowledge.

Keywords: mechanical work, energy, school physics curriculum, physics teaching methods, internal energy, work of electric current, power, law of conservation of energy.

Анотація. У роботі здійснено науково-методичний аналіз запровадження та розвитку поняття «робота» у шкільному курсі фізики 7–11 класів на основі підручників авторського колективу Бар'яхтара та чинної навчальної програми. Виявлено поетапний характер формування цього поняття: від визначення механічної роботи у 7 класі до її узагальнення як універсальної міри передавання та перетворення енергії у старшій школі. Показано, що поняття «робота» розглядається в усіх розділах шкільного курсу фізики. На основі інтегрованого

підходу до вивчення цього поняття в учнів поступово формується цілісна система знань.

Ключові слова: механічна робота, енергія, шкільний курс фізики, методика навчання фізики, внутрішня енергія, робота електричного струму, потужність, закон збереження енергії.

These notes examine the development of the concept of ‘work’ in the school physics curriculum. The analysis is based on the example of textbooks for Years 7–11 edited by V. G. Baryakhtar.

The concept of ‘mechanical work’ is introduced in Year 7, when pupils are not yet familiar with the concepts of sine and cosine. Therefore, in paragraph 30 [1, p. 200], the definition of mechanical work is given as follows: Mechanical work is a physical quantity that characterizes the change in the position of a body under the action of a force and is equal to the product of the force and the distance traveled by the body in the direction of that force: $A=F \cdot l$. In addition, the values (positive or negative) that work can take on in certain cases are analyzed, as well as when work is not performed (i.e., when it equals zero). In the same section, the geometric meaning of the concept of ‘work done by a constant force’ is considered.

In paragraph 32 of the same textbook [1, p. 210], the concept of mechanical energy is introduced via the concept of work: mechanical work is a measure of the change in a body’s energy. At the end of each chapter in the textbooks, there are summaries presented in tables.

In the Year 8 physics course, pupils encounter the concept of ‘work’ twice: when studying thermal phenomena and electric current [2]. In § 4 ‘Methods of changing internal energy’ and in § 33 ‘Work and power of electric current’. Section 4 demonstrates the relationship between the work done on a body and the change in the body’s internal energy, i.e., the change in the body’s temperature.

When studying the work of electric current [2, p. 179], the focus is on a household appliance, such as an electricity meter, to derive the main formulas. In other

words, this material serves not only an educational but also an upbringing and social function. That is, after studying this material, pupils understand what a kWh is. When studying Joule-Lenz's law, the focus is on the thermal work of the current.

In Year 10, the concept of work appears in three sections: mechanics, thermodynamics, and electrostatic theory. In § 15 [4, p. 92], the concept of mechanical work is already formulated as follows:

Mechanical work (work done by a force) is a physical quantity that characterizes a change in the mechanical state of a body and is equal to the product of the magnitude of the force F , the displacement s , and the cosine of the angle α between the force vector and the displacement vector: $A = Fs \cdot \cos\alpha$. An analysis of the quantity of work is carried out, similar to that done in Year 7, but at a higher mathematical level. The example of introducing the concept of 'work' in the school physics curriculum illustrates a two-stage approach to studying this subject. A geometric interpretation is again provided, but the graphs take on more complex forms (the force varies linearly and according to a specific function).

Whereas the Year 7 textbook stated that mechanical work is a measure of the change in a body's energy, in Year 10 the theorem on the change in kinetic energy is formulated: the work done by the resultant of all forces applied to a body is equal to the change in its kinetic energy. $A = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}$.

In § 16 [4, p. 101], the concept of friction is introduced.

The introduction of the concept of work done by surface tension is particularly interesting. It is based on the definition of work [4, p. 198].

In § 37 [4, p. 221], the concept of work in thermodynamics is introduced. The graphical representation of work is very important in this section.

When studying work involved in moving a charge in an electrostatic field, the concept of 'potential fields' is introduced. The formula for work done in moving a charge is derived, along with the relationship between work and changes in potential energy and potential.

In Year 11, in the section on direct current, there is a revision of the formulas already studied in Year 8; the concept of work is expanded through the introduction of Ohm's law for a complete circuit. That is, the concept of EMF is introduced: the ratio of the work done by the forces acting on the displacement of a charge to the magnitude of a unit positive charge [5, p.20].

In § 8 [5, p.38], the concept of the work done by an electron escaping from a metal is introduced. The non-systemic unit of work, 1 eV, is introduced.

The concept of work is fundamental. The concepts of power and efficiency are derived from it. In the school physics curriculum, the concept of work is introduced in two stages and gradually undergoes physical and mathematical synthesis. This corresponds to the principles of continuity and systematicity in physics.

REFERENCES

- [1] Baryakhtar, V. G., & Dovgyi, S. O. (2020). Physics: Textbook for Year 7 of general secondary education (Ed. by V. G. Baryakhtar & S. O. Dovgyi). Ranok Publishing House.
- [2] Baryakhtar, V. G., & Dovgyi, S. O. (2021). Physics: Textbook for Year 8 of general secondary education (Ed. by V. G. Baryakhtar & S. O. Dovgyi). Ranok Publishing House.
- [3] Baryakhtar, V. G., & Dovgyi, S. O. (2017). Physics: Textbook for Year 9 of general secondary education (Ed. by V. G. Baryakhtar & S. O. Dovgyi). Ranok Publishing House.
- [4] Baryakhtar, V. G., & Dovgyi, S. O. (2018). Physics: Textbook for Year 10 of general secondary education (Ed. by V. G. Baryakhtar & S. O. Dovgyi). Ranok Publishing House.
- [5] Baryakhtar, V. G., & Dovgyi, S. O. (2019). Physics: Textbook for Year 11 of general secondary education (Ed. by V. G. Baryakhtar & S. O. Dovgyi). Ranok Publishing House.

Гавриленко А. М., Скіцько І.Ф.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна*

email: havrylenko.andrii02@gmail.com; fizika.kpi@gmail.com

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ НА ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТТЯХ

Анотація. Доповідь містить приклад використання електронних таблиць Excel та штучного інтелекту для обробки експериментальних даних лабораторної роботи.

Ключові слова: електричне поле, штучний інтелект на лабораторних заняттях.

Abstract. The report contains an example of using Excel spreadsheets and artificial intelligence to process experimental data from laboratory work.

Keywords: electric field, artificial intelligence in laboratory classes.

У лабораторній роботі вивчається електростатичне поле в електронній лампі, електродами якої є циліндричний анод і коаксіальний з ним ниткоподібний прямий катод. Така лампа відома як простий діод. Це електричне поле моделюється за допомогою електропровідного паперу і двох електродів: один електрод має вигляд провідного металевого кола, інший – малий за діаметром круглий контакт у центрі кола (рис. 1). Теоретичний розрахунок показує, що напруженість електричного поля на відстані r від центра електрода (3) для такої моделі буде [2].

$$E(r) = \frac{U_0}{\ln \frac{r_{\text{зовн}}}{r_{\text{внут}}}} \cdot \frac{1}{r} \quad (1)$$

де U_0 - напруга між електродами 3 і 1 (її значення задається на робочому місці); $r_{\text{зовн}}$ – радіус електрода 1 (задається); $r_{\text{внут}}$ – радіус електрода 3 (задається)

(рис.1). Перевірка правильності моделі здійснюється таким чином. Прологарифмуємо формулу (1) та отримаємо:

$$\ln E(r) = \ln C + (-\ln r) \quad (2)$$

де C - стала величина. Це лінійна залежність типу $y = b + ax$. Якщо $y = \ln E(r)$, $b = \ln C$, $x = -\ln r$, то a має дорівнювати одиниці.

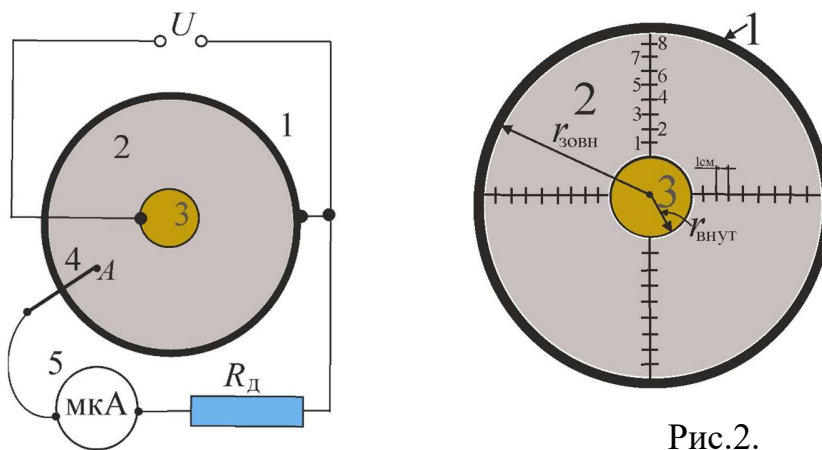


Рис.2.

Рис.1. Електрична схема лабораторної установки. 1 – зовнішній металічний електрод з радіусом $r_{\text{зовн}}$; 2 – провідний папір; 3 – центральний металічний електрод з радіусом $r_{\text{внут}}$; 4 – зонд (електрод); 5 – мікроамперметр; R_d – додатковий опір.

Із (2) видно, що кутовий коефіцієнт залежності $\ln E r$ $f(-\ln r)$ має дорівнювати одиниці. Тому перевірка правильності моделі електричного поля зводиться до визначення кутових коефіцієнтів двох прямих: $\ln(E_{\text{експ}}) = f(-\ln(r))$ між собою. Тут $E_{\text{теор}}$ – теоретично розраховане значення напруженості поля за формулою (1), а $E_{\text{експ}}$ – експериментальне значення напруженості поля визначають так. Схема на рис.1 дає можливість виконувати вимірювання напруги між зовнішнім електродом 1 і якою-небудь точкою A провідного середовища 2. Вимірювальним приладом є мікроамперметр, який завдяки великому додатковому опорі $R_d \approx 10$ кОм працює в режимі вольтметра. Оскільки додатковий опір R_d є великим у порівнянні з опором ділянки електропровідного

паперу між точкою A і зовнішнім електродом, під'єднання вимірювального кола не вносить помітних викривлень у силу струму на цій ділянці і отже, у спад напруги $U(r)$ між точкою A і зовнішнім електродом. Якщо знехтувати опором зони контакту між зондом і електропровідним папером, а також внутрішнім опором мікроамперметра порівняно з величиною, то струм, що протікає через мікроамперметр: $I(r) = U(r)/R_d$ де r - відстань від центра електрода 3 до точки. Вимірявши силу струму, що протікає через мікроамперметр, для спаду напруги матимемо: $U(r) = I(r) \cdot R_d$.

Для точнішого визначення $I(r)$ виміри повторюють кілька разів для точок, що розташовані на різних радіусах, але на однаковій відстані від центра електрода 3. Після цього знаходимо середнє значення струму $\langle I(r) \rangle$. Для спаду напруги остаточно отримують такий вираз: $U(r) = \langle I(r) \rangle \cdot R_d$.

Описана нами установка дає змогу змінювати r від 1см (внутрішній електрод) до 8 см (зовнішній електрод) із кроком $\Delta r = 1$ см (рис.2). Використовуючи обчислені значення $U(r)$, можна знайти залежність напруженості поля в даній точці електропровідного паперу від відстані r . Для цього використовуємо залежність між $E(r)$ і $U(r)$:

$$E(r) = \frac{\Delta U}{\Delta r} = \frac{U(r) - U(r + \Delta r)}{\Delta r} \quad (3)$$

В роботі спад напруги $U(r)$ вимірюється в точках, що розташовані на відстані $\Delta r = 1$ см одна від одної. За формулою (3) визначаємо напруженість поля, яку будемо відносити до середини відрізка $\Delta r = 1$ см (рис.2).

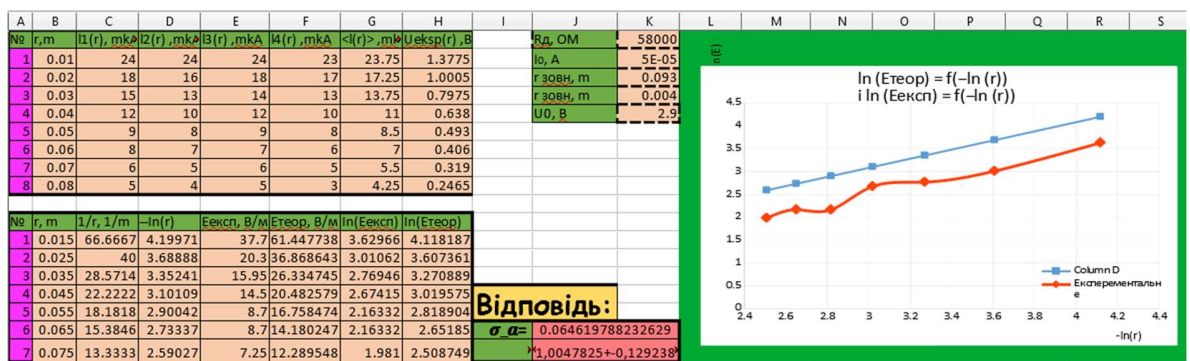
Щоб точніше визначати напруженість поля, відрізки Δr слід обирати якомога меншими, якщо це дозволяють технічні можливості. Тому напруженість поля визначають за такою формулою:

$$E(r + 0,5\text{см}) = \frac{U(r) - U(r + 1\text{см})}{0,01\text{м}} \quad (4)$$

у вольтах на метр (В/м), якщо $U(r)$ подано у вольтах для точок середин відрізків, які будуть знаходитись на відстанях $r_c = 1,5; 2,5; \dots; 7,5$ см від центрального електрода 3 (рис.2).

Спочатку експериментальні дані було опрацьовано за допомогою програми Excel із використанням методу найменших квадратів. Результати наведено в таблиці 1.

Таблиця 1.



Як, видно, із таблиці 1 усереднений нахил прямої $\ln(E_{\text{експ}}) = f(-\ln(r))$, $a = 1,005$ із середньою квадратичною похибкою $\sigma_a = 0,065$. За невизначеність a приймають $2\sigma_a = 0,13$. Тоді кінцевий результат записують так: $a = 1,01 \pm 0,13$ з відносною невизначеністю $\delta_a \approx 13\%$.

Оброблення цих експериментальних результатів за допомогою штучного інтелекту дає аналогічні результати (Рис.3). Як бачимо із порівняння результатів обробки даних двома методами значення коефіцієнта нахилу прямолінійної залежності $\ln(E_{\text{експ}}) = f(-\ln(r))$ є практично однаковими. Це підтверджує правильність моделювання електричного поля циліндричної симетрії, а також можливість використання штучного інтелекту на лабораторних заняттях.

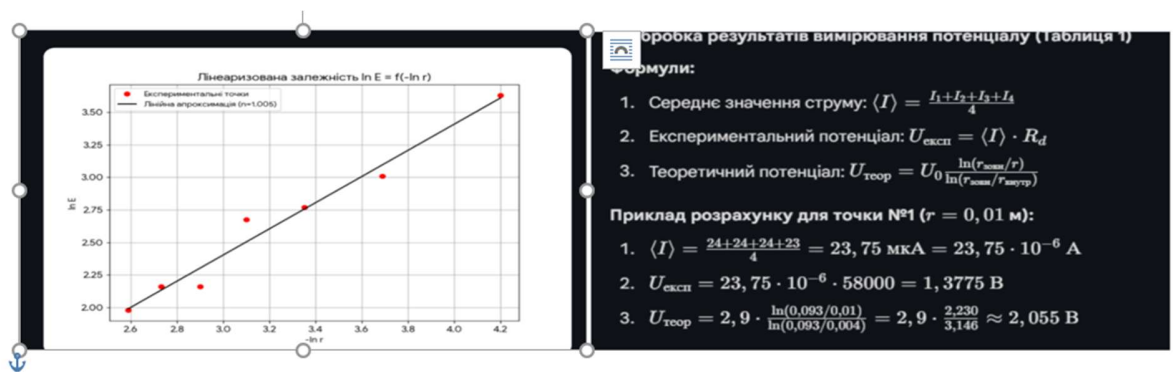


Рис.3 Оброблення експериментальних результатів за допомогою штучного інтелекту

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Кучерук, І. М., Горбачук, І. Т. (1990). Загальна фізика. Електрика і магнетизм: навчальний посібник / за ред. В. Й. Сугакова. Київ: Вища школа.
- [2] Скіцько, І. Ф., Бруква, Н. М. (2024). Фізика. Електромагнетизм. Оптика: лабораторний практикум (частина 1): навчальний посібник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/67694>

Дрозденко О.В., Кузь О.П.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна*

email: apavlovkuz2016@gmail.com

ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА ОСВІТА ЯК ФУНДАМЕНТ ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ

Анотація. У статті проаналізовано роль фізико-математичного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського як центру підготовки фахівців із розвиненим аналітичним мисленням. Розглянуто історичну еволюцію факультету, діяльність провідних наукових шкіл та сучасні напрями цифрової трансформації, зокрема штучний інтелект і комп'ютерне моделювання складних систем.

Ключові слова: фізико-математична освіта; КПІ ім. Ігоря Сікорського; фундаментальна підготовка; цифрові двійники; штучний інтелект.

Abstract. The article examines the role of the Faculty of Physics and Mathematics of Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute as a center for training specialists with advanced analytical thinking. It outlines the historical evolution of the faculty, the activities of leading scientific schools, and current directions of digital transformation, including artificial intelligence and computer modeling of complex systems.

Keywords: physics and mathematics education; Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute; fundamental training; digital twins; artificial intelligence.

Для сучасного інженера критично важливою є солідна наукова підготовка, що базується на ґрунтовному вивченні фундаментальних дисциплін – математики та фізики. Справжні інновації сьогодні неможливі без глибокого розуміння фундаментальних законів природи [1]. Традиції математичної та

фізичної підготовки в КПІ були закладені ще у 1898 році під керівництвом професорів В. П. Єрмакова та Г. Г. Де Метца. Важливою віхою стало створення у 1900 році криогенної лабораторії, де вперше було отримано рідкий азот і кисень [2]. Наукова спадщина академіка М. П. Кравчука не лише сприяла розвитку космічних досліджень, зокрема діяльності Сергія Корольова, а й стала підґрунтям для створення першого у світі електронного комп'ютера [3]. У 1996 році за ініціативи ректора М. З. Згуровського було створено Фізико-математичний факультет (ФМФ), який об'єднав математичні та фізичні кафедри. Перший декан факультету, академік НАН України В. Г. Бар'яхтар, визначив місію підрозділу як поєднання фундаментальної підготовки з розв'язанням прикладних проблем сучасності [4]. Розвиток факультету пройшов шлях від інтеграції академічної науки за часів В. Г. Бар'яхтара до розширення освітніх програм під керівництвом В. В. Ваніна та сучасної цифровізації за В. Й. Котовського. Сучасна архітектура ФМФ вибудована як «екосистема знань», у якій ядро становлять загальноінститутські кафедри, а випускові забезпечують спеціалізацію.

Сьогодні факультет готує фахівців рівнів бакалавра, магістра та доктора філософії (PhD) за спеціальностями 104 «Фізика та астрономія» і 111 «Математика». Науковий потенціал ФМФ реалізується через школи теорії хаосу, фізики твердого тіла, диференціальних рівнянь і стохастичних систем [5]. Глобальна академічна присутність факультету підтримується виданням англomовного журналу «Mathematics in Modern Technical University» та програмами подвійних дипломів з університетами Європи [6], [7]. Лабораторна база ФМФ охоплює як історичну лабораторію криогенної техніки, так і сучасні центри фізики твердого тіла та статистичного аналізу даних [8]. Новітні цифрові інновації на факультеті зосереджені в AI-лабораторії DRL AI Space, де розробляються алгоритми глибинного навчання. Важливим напрямом є перехід до створення «цифрових двійників» (digital twins) та симуляції складних систем у реальному часі [9]. Випускники ФМФ володіють навичками алгоритмічного

мислення, що дають їм змогу успішно працювати в IT, Data Science, банківському секторі та аерокосмічній галузі [10]. На відміну від вузькоприкладної освіти, фундаментальна освіта на ФМФ забезпечує фахівцям довготривалу актуальність знань і здатність до швидкої адаптації. Факультет є стартовим майданчиком для тих, хто прагне змінювати світ через ідеї та технології.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Кирпичов, В. Л. (1898). Виступ з нагоди відкриття Київського політехнічного інституту.
- [2] Кравчук, М. П. Наукова спадщина: праці з алгебри та математичного аналізу (в контексті впливу на розвиток аерокосмічної галузі та кібернетики).
- [3] Згуровський, М. З. (1996). Концепція створення Фізико-математичного факультету КПІ як синергії фундаментальної та прикладної підготовки
- [4] Бар'яхтар, В. Г. Наукова школа фізики твердого тіла та магнітоакустичного резонансу ФМФ.
- [5] Самойленко, А. М. Наукова школа крайових задач математичної фізики та диференціальних рівнянь.
- [6] Булдигін, В. В., Клесов, О. І. Математичні методи дослідження стохастичних систем та випадкових процесів.
- [7] Mathematics in Modern Technical University. Англomовне онлайн-видання Фізико-математичного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського (гол. ред. О.І.Клесов).
- [8] Фізико-математичний факультет КПІ ім. Ігоря Сікорського. Офіційний сайт. <http://fmf.kpi.ua>
- [9] КПІ ім. Ігоря Сікорського. Навчальні програми спеціальностей 104 «Фізика та астрономія» та 111 «Математика» (бакалаврат, магістратура, PhD).
- [10] DRL AI Space. Матеріали лабораторії щодо розробки алгоритмів глибокого навчання та штучного інтелекту на ФМФ.

Duzhenko A.I., Gareeva F.M.

National Technical University of Ukraine

“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

email: duzhenko.a.i.-pb52@edu.kpi.ua

CHALLENGES AND ADVANTAGES OF USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE EDUCATIONAL PROCESS

Abstract. The role of artificial intelligence (AI) in modern education is steadily increasing, and its use by students is becoming widespread. The purpose of this study is to analyze the advantages and challenges of using AI in the educational process. The research is based on methods of analyzing and generalizing scientific literature. It has been established that AI contributes to personalized learning and facilitates the explanation of complex topics. At the same time, there are significant risks related to academic integrity and the reliability of information. The findings highlight the need for responsible, critical use of AI in education.

Keywords: artificial intelligence, education, academic integrity

Анотація. У сучасній освіті роль штучного інтелекту (ШІ) постійно зростає, а його використання студентами набуває масового характеру. Метою дослідження є аналіз переваг і викликів застосування ШІ в освітньому процесі. Дослідження ґрунтується на методах аналізу та узагальнення наукової літератури. Встановлено, що ШІ сприяє персоналізації навчання та полегшує пояснення складних тем. Водночас існують суттєві ризики, пов'язані з академічною доброчесністю та достовірністю інформації. Отримані результати підкреслюють необхідність відповідального та критичного використання ШІ в освіті.

Ключові слова: штучний інтелект, освіта, академічна доброчесність.

In recent years, artificial intelligence has been increasingly used by students, enabling a transition from standardized learning to a more individualized approach. AI models can rapidly explain complex material or provide examples of tasks adapted to a student's level of knowledge. Research indicates that such adaptation enhances learning effectiveness, as explanations take into account learners' strengths and weaknesses [4, 7]. Furthermore, tools based on large language models improve the quality of written work by correcting grammar, suggesting more appropriate formulations, and assisting students in mastering professional academic style [5, 7].

In addition, AI enables the automation of routine tasks for instructors, such as grading tests or solving standard problems, thereby freeing time for individualized interaction with students [1, 4]. For students in technical fields, AI is particularly valuable in programming, as it can generate code examples, assist in debugging, and support exam preparation. This contributes to increased productivity and more efficient information processing [1, 5].

Based on practical observations, AI platforms can adapt both explanations and tasks to individual student needs. Given the diversity in students' levels of preparation, artificial intelligence allows them to receive targeted support in areas where knowledge gaps exist, without waiting for instructor intervention. In cases of misunderstanding, students can ask clarifying questions and receive simplified explanations or illustrative examples. This accelerates comprehension of complex topics and enhances accessibility of learning.

For students in technical disciplines, the primary value of AI lies in generating examples and assisting with code verification. Instead of independently diagnosing errors, students receive guidance on potential problem areas. This increases productivity and reduces the burden of routine tasks [1].

AI can also generate similar exercises or test questions for self-assessment. This is particularly useful in exam preparation, as students can quickly create practice tasks and immediately verify their solutions. Additionally, AI tools can produce draft

summaries or structured notes; for example, a student can input a topic, and the system will generate key points or a concise formula sheet.

However, to obtain high-quality responses, students must learn to formulate queries precisely, sometimes breaking complex problems into smaller components. Such practices, often referred to as prompt engineering, contribute to the development of problem formulation skills. At the same time, students must critically evaluate AI-generated responses, as these systems may produce inaccuracies. This fosters the development of critical thinking skills.

A major risk associated with AI use is its passive application. If students copy answers without independent analysis, this violates the principles of academic integrity and reduces the overall quality of learning.

When students rely on ready-made answers, they often limit themselves to superficial understanding and do not engage in deeper analysis of the material. This diminishes their ability to solve problems independently. Therefore, AI should be used as a supportive tool that provides hints, followed by independent verification of results.

Students should also be aware that AI does not guarantee full reliability of information. Models may generate incorrect or fabricated data, especially when prompts lack clarity [5]. Consequently, information obtained from AI should be verified using scientific sources or by consulting instructors.

Excessive reliance on AI-generated solutions may also negatively affect the development of independent and creative thinking. Continuous dependence on AI assistance can reduce motivation for in-depth study and hinder the development of analytical skills.

Therefore, it is important to teach students to acknowledge the use of AI in their work. For instance, they should indicate which parts of an assignment were completed with AI assistance. This practice supports academic integrity. At the same time, if the majority of the work is performed by AI, it should be considered a violation of academic standards.

It is also essential to educate students about data privacy when using AI tools, particularly regarding the protection of personal information. Many AI services collect anonymized data to improve their models; therefore, users should carefully review privacy policies. UNESCO emphasizes that the use of generative AI should be human-centered, ensuring privacy protection, age restrictions, and transparency of algorithms [6].

The widespread adoption of generative AI has prompted universities to reconsider plagiarism policies and require disclosure of AI usage in academic work [6]. Improper use of AI may be classified as academic misconduct [3]. As a result, higher education institutions are gradually developing guidelines that define the boundary between acceptable assistance and violations of academic integrity. For example, the use of AI for grammar correction or information retrieval may be permitted, whereas full generation of assignments is typically prohibited.

If students critically analyze AI-generated information, verify sources, and evaluate responses, artificial intelligence becomes an effective tool for deeper understanding of academic material. Studies show that such an approach can improve learning outcomes due to rapid feedback and access to diverse explanations [1, 4, 7].

Conclusions. Artificial intelligence has become an integral part of the educational process. It offers significant opportunities for personalized learning, efficient preparation, and support in mastering complex topics. At the same time, it introduces challenges, particularly those related to academic integrity and the preservation of practical skills. Therefore, AI should be used as a supportive instrument rather than a substitute for students' independent work. Only under these conditions can AI contribute effectively to the development of students' knowledge, skills, and competencies.

REFERENCES

- [1] Baines, S., Patrao, A., Zhupa, X., Gramcheva, L., Paskalev, V., & Otermans, P.C. (2026). Evaluating the Impact of ChatGPT on Student Performance in Academic Writing. *International Journal of Technology in Education*, 9(1), 109-126. <https://eric.ed.gov/?id=EJ1494297>
- [2] Cotton, D. R., Cotton, P. A., & Shipway, J. R. (2024). Chatting and cheating: Ensuring academic integrity in the era of ChatGPT. *Innovations in education and teaching international*, 61(2), 228-239. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14703297.2023.2190148>
- [3] Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). Artificial intelligence in education promises and implications for teaching and learning. Center for Curriculum Redesign. URL: <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10139722/>
- [4] Kasneci, E., Seßler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., ... & Kasneci, G. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and individual differences*, 103, 102274. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1041608023000195>
- [5] Holmes, W., & Miao, F. (2023). Guidance for generative AI in education and research. Unesco Publishing. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386693>
- [6] Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education—where are the educators? *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 16(1), 39. <https://link.springer.com/article/10.1186/s41239-019-0171-0>
- [7] Wieczorek, M., Hosseini, M., & Gordijn, B. (2025). Unpacking the ethics of using AI in primary and secondary education: A systematic literature review. *AI and Ethics*, 5(5), 4693-4711. <https://link.springer.com/article/10.1007/s43681-025-00770-0>

Єрьомін С.І., Куліш В.В.,

Національний технічний університет України «Київський політехнічний

інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

email: kulish_volv@ukr.net; s.yeromin.ua@gmail.com

ПАРАМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ ЯК ІНСТРУМЕНТ ФОРМУВАННЯ ДОСЛІДНИЦЬКОГО МИСЛЕННЯ

Анотація. Традиційна фізична освіта орієнтована на розв'язування типових задач із заданими умовами, що обмежує залучення здобувачів освіти до дослідницької діяльності. У роботі запропоновано альтернативний підхід, заснований на стратегії постановки задач (problem posing) із використанням параметричного аналізу фізичних систем. Такий підхід забезпечує перехід від репродуктивного навчання до дослідницького: здобувачі освіти формують запитання, виокремлюють параметри, аналізують межі застосовності моделей і поведінку системи за різних умов. Окреслено дидактичні засади та освітній потенціал параметричного аналізу як засобу формування наукового мислення.

Ключові слова: постановка задач, фізична освіта, параметризація, параметричний аналіз, дослідницьке навчання, математичне моделювання, комп'ютерне моделювання, наукове мислення.

Abstract. Traditional physics education focuses on solving standard problems with predefined conditions, which limits students' engagement in research activities. This paper proposes an alternative approach based on problem posing and parametric analysis of physical systems. The approach shifts learning from reproduction to inquiry: students formulate questions, identify parameters, examine model applicability, and analyze system behavior under varying conditions. The study outlines the didactic foundations and educational potential of parametric analysis for developing scientific thinking.

Keywords: problem posing, physics education, parameterization, parametric analysis, inquiry-based learning, mathematical modeling, computational modeling, scientific thinking.

Традиційна модель навчання часто репрезентує знання як завершену систему фактів і алгоритмів, які потрібно засвоїти та відтворити. Натомість сучасна освіта дедалі більше орієнтується на формування здатності ставити запитання, аналізувати умови задачі та конструювати способи її розв'язання. У рамках стратегії «постановки задачі» (problem posing) використовується сучасний дидактичний підхід, покликаний перетворити здобувача освіти з пасивного споживача інформації на активного дослідника [2]. Замість традиційного розв'язування готових вправ цей метод спонукає здобувачів освіти самостійно генерувати запитання та формулювати задачі на основі заданої фізичної ситуації або шляхом модифікації існуючих моделей [1].

У контексті фізико-математичних дисциплін реалізувати підхід problem posing доцільно через параметризацію невідомих. Будь-яке фізичне явище або математичну залежність доцільно розглядати як функцію вигляду $f(x, a, b, \dots)$, де a , b – параметри, що описують умови середовища, властивості матеріалів або зовнішні впливи. Змінюючи параметри системи (наприклад, під час дослідження механічних напружень у кристалах при варіюванні модуля Юнга та геометричних розмірів або при розрахунку оптимальної форми крила безпілотного літального апарата залежно від його маси), можна виявити межі застосовності теоретичних моделей та оцінити оптимальні значення параметрів.

Такий підхід не лише розвиває критичне мислення, а й формує дослідницькі компетентності, оскільки є природним наближенням до реальної наукової діяльності, де найскладнішим етапом є саме коректне формулювання проблеми, що потребує розв'язання. Переваги підходу [3]:

- Зміна концепції через трансформацію запитання: замість «Яка правильна відповідь?» на: «Як змінюється стан системи при варіації параметрів?».

- Дослідницький потенціал: Пошук значень параметрів, за яких система змінює фазовий стан або демонструє критичну поведінку (наприклад, поріг генерації спінових хвиль), може стати джерелом тем для наукових проєктів.

Дидактичні моделі навчання. Запровадження такого підходу базується на двох ключових моделях [2]:

- Системно-діяльнісний підхід. Учень не отримує готовий алгоритм, а конструює його в процесі діяльності. Етапи: Постановка проблеми, Побудова математичної моделі з параметрами, Дослідження розв'язності, Інтерпретація результатів.

- Ресурсно-орієнтоване навчання. Використання наукових текстів, симуляцій та спеціалізованого ПЗ як активного середовища. Самостійний пошук джерел для визначення діапазонів зміни параметрів (наприклад, термоелектричних коефіцієнтів у наноструктурах).

Інструментарій та методи розв'язання:

- Аналітичний: Пряме розв'язання рівнянь відносно шуканої величини з урахуванням ОДЗ параметрів. Дає змогу отримати точні формули (наприклад, дисперсійне співвідношення).

- Графічний: Побудова графіків функцій для різних значень параметрів. (Візуалізація ізопроесів, фазових переходів та критичних точок).

- Комп'ютерне моделювання: широкий спектр методів від побудови та аналізу сімейств графіків до швидкого перебору значень параметрів для виявлення закономірностей.

Технологія постановки задач:

- Pre-solution Posing (передрішення): створення власні задачі на основі заданої фізичної ситуації (наприклад, «Як зміняться моди спінових хвиль при переході від круглої до еліптичної геометрії нанотрубки?»).

- Диференціація параметрів: визначення, які параметри є фіксованими (константи), а які – вільними (керуючими).

- Критична верифікація: Оцінка, чи є модель адекватною при екстремальних значеннях параметрів.

- Моделювання та перевірка у віртуальних лабораторіях: Заміна фізичних установок чисельними експериментами в середовищах (MATLAB, Python, GRAN1, тощо) для моделювання складних процесів [4].

Отже, параметризація задач в контексті пошуку знань та формулювання нових напрямків дослідження забезпечує:

- Перехід від алгоритмічного до евристичного мислення: замість пошуку «правильної відповіді» визначення «діапазону існування явища».

- Формування цілісної картини світу: Розуміння того, що будь-який закон – це лише частковий випадок більш загальної параметричної залежності.

- Наукову релевантність: Навички параметризації невідомого є фундаментом для написання методологічних розділів PhD-робіт та розробки нових технологій.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Інститут цифровізації освіти НАПН України. (2024). Цифрова трансформація відкритих науково-освітніх середовищ: монографія [Digital transformation of open scientific and educational environments: Monograph]. Київ.
- [2] Cai, J. (2020). Learning to teach through mathematical problem posing. *Journal of Mathematical Behavior*, 58, 100781.
- [3] Diquito, T. J. A., Dhaniaputri, R., & Acuña, A. R. (2025). Teaching strategies in physics education: A systematic literature review. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 11(5), 112–123.
- [4] Pavlenko, M. P., Pavlenko, L. V., Iotov, Y. V., & Pavlenko, Y. M. (2025). Experience in the development and implementation of the course “Python for physics teachers”. *Journal of Physics: Conference Series*, 3105(1), 012011.

Irlanova O. O., Gareeva F. M.

National Technical University of Ukraine

“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

email: oirlanova@gmail.com; fainamax51@gmail.com

FROM SCHOOL TO UNIVERSITY: THE TRAJECTORY OF SOFT SKILLS FORMATION IN CONTINUOUS EDUCATION

Abstract. This study examines the transformation of soft skills during the transition from secondary to higher education. It highlights that, alongside academic knowledge, higher education requires self-management, critical thinking, and responsibility. The analysis shows that universities play a key role in developing these competencies and supporting student adaptation to new learning demands.

Keywords: soft skills, professional competence, self-management, critical thinking, teamwork, student adaptation, communication skills.

Анотація. У роботі досліджено трансформацію м'яких навичок під час переходу від середньої до вищої освіти. Показано, що поряд з академічними знаннями вища освіта потребує розвинених навичок самоменеджменту, критичного мислення та відповідальності. Обґрунтовано роль університету у формуванні цих компетентностей і адаптації студентів до нових освітніх вимог.

Ключові слова: soft skills, професійна компетентність, самоменеджмент, критичне мислення, командна робота, адаптація студентів, комунікативні навички.

Ukrainian scholars have devoted considerable attention to the development of soft skills. In particular, the works of O. H. Hlazunova, T. V. Voloshyna, and V. I. Korolchuk examine methods and indicators of soft skills development within professional training [1]. Studies by O. M. Vasylenko and I. M. Korchak emphasize the

role of these skills in students' professional development [2]. The development of soft skills in modern education is also addressed in the works of Y. M. Brailko and M. V. Savchenkova [3–4].

Secondary school and university operate under different systems of control and organization of the educational process. While the school system is strictly regulated by schedules and teacher supervision, higher education institutions require greater student autonomy. Researchers [1] emphasize that a key challenge for first-year students is the transition to independent planning of study time. This transformation involves replacing external motivation with internal motivation and developing prioritization skills (time management), which is essential for preventing academic difficulties.

The specific features of university education, especially in technical fields, require a shift away from the traditional memorization typical of school learning. In the university environment [3], soft skills gradually transform into the ability to conduct systematic analysis and solve complex professional problems. Critical thinking becomes an essential tool for evaluating information, analyzing data, and selecting optimal solutions. Interactive teaching methods contribute to the development of the ability not only to absorb information but also to establish cause-and-effect relationships and apply knowledge in practice [2].

An important role in the development of new skills among first-year students is played by the transformation of communication skills, driven by changes in social roles. A student becomes an active participant in the educational process, where communication with teachers increasingly takes the form of professional discussion. Research shows that group projects and extracurricular activities contribute to the development of teamwork and professional communication skills [4]. This transforms basic communication skills into a tool for professional collaboration, with formatting

that must comply with the established DSTU 8302:2015 standards [5]. To visualize these changes, a comparative table is presented below.

Table 1. Comparison of levels of soft skills formation

Skill	School level	University level
Communication	Answering curriculum-based questions	Scientific discussion, project presentations
Self-management	Following a fixed schedule	Independent prioritization and deadline management
Thinking	Memorization and reproduction of facts	Analysis of conflicting data and problem-solving

Analysis of scientific sources [1–4] shows that studying at a higher education institution requires not only adaptation but also significant development of soft skills. The most noticeable changes concern self-organization, which evolves from adherence to externally regulated discipline into the ability for independent strategic planning, particularly through the use of time management tools. In addition, critical thinking develops from the simple reproduction of knowledge to the analytical solution of complex problems.

The findings confirm that the university environment serves as a crucial factor in the development of soft skills. The nature of academic study, particularly within technical faculties, creates conditions in which critical thinking, self-organization, and teamwork become essential components of the professional development of future specialists.

These research results can be utilized by university administrations and academic advisors to design targeted adaptation programs for first-year students.

REFERENCES

- [1] Глазунова, О. Г., Волошина, Т. В., & Корольчук, В. І. (2019). Розвиток soft skills у майбутніх фахівців з інформаційних технологій: методи, засоби, індикатори оцінювання. Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету, спецвипуск, 93–106.
- [2] Василенко, О. М., & Корчак, І. М. (2021). Формування у студентів-психологів soft skills як чинник їх успішної майбутньої професійної діяльності. *Psychology Travelogs*, (2). <https://doi.org/10.31891/PT-2021-2-2>
- [3] Браїлко, Я. М., Палеха, О. Б., & Рудич, О. М. (2022). Розвиток м'яких навичок майбутніх учителів у процесі викладання філологічних дисциплін. *Естетика і етика педагогічної дії*, (25), 94–104. <https://doi.org/10.33989/2226-4051.2022.25.256659>
- [4] Савченкова, М. В. (2025). Формування soft skills як основа професійної мобільності фахівців у сучасному освітньому процесі. *Mental Health*, (1). <https://doi.org/10.32782/3041-2005/2025-1.5>
- [5] ДСТУ 8302:2015. (2016). Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ: ДП «УкрНДНЦ».

Котовський В. Й.¹ Дунаєвський В. І.² Назарчук С. С.¹

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна; email: kotovsk@kpi.ua

²Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України, м. Київ, Україна email: info@isp.kiev.ua

ІНФРАЧЕРВОНА ТЕРМОГРАФІЯ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

Анотація. Роботу присвячено аналізу інфрачервоної термографії як сучасного інструменту підготовки фахівців фізико-технічних спеціальностей. Розкрито її міждисциплінарний характер, що поєднує фізику теплових процесів, інженерію, матеріалознавство та інформаційні технології. Показано можливості застосування методу в освітньому процесі, зокрема у лабораторних роботах, проєктній діяльності та наукових дослідженнях. Окреслено перспективи розвитку інфрачервоної термографії, включаючи інтеграцію з технологіями штучного інтелекту, та обґрунтовано її ефективність у формуванні професійних компетентностей майбутніх інженерів і фізиків.

Ключові слова: інфрачервона термографія, освіта, міждисциплінарність, наукові дослідження, інженерія, діагностика, штучний інтелект.

Abstract. The work is devoted to the analysis of infrared thermography as a modern tool for training specialists in physics and engineering fields. Its interdisciplinary nature, combining thermal physics, engineering, materials science, and information technologies, is highlighted. The method's applications in the educational process, including laboratory work, project-based learning, and scientific research, are demonstrated. The перспективи розвитку методу, including integration

with artificial intelligence technologies, are outlined, and its effectiveness in developing professional competencies of future engineers and physicists is substantiated.

Keywords: infrared thermography, education, interdisciplinarity, scientific research, engineering, diagnostics, artificial intelligence.

Вступ.

Сучасна система підготовки інженерів і фізиків потребує інтеграції новітніх технологій у навчальний процес. Одним із перспективних напрямів є використання ІЧТ-методу безконтактного вимірювання та візуалізації температурних полів. Термографія поєднує фундаментальні знання з фізики теплових процесів із практичними навичками роботи з високотехнологічним обладнанням, що робить її цінним інструментом у формуванні професійних компетентностей [1].

До нових навчальних дисциплін, запроваджених на фізико-математичному факультеті КПІ ім. Ігоря Сікорського, належать: «Інфрачервона термографія як інструмент наукових досліджень», «Тепловізійні технології», «Основи обробки термографічних зображень». Окрім отримання теоретичних знань, пов'язаних із вивченням фізичних принципів реєстрації ІЧ-випромінювання об'єктів та його перетворення у видиме зображення, здобувачі на практичних і лабораторних заняттях опановують навички самостійної роботи із застосування методу ІЧТ у наукових дослідженнях і практичній діяльності. Отримані знання дають змогу створювати моделі енергоефективних систем, проводити діагностику технічних і біологічних об'єктів, досліджувати теплопровідність різних матеріалів, аналізувати теплові втрати у будівельних конструкціях, здійснювати контроль роботи електронних схем тощо.

Переваги для освітнього процесу

До переваг використання методу ІЧТ в освітньому процесі можна віднести: міждисциплінарність (інтеграція фізики, інженерії, матеріалознавства та ІТ);

практичну орієнтованість (формування навичок роботи з сучасними діагностичними системами); інноваційність (підготовка студентів до роботи з технологіями, що активно застосовуються у промисловості та наукових дослідженнях).

Проблеми та обмеження у використанні методу

- висока вартість термографічного обладнання;
- необхідність адаптації навчальних програм;
- потреба у підготовці викладачів до роботи з новими технологіями.

Перспективи розвитку тепловізійних технологій

- інтеграція з ШІ (автоматизований аналіз теплових даних);
- розширення освітніх програм (включення тепловізійних технологій у курси з енергетики, екології, нанотехнологій тощо);
- міжнародна співпраця (участь студентів у спільних проєктах із закордонними університетами та дослідницькими центрами).

З метою поєднання академічної та університетської науки на ФМФ спільно з Інститутом фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарьова НАН України було створено навчально-наукову лабораторію ІЧТ. У лабораторії використовуються два типи термографів: стаціонарний з охолоджуваною матрицею на спектральний діапазон 3–5 мкм (розробка Інституту фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарьова НАН України) та портативний термограф без охолодження моделі ThermoCAM E300 фірми FLIR SYSTEM (США) на спектральний діапазон 7–14 мкм. Наявність переносних та стаціонарних термографів дає змогу проводити дослідження як у лабораторних умовах, так і поза ними.

Підготовка студентів базується на вивченні законів теплового випромінювання, принципів роботи фотонних і квантових приймачів випромінювання, основ побудови тепловізійних систем, їхніх загальних принципів, можливостей термографії, конструкції тепловізорів, удосконалення

програмного забезпечення та спрощення обробки термографічних зображень; формуванні вмінь самостійно застосовувати метод ІЧТ у наукових дослідженнях, медицині, екології, агропромисловості тощо. За час існування лабораторії понад 200 студентів ФМФ пройшли курс лабораторних і практичних занять з ІЧТ, захищено 6 бакалаврських і 21 магістерську роботу; підготовлено матеріали та успішно захищено 4 кандидатські і 2 докторські дисертації.

Результати роботи лабораторії відображено у 90 наукових працях, зокрема в журналах, що індексуються у Web of Science та Scopus, у матеріалах 48 науково-практичних конференцій; отримано 9 патентів України на корисну модель. Опубліковано 5 розділів у колективних монографіях зарубіжних видань тощо.

Нижче наведено деякі наукові та практичні результати діяльності навчально-наукової лабораторії.

Моделювання антропогенних зон у водоймах

Досліджено та змодельовано процес забруднення водойм стоками (важкими компонентами), що містять солі. На рисунку (рис. 1а, б) показано, що сольовий розчин осідає у придонних шарах, де концентруються забруднення, які потрапляють у водойми. Термограми надають інформацію про розподіл температурного поля, зміна якого відрізняється від процесів масообміну [2].

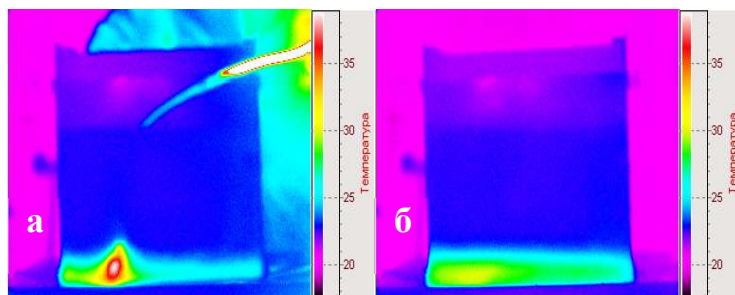


Рис. 1. Термографічне зображення розтікання сольового розчину на початку (а) та після 30 хвилин дослідження (б).

Термографія в агропромисловому виробництві.

Зміна температури листя та стовбура рослин дає можливість використовувати метод ІЧТ для дослідження процесів оводнення рослин з метою визначення їхнього стану. Термограма (рис. 2) демонструє процес оводнення рослини, на якій чітко візуалізуються внутрішні дефекти, що призводять до нерівномірного поглинання рідини та впливають на врожайність [3].

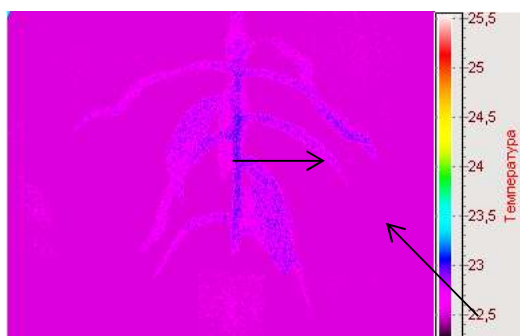


Рис. 2. Розподіл рідини по стовбуру та листям рослини.

Дослідження теплофізичних властивостей радіопрозорі кераміки.
Дослідні зразки виготовлено методом шлікерного лиття з різним хімічним складом. Нагрівання зразків здійснювалося з використанням теплової платформи, що забезпечувала підвищення температури до 200 °С. Отримані термографічні зображення одного з досліджуваних зразків під час нагрівання наведено на рисунку 4. Нерівномірний розподіл температури на початковому етапі нагрівання може свідчити про структурну неоднорідність; після нагрівання протягом 200 с спостерігається вирівнювання температури по всій поверхні досліджуваного зразка [4].

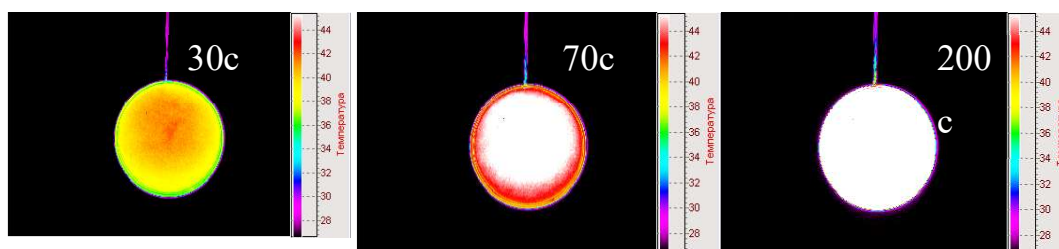


Рис. 4. Термографічна візуалізація керамічного зразка під час нагріву.

Контроль дефектів елементів сонячної батареї

Термограму сонячних елементів (СЕ) без дефектів та попіксельний розподіл температури представлено на рисунках 5а, б. Осередки перегріву при протіканні прямого темного струму мають вигляд періодичних смуг і зосереджені поблизу шин живлення та вихідних контактів батареї (рис. 5в). Під час нагрівання СЕ осередок із дефектом має підвищену температуру ($72\text{ }^{\circ}\text{C}$), що відображено на термограмі (рис. 5г).

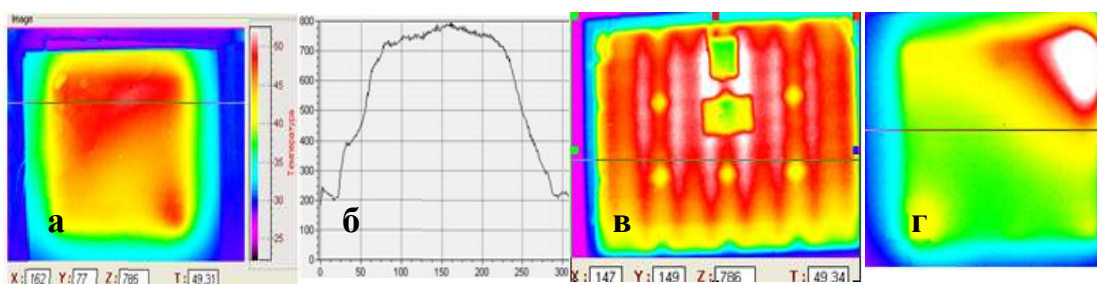


Рис. 5. Термограма СЕ без дефектів (а); попіксельний розподіл температури СЕ без дефектів (б); термограма тильної сторони сонячної батареї потужністю 30 Вт при протіканні прямого темного струму (в); термограма СЕ при протіканні зворотного темного струму з температурою в зоні дефекту $72\text{ }^{\circ}\text{C}$ (г) [5].

Термографічний контроль однорідності плівкового покриття

Досліджувалися прозорі електропровідні покриття на основі оксидів олова та індію на скляній підкладці. Такі структури використовуються в мікроелектроніці та у виробництві СЕ. Було встановлено, що при напрузі від 5 до 15 В нагрівання зразка було рівномірним, а при напрузі від 15 до 35 В проявлялися температурні

особливості (рис. 6) у вигляді вертикальних більш нагрітих ділянок з температурою 60–90 °С, тоді як середня частина нагрівалася лише до 30–40 °С, а на торцях з електродами температура не перевищувала 30°С.

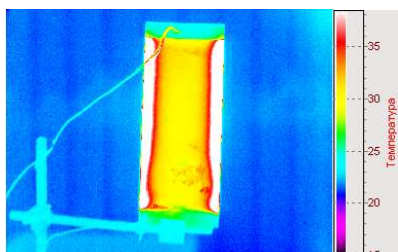


Рис. 6. Термограма нерівномірного нагріву виготовленого зразка при напрузі 30В змінного струму.

Нерівномірність розподілу температури може бути пов'язана як зі зміною складу покриття, так і з топологічним нерівномірним розподілом його товщини [6].

Дослідження еластооптичного ефекту кварцового скла

Теоретично та експериментально з використанням техніки модуляційної поляриметрії та методу ІЧТ досліджено еластооптичний ефект у зразках кварцового скла, в яких механічні напруження та оптична анізотропія індукуються у часі й просторі тепловим потоком.

Удосконалення фотопружного методу з використанням модулятора поляризації дало змогу підвищити його чутливість до виявлення величини термопружності, достатньої для її достовірної реєстрації в умовах перепаду температур на кінцях зразка в частках одиниць градуса.

Термограми зразків кварцового скла, на яких досліджувався еластооптичний ефект, наведено на рис. 7.

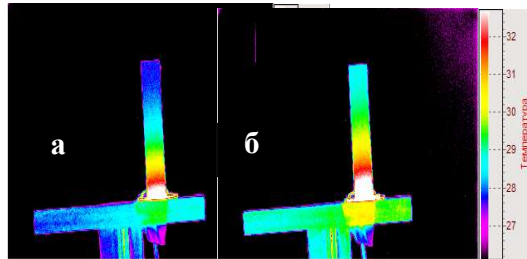


Рис. 7. Термографічна візуалізація зразків кварцового скла в різні моменти часу, що контактують нижнім торцем з нагрівачем.

Енергоаудит будинків та споруд

Для розроблення й оцінювання ефективності таких проєктів необхідна об'єктивна інформація про реальний стан будинків, зокрема щодо їхнього теплозахисту та тепловтрат.

На рисунку 6 представлено конкретний приклад енергоаудиту з метою отримання об'єктивної інформації про тепловий стан будинку (гуртожитку).

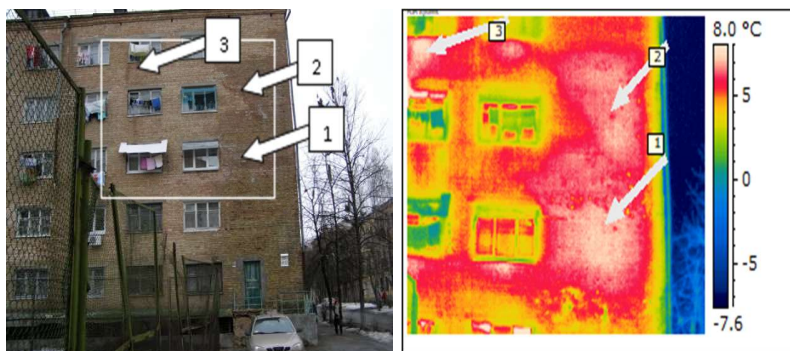


Рис. 6 Приклад енергоаудиту гуртожитка

На фотографії (ліворуч) показано будинок гуртожитку у видимому діапазоні спектра, а праворуч – термограму того ж будинку в ІЧ-діапазоні. Виділена область (ліворуч) відповідає ІЧ-фрагменту (праворуч), де стрілками позначено проблемні місця, а саме: стрілки 1 і 2 вказують на витік тепла, спричинений порушеннями внутрішньої та зовнішньої гідроізоляції стіни, а стрілка 3 – на витік тепла, спричинений відсутністю тепловідбивного екрана між батареєю опалення та стіною. Згідно зі стандартом ISO 6781-83, проведені розрахунки показали, що з кожного квадратного метра поверхні будинку втрачається близько 20 Вт енергії [7].

Інфрачервона термографія у медичних дослідженнях

На термограмі (рис. 7) наведено приклад порушення кровоплину у людини з чітко вираженою зоною гіпотермії та термопрофіль уздовж лінії Li1.

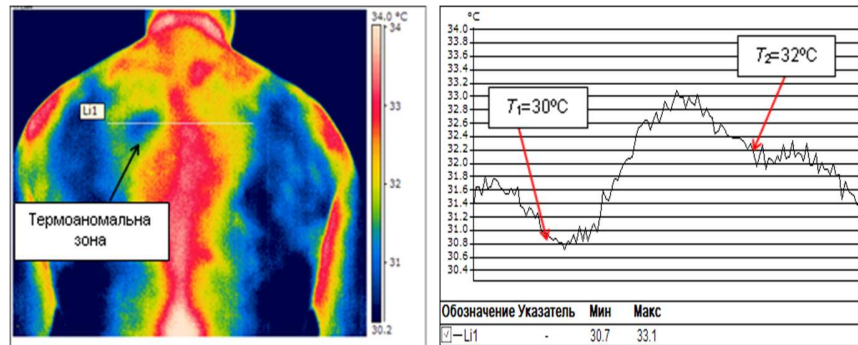


Рис. 7 Приклад порушення кровоплину:

T1 – температура в аномальній зоні;

T2 – температура у відповідній симетричній зоні.

На тлі загальної відносної симетрії розподілу теплових полів у лівій верхній частині спини було виявлено термоаномальну зону (темну пляму, позначену стрілкою) з градієнтом температури $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Під час додаткового обстеження у фахівця з'ясувалося, що це доброякісне новоутворення у вигляді звичайного жировика [7]. На рисунку 8 наведено термограму обличчя людини з різною температурою очних западин. Градієнт температури у здорових людей, як правило, не перевищує $0,2\text{--}0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, перевищення якого є підставою для проведення подальших обстежень у фахівців та встановлення точного діагнозу.

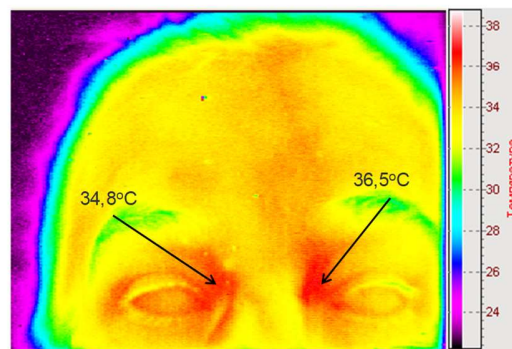


Рис. 8 Термограма людини з різною температурою очних западин.

Різниця температури між правою і лівою очними западинами становить $1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, що вказує на необхідність подальших обстежень у фахівців [7].

Отже, проведена оцінка свідчить, що використання в медичній практиці сучасних ІЧ-термографів розширює можливості діагностики різних патологічних станів людини та проведення профілактичних заходів.

Висновки

Інфрачервона термографія є ефективним інструментом у підготовці фахівців фізико-технічних спеціальностей. Її використання сприяє розвитку критичного мислення, практичних навичок та інноваційного підходу до розв'язання різноманітних задач. Включення термографії до освітнього процесу забезпечує формування компетентностей, необхідних для роботи в сучасних науково-технічних галузях, зокрема в біомедичній інженерії.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Haglund, J., Jeppsson, F., & Schönborn, K. J. (2022). Thermal cameras in science education. Springer.
- [2] Bozhko, K., Maslov, V., Porev, V., Timofeev, V., Venger, E., & Lysenko, M. (2014). Thermographic modeling of pollution of reservoirs with solutions NaCl. *American Journal of Environmental Protection*, 3(5), 263–266. <https://doi.org/10.11648/j.ajep.20140305.19>
- [3] Dunaevskiy, V., Venher, Y., Liptyha, A., Kotovskiy, V., Timofeyev, V., & Nazarchuk, S. (2020). Контроль стану овочів, фруктів та рослин з використанням методу інфрачервоної термографії. *Food Science and Technology*, 14(4), 98–104. <https://doi.org/10.15673/fst.v14i4.1903>
- [4] Venher, Y., Dunaevskiy, V., Kotovskiy, V., Bolgarska, S., Kyslyi, V., Timofeyev, V., Orel, V., & Nazarchuk, S. (2021). Infrared thermography as an effective tool for research and industrial application. *Science and Innovation*, 17(5), 20–33. <https://doi.org/10.15407/scine17.05.020>
- [5] Божко, К. М., Дунаєвський, В. І., Котовський, В. Й., Маслов, В. П., & Порєв, В. А. (2013). Інфрачервона термографія сонячних елементів, нагрітих темновим струмом. *Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*, (46), 56–63.
- [6] Дунаєвський, В. І., Маслов, В. П., Назарчук, С. С., Туру, Т. А., & Качур, Н. В. (2015). Оптичний поляризаційний спосіб неруйнівного контролю нагрівача на основі прозорої електропровідної плівки ІТО. *East European Scientific Journal (Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe)*, 2(4), 73–76.
- [7] Котовський, В. Й., & Джежеря, Ю. І. (2014). Неінвазивні технології у біомедичних дослідженнях. НТУУ «КПІ».

*Кушлик-Дивульська О. І, Авдєєва Т. В., Козак В. І., Реверук К. О.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна
email: olgakushlyk64@gmail.com*

ЗНАЧИМІСТЬ ЧИСЛА π

Анотація. Коротко показано історію обчислення константи π , її важливість у наукових дослідженнях, становлення неофіційного свята «День числа π ». Висвітлено деякі аспекти квест-гри «Космічна подорож планетами подвійної зірки «Математика–Фізика»».

Ключові слова: константа π , математика, квест-гра.

Abstract. The history of calculating the constant π , its importance in scientific research, and the emergence of the unofficial holiday «Pi Day» are briefly outlined. Some aspects of the quest game «Space Journey through the Planets of a Binary Star “Mathematics–Physics”» are highlighted.

Keywords: π constant, mathematics, quest game.

Неофіційне свято любителів математики та шанувальників числа π наближається до свого 40-річного ювілею. Засновник свята «День числа π » – фізик із Сан-Франциско, Ларрі Шоу (1987). Вперше святкування відбулося 14 березня о 1 годині 59 хвилин 26 секунд. Дата і час відповідають першим цифрам числа. Відомим також є факт, що в цей день народився Альберт Ейнштейн – засновник теорії відносності. Але є також і другий день святкування числа π – його називають «наближеним π », який Архімед записував дробом [1]. Для цього він вписав один багатокутник у коло, а другий, з такою самою кількістю сторін, описав довкола того ж кола. Науковець поступово збільшував кількість сторін

багатокутників, дійшовши до 96. Так він зумів довести, що число π лежить у діапазоні між $223/71$ та $22/7$, тобто між 3,1408 та 3,1429.

Історія числа «пі» сягає 2000 року до н. е.: вавилоняни вираховували його як 3,125 (обчислювали площу круга як три квадрати його радіуса). Більш точне наближення було отримано у Стародавньому Єгипті – 3,143 (папірус Рейнда). Символ числа «пі» (π) регулярно почали використовувати в математичному сенсі лише за останні 250 років [2]. Уперше його так назвав англійський математик Вільям Отред у 1647 році у своїй праці «Clavis Mathematicae». Проте ця практика не поширилася, аж поки швейцарський математик Леонард Ейлер не використав символ π через 90 років (1737 р.), саме літеру π , адже вона є першою у грецькому слові «περίφερα» – «окружність», тобто довжина кола [3].

Число π можемо побачити й у світі природи, в усьому, що пов'язане з колом, як-от сонячний диск, спіраль ДНК чи зіниця ока. Також за допомогою цього числа описують фізичні процеси, зокрема рух води чи інших рідин, поширення світлових та звукових хвиль, а також звивистість річок. Воно зустрічається також і в мистецтві: у творчості канадського біоінформатика Мартіна Кшивінського (картини, що містять зображення 13 689 цифр числа π), а також у музичних інтерпретаціях, зокрема, грі на фортепіано.

Число π надихає на творчість, що і сприяло проведенню в дні його святкування (Тиждень математики, 12.03.2026–18.03.2026) цікавих, змістовних квестів «Математичний калейдоскоп», «Математична естафета», «Математичні мініатюри», природничо-математичного брейн-рингу «Подорож від Архімеда до Планка», а також «Пі-наукової конференції», яка стала традиційною і цього року відбулася як третя Всеукраїнська наукова Пі-конференція.

Основним ініціатором проведення комплексного святкування Дня математики, Дня числа π на рівні всієї країни 4 роки поспіль виступає Мала академія наук України, КПШ ім. Ігоря Сікорського разом з іншими

університетами-партнерами. І, власне, 14 березня відбувся захід під час тижня математики на ФМФ: квест-гра «Космічна подорож планетами подвійної зірки Математика-Фізика» в рамках Всеукраїнського фізико-математичного місяця математики «Від числа π до сталої Планка h ».

Співробітники кафедри математичної фізики та диференціальних рівнянь фізико-математичного факультету нашого університету (завідувач кафедри – Володимир Горбачук) разом зі студентами першого курсу груп ОМ-51 та ОМ-52 підготували комплекс завдань, який було презентовано у форматі станцій. Квест-гра «Космічна подорож планетами подвійної зірки «Математика–Фізика»»: учасники розгадували складні головоломки, щоб прокласти шлях крізь зірки. Поєднання двох наук допомогло зрозуміти, як працює наш світ. Наймолодші та найамбітніші учасники підкорювали всесвіт у стінах КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Не обов'язково школярам пробувати свої сили на кожній із станцій, оскільки наявність двох успішних «сходинок» давала можливість побувати вже на зірці «Фізика». Серед станцій «Логіка», «Геометрія», «Комбінаторика та ймовірність», «Графи», «Алгебра», «Теорія чисел», «Арифметика», «Теорія множин», «Геометрія», «Стереометрія» найбільш популярними були «Арифметика», «Логіка», «Алгебра», «Теорія множин» та «Комбінаторика та ймовірність», які були доступними як для дітей п'ятого, так і старших класів. Побудовані задачі базувалися на креативному підході з використанням цікавинок як історичного змісту, так і сюжетів, пов'язаних із «перебуванням на планетах зіркової системи», зокрема задач, пов'язаних із логістичними перевезеннями та енергозабезпеченням.

Наймоладші учасники підкорювали станцію «Алгебра»: злам піратського сейфа «Чорна діра» (стабільність «енергетичного ключа» як знання законів космічної математики – властивості степенів); формула «Гіперстрибок» (економія палива), енергетичний вузол «Пульсар» (розв'язування рівняння

енергетичного балансу для активації роботи двигуна реактора). Старшокласники захоплювалися перебуванням на станціях «Теорія множин», «Комбінаторика та ймовірність»: задачами про програмістів, маневр у туманності, зоряний гардероб, ймовірність метеоритного дощу, чорна скринька енергоблоків, астероїдна тривога та надійність радарів. Підсумком правильного вирішення, розкриття проблеми (режим зорельота – очікування, стабілізація реактора, сонячні панелі, навігаційні вогні тощо) ставало розв'язування рівняння, складання математичної моделі з подальшим її дослідженням, а також вибір чисел у правильній послідовності. І це вже математика, яка пов'язана з нашою реальністю!

Математика є не лише мовою науки, а й потужним інструментом для розуміння світу, пошуку рішень складних проблем і створення майбутнього. Математичні ідеї допомагають прогнозувати кліматичні зміни, розвивати нові технології, вдосконалювати медицину, оптимізувати транспорт і комунікації. У складні часи математика стає джерелом раціонального мислення, інновацій та віри в можливість знайти рішення.

Пі-лінія онлайн: навіть на відстані, у тиждень математики, учасники відчували велич числа π . Учні дізналися про неймовірну роль цієї константи у фізичних процесах та її нескінченні таємниці.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Цікаві факти про число π . <https://vseosvita.ua/blogs/tsikavi-fakty-pro-chyslo-pi-27055.html>
- [2] Цікаві факти та історія числа « π ». <https://www.factday.net/7-9-cikavi-fakty-ta-istoriya-chysla-pi.html>
- [3] Що ми знаємо про число π : добірка фактів. <https://platform.man.gov.ua/media/cf77d280-4fe7-4768-899a-56dba5b1b650>

Литвиненко А. О., Кушлик-Дивульська О. І., Авдєєва Т. В.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна
email: olgakushlyk64@gmail.com

МАТЕМАТИКА В ПОВСЯКДЕННОМУ ЖИТТІ

Анотація. Коротко показано історію становлення математики як науки. Виокремлено проблему сучасної математичної грамотності. На прикладі позакласних заходів проаналізовано важливість математики в реальному житті.

Ключові слова: математика, позакласні заходи, логічне мислення.

Abstract. The history of the formation of mathematics as a science is briefly outlined. The problem of contemporary mathematical literacy is highlighted. The importance of mathematics in real life is analyzed using the example of extracurricular activities.

Keywords: mathematics, extracurricular activities, logical thinking.

*Справа не в тому, що вони не бачать розв'язку.
Справа в тому, що вони не бачать проблеми.
Гільберт Кім Честертон*

Математику часто вважають абстрактною наукою, забуваючи про те, що вона народжувалася та розвивалася з практичних задач як відповідь на господарські потреби людини. Історію розвитку математики поділяють на чотири основні періоди [1].

Перший період (приблизно VI–V ст. до н. е.) – поняття цілого числа, раціонального дроби, відстані, площі, об'єму; створено правила виконання дій з числами, найпростіші правила визначення площ фігур і об'ємів тіл. Виникла арифметика, згодом – алгебра, у зв'язку з потребами астрономії – тригонометрія.

У другий період (до середини XVII століття) математика стає самостійною наукою зі своєрідним, чітко вираженим методом і системою основних понять: десяткова система числення, метод розв'язування лінійних рівнянь з двома і трьома невідомими; виокремлюється теорія чисел. Велике значення мали праці Піфагора Самоського, Гіппократа Хіоського, Евдокса Кнідського, Евкліда, Архімеда, Діофанта. У Київській Русі математична освіта була на рівні найкультурніших країн Європи того часу. У третьому періоді (до початку XX століття) створено математику змінних величин, а в четвертому, сучасному періоді, математика стає базою для моделювання процесів, включаючи її використання в теорії ймовірностей та комп'ютерних науках.

Математика – це не лише світ чистих ідей, а передусім інструмент для розв'язання життєвих потреб, який має глибоке історичне та логічне підґрунтя. У сучасному світі математика – це не лише вміння виконувати обчислення, а й здатність людини аналізувати реальні дані, оцінювати ризики та приймати оптимальні рішення на основі вхідної інформації. Математика – предмет, який вимагає високої концентрації, акуратності обчислень, послідовності дій та «спокійного розуму». Сьогодні через воєнний стан у країні, українська шкільна математика стикається з труднощами, які виходять далеко за межі простого «невивченого правила» або «порушеного алгоритму». І тут на підмогу приходять позашкільні заходи, де можлива реалізація нового, раніше невивченого матеріалу, знайомство з нетрадиційними методиками, а також банальне спілкування з профільними фахівцями.

Пряма робота з ліквідації освітніх втрат відбувається через додаткові активності, такі як профільні школи (літні та зимові школи КМАН), вебінари за певними темами, організація квестів, логічних ігор (на кшталт «Brain-ring», «Математика в кубі»). В програмі проведення «Тижня математики» в КПШ ім. Ігоря Сікорського з нагоди Міжнародного дня числа « π » проведено ряд

заходів, зокрема вебінар «Як зацікавити математикою «гуманітарних учнів»?», круглий стіл «Математика без формул». Метою таких заходів є популяризація математичної освіти, підсилення математичної грамотності підростаючого покоління, а також профорієнтаційна робота – залучення абітурієнтів, майбутніх студентів ФМФ.

У суспільстві спостерігається небезпечна тенденція – знецінення академічних знань перед обличчям реальних загроз та утворення «прогалін» в освіті. Математика побудована за принципом піраміди: якщо ви не зрозуміли дроби в п'ятому класі, ви не зможете розв'язати раціональні рівняння у восьмому. Причини виникнення прогалін у більшості випадків є об'єктивними: учням важко зосередитися на розв'язанні довгих рівнянь, коли лунає повітряна тривога або є занепокоєння за близьких; постійний стрес заважає переходу інформації з короткострокової пам'яті в довгострокову (наприклад, формули скороченого множення просто «вилітають» з голови або плутаються: «різниця квадратів чи квадрат різниці»), а також відсутність інтерактивності; відсутність світла та зв'язку; навчання в укриттях: шум, відсутність зручних робочих місць (дошок, столів), погане освітлення заважають якісному письму та обчисленням.

Якість навчання математики критично залежить від енергії викладача та учня. У ці складні часи можна побачити ознаки емоційного вигорання педагога. Вчитель має не лише пояснити характеристики рівняння прямої $y = kx + b$, а й заспокоїти клас під час тривоги. Багато кваліфікованих вчителів математики вступили до лав захисників України, вимушено залишили свої домівки або змінили професію. Ті, хто залишився працювати, часто мають надмірне навантаження (замість 18 годин на тиждень читають 28 годин або й більше), що не дозволяє приділяти час індивідуальній роботі з учнями (талановитими або відстаючими) – це створює додаткові проблеми з викладанням предмета.

До простіших побутових прикладів належать: вмістити всі покупки в один пакет, сумку; розмістити валізу в багажнику автомобіля; поклейка шпалер – визначення кількості необхідних рулонів та клею; приготування святкової вечері тощо – усе це є далеко не повним переліком використання математики, а також пов'язане з побудовою математичних моделей, розвитком логічного мислення та когнітивних здібностей. Проблема в тому, що в школі нас вчать обчислювати, а в житті нам потрібно аналізувати та діяти. Обчислення зараз виконують калькулятори та штучний інтелект, а от вибір правильної стратегії і є справжньою математикою.

Формули – це лише компактний спосіб запису ідей, а сама математична наука є наукою про логіку, структури та способи мислення. І вона можлива також без формул, де важливими є візуалізація, дедукція, пошук причинно-наслідкових зв'язків, компетентнісні завдання, моделювання. Логічні задачі, ігри на мобільних пристроях або паперові головоломки тренують математичні здібності без використання формул. Наприклад, sudoku або шахи – це чиста математика, хоча чисел там може не бути зовсім [2].

Математика дає відповідь на питання: «Чому одна піца діаметром 40 см за площею більша, ніж дві піци діаметром по 28 см?». При цьому в одній великій піці менше «бортів» (тіста без начинки), і вона зазвичай дешевша, ніж дві середні. Математика – це про раціональний вибір і практичну вигоду!

Дорослі люди, не обов'язково освітяться, повинні мати відповідь на складні питання: «Чому?», «Для чого мені треба знати цей матеріал?». Тоді з'явиться зацікавленість математикою та запрацюють програми, спрямовані на ліквідацію освітніх втрат. На цей час запущена програма «Наздогнати навчання» (Learning Recovery) – комплексна відповідь на освітні втрати, спричинені пандемією та повномасштабною війною. В інтернет-просторі відбувається створення цифрових екосистем під гаслом «Навчання без кордонів». Створені платформи з

відеоуроками, тестами та додатковими матеріалами для 5–11 класів, які забезпечують єдиний стандарт навчання незалежно від місця перебування дитини. Вітається створення коротких інтенсивних курсів з базових тем математики, таких як дроби, відсотки, функції тощо. При зацікавленні учнів навчальним матеріалом можна використовувати платформи, де математика подається як гра, що знижує рівень стресу та підвищує вироблення біологічно активної хімічної речовини – дофаміну, яка виділяється в передчутті перемоги, досягнення певних результатів. Для повернення інтересу до навчання слід відзначити використання різних симуляцій (GeoGebra тощо), які докорінно змінюють навчання, перетворюючи пасивне спостереження на активне дослідження. Для вчителя та учня вони цікаві насамперед можливістю «побачити невидиме» та експериментувати з величинами.

Проведені заходи підтвердили, що окрім побутового застосування та розв'язання суто теоретичних задач, математика є обов'язковою частиною планування та передбачення майбутнього.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Історія математики. https://uk.wikipedia.org/wiki/Історія_математики
- [2] Живильне джерело наук: чому потрібно вивчати математику? ZNOGarant. <https://znogrant.com.ua/blog/chomu-treba-vyvchaty-matematyku/>

Місaiлова М.В.

*Інститут біохімії ім. О. В. Палладіна НАН України, Меморіальний музей
академіка Олександра Володимировича Палладіна, м. Київ, Україна*

email: mvmisailova@gmail.com

МЕМОРІАЛЬНИЙ МУЗЕЙ ОЛЕКСАНДРА ПАЛЛАДІНА ЯК ІНСТРУМЕНТ ІНТЕГРАЦІЇ ІСТОРИКО-НАУКОВИХ ЗНАНЬ У СИСТЕМУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Анотація. У тезах розглянуто досвід науково-освітньої діяльності Меморіального музею Олександра Палладіна як інструменту інтеграції історико-наукових знань у систему вищої освіти. Проаналізовано використання інтерактивних форматів роботи з аудиторією, а також окреслено роль музейних фондів у збереженні та актуалізації наукової спадщини. Особливу увагу приділено впровадженню міжнародних стандартів опису музейних об'єктів і розвитку каталогізації як основи цифровізації музейних колекцій.

Ключові слова: меморіальний музей, історія науки, біохімія, науково-освітня діяльність, каталогізація, цифровізація, музейні стандарти.

Abstract. This paper examines the experience of the scientific and educational activities of the Alexander Palladin Memorial Museum as a tool for integrating historical and scientific knowledge into higher education. The use of interactive formats for engaging audiences is analyzed, and the role of museum collections in preserving and actualizing scientific heritage is outlined. Particular attention is paid to implementing international standards for describing museum objects and to developing cataloging as the foundation for the digitization of museum collections.

Keywords: memorial museum, history of science, biochemistry, scientific and educational activity, cataloging, digitalization, museum standards.

Меморіальні музеї, присвячені видатним ученим, створюють унікальні можливості для поєднання історії науки із сучасними освітніми практиками. Вони дозволяють не лише ознайомити відвідувачів із біографіями науковців і розвитком наукових ідей, а й сприяють осмисленню ролі науки в суспільстві через персоналізований досвід. У цьому контексті особливої уваги заслуговує діяльність Меморіального музею О. В. Палладіна як осередку популяризації біохімічної науки та наукової спадщини України [1].

Метою роботи є аналіз досвіду науково-освітньої діяльності Меморіального музею Олександра Палладіна та визначення можливостей впровадження сучасних підходів до збереження й популяризації наукової спадщини, зокрема через систематизацію та каталогізацію музейних експонатів.

У межах науково-освітньої діяльності музей реалізує різні формати роботи з відвідувачами, зокрема екскурсії, лекції та тематичні заходи. Особливе місце займають інтерактивні підходи, які передбачають активне залучення аудиторії до обговорення, постановки запитань та спільного осмислення наукових і історичних матеріалів. Практика проведення екскурсій у музеї орієнтована не лише на передачу інформації, а й на формування діалогу з відвідувачами. Зокрема, під час екскурсій використовуються запитання, що стимулюють критичне мислення та дозволяють учасникам самостійно інтерпретувати історичні події й наукові досягнення. Такий підхід сприяє глибшому розумінню ролі науки в суспільстві та підвищує рівень залученості аудиторії.

Важливою складовою діяльності музею є робота з фондovими матеріалами, що забезпечує збереження наукової спадщини. У сучасних умовах ця діяльність набуває нового змісту та розглядається як простір для впровадження актуальних підходів, орієнтованих на міжнародний досвід музейної справи. Зокрема, звернення до міжнародних стандартів опису та обліку

музейних об'єктів (CIDOC CRM, Spectrum, LIDO, Dublin Core) є не лише технічним рішенням, а й усвідомленим кроком до уніфікації музейних даних та їх інтеграції в сучасні цифрові інформаційні системи [3]. Використання таких підходів дозволяє переосмислити роботу з колекціями– від внутрішнього обліку до відкритого представлення наукової спадщини для ширшого наукового та освітнього середовища [2].

У цьому контексті каталогізація експонатів постає як ключовий інструмент цифрової трансформації музейних фондів. Створення структурованих електронних описів об'єктів формує підґрунтя для їх включення до міжнародних інформаційних ресурсів, участі у спільних проєктах та розвитку нових форматів взаємодії з аудиторією. Окремим напрямом розвитку науково-освітньої діяльності музею є впровадження сучасних підходів до комунікації науки, зокрема використання цифрових технологій. Йдеться про розширення присутності музею в онлайн-середовищі, застосування мультимедійних матеріалів та нових форматів взаємодії з аудиторією.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

[1] Збірник, присвячений тридцятиліттю наукової діяльності заслуженого діяча науки, академіка О. В. Палладіна. (1936). Київ: Видавництво Академії наук УРСР.

[2] Інститут біохімії ім. О. В. Палладіна НАН України. (без дати). Офіційний вебсайт. [3] Матеріали фондів Меморіального музею О. В. Палладіна.

Пальцун С.В.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна*

email: spal-fmf@iit.kpi.ua

РОЛЬ КЛУБІВ ЛЮБИТЕЛІВ ФАНТАСТИКИ У ПОПУЛЯРИЗАЦІЇ ТА ПОШИРЕННІ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ ЗНАНЬ

Анотація. У статті розглянуто вплив наукової фантастики на популяризацію науково-технічних знань, а також роль клубів любителів фантастики у формуванні та підтриманні цього процесу.

Ключові слова: наукова фантастика, НФ, клуб любителів фантастики, КЛФ, конвент, наука, техніка.

Abstract. This article investigates the role of science fiction in advancing the dissemination of scientific and technological knowledge, with particular attention to the contribution of science fiction fan clubs in shaping and sustaining this process.

Keywords: science fiction, SF, science fiction club, convention, science, technology.

Наукова фантастика з моменту свого виникнення відіграє важливу роль у популяризації науки і техніки, насамперед серед молоді. За допомогою яскравих образів та захопливих сюжетів автори фантастичних творів пояснюють складні наукові ідеї на доступному рівні, формують уявлення про можливе майбутнє та пробуджують інтерес до реальних наукових досліджень і інженерних винаходів.

Багато видатних учених та інженерів визнавали, що обрали професію під впливом наукової фантастики. Серед них – видатний авіаконструктор Ігор Сікорський [1], всесвітньо відомий астроном Карл Саган [2], видатний фізик-

теоретик Фрімен Дайсон [3], засновник і керівник компанії SpaceX Ілон Маск [4] та інші.

Фантастика надихала і продовжує надихати вчених та інженерів, а їхні відкриття і винаходи, своєю чергою, стимулюють письменників-фантастів до створення нових творів, які надихають наступні покоління науковців. Виникає позитивний зворотний зв'язок і статистично значуща кореляція між рівнем розвитку країни та популярністю в ній наукової фантастики [5].

Зі зростанням кількості прихильників фантастики вони почали об'єднуватися у клуби любителів фантастики (КЛФ) – спільноти, де читачі могли обговорювати улюблені твори, ділитися ідеями та знаннями. Так сформувався фендом. Історично першим КЛФ став Science Fiction League, організований одним із засновників американської наукової фантастики Х'юго Гернсбеком у 1934 році [6].

Згодом подібні клуби поширилися в Європі та інших регіонах, перетворившись на осередки неформальної освіти й інтелектуального спілкування. Наприкінці 1970-х – у 1980-х роках КЛФ набули особливого значення у країнах Східної Європи (наприклад, у Польщі їх нині налічується близько сотні [7]). Вони стали простором для вільного обміну ідеями та обговорення наукових і соціальних тем. Учасники таких клубів не лише читали й аналізували твори, а й організовували зустрічі, лекції, фестивалі, видавали фензини (клубні періодичні видання). Таким чином, фантастика і фендом відіграли важливу роль у поширенні науково-технічних знань і формуванні інтересу до майбутнього.

Наприкінці 1980-х років клуби любителів фантастики почали з'являтися і в Україні. У 1990-х роках вони занепали, а на межі тисячоліть розпочалося відродження українського фендому та руху КЛФ. Зокрема, у 2004 році в Києві виник КЛФ «Портал», що працював на базі Науково-технічної бібліотеки ім. Г. І. Денисенка КПІ ім. Ігоря Сікорського [8, 9]. На засідання клубу

запрошувалися, зокрема, науковці, які розповідали про цікаві наукові факти. Особливо запам'яталися виступи, присвячені нанотехнологіям, сучасному стану генетики, аварії на Чорнобильській АЕС та її наслідкам, маловідомим сторінкам наукової біографії академіка В. М. Глушкова тощо.

Окрім щомісячних засідань у 12-й залі бібліотеки, клуб проводив щорічні конвенти (фестивалі любителів фантастики) «Портал», два з яких (у 2006 [10] та 2013 [11] роках) одночасно були Євроконами, тобто загальноєвропейськими конвентами. Зокрема, Єврокон-2013 частково проходив у НТБ КПІ ім. Ігоря Сікорського, де учасники відвідували не лише програмні заходи, а й Державний політехнічний музей.

На «Порталах» обов'язково проводилися заходи, присвячені актуальним науково-технічним темам. Подібні заходи відбувалися і на конвенті «Зоряний міст», який організував у Харкові КЛФ «Контакт». Загалом, наявність наукової програми, часто цілого тематичного потоку заходів, характерна практично для всіх науково-фантастичних конвентів у різних країнах. Наприклад, на Ворлдконах (Всесвітніх конвентах наукової фантастики) регулярно виступають астронавти NASA та відомі фізики.

Наведені приклади свідчать, що наукова фантастика є потужним інструментом популяризації науки і техніки, здатним формувати інтелектуальне середовище, яке сприяє залученню молоді до наукових досліджень та інженерної творчості. Її здатність пояснювати складні концепції через художні образи створює міст між абстрактними теоріями та повсякденним сприйняттям, а вплив на вибір професії видатними науковцями підтверджує її значущість у формуванні наукового світогляду.

Не менш важливим є соціальний вимір феномену наукової фантастики. Клуби любителів фантастики, що виникли як середовище для обговорення літературних творів, поступово перетворилися на осередки неформальної освіти та інтелектуального спілкування. Вони забезпечували простір для обміну

знаннями, організації лекцій, фестивалів та видання фензинів, тим самим сприяючи поширенню науково-технічних знань поза межами академічних інституцій.

Отже, взаємодія між науковою фантастикою, фендомом та науковою спільнотою створює своєрідний культурний механізм позитивного зворотного зв'язку. Фантастика надихає науковців, їхні відкриття стимулюють нові художні твори, а клуби любителів фантастики забезпечують соціальну інфраструктуру для поширення цих ідей. У результаті формується стійка традиція, що поєднує наукову творчість, культурні практики та суспільний інтерес до майбутнього.

Наразі, у зв'язку з російським вторгненням, ця традиція в Україні значною мірою занепала, проте має бути відроджена задля розвитку науки та промисловості. Для цього не потрібне створення окремих державних структур чи значні фінансові вкладення. Фендом як спільнота здатний до самоорганізації, зокрема до утворення КЛФ. Інформаційної підтримки та надання приміщень для проведення заходів зазвичай є достатньо. Результати такого підходу в довгостроковій перспективі можуть бути вкрай значущими.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

[1] Шама, О. (2021, 28 серпня). Українець на висоті. Як киянин Ігор Сікорський став головним авіаконструктором ХХ століття. New Voice. <https://nv.ua/ukr/ukraine/events/den-aviaciji-ukrajini-yak-ukrajinec-igor-sikorskiy-stav-golovnim-aviakonstruktorom-xx-stolittya-50043050.html>

[2] «Космос є всередині нас, ми зроблені із зоряної речовини, ми – це спосіб, яким Космос пізнає себе». Історія життя Карла Сагана, одного з найвідоміших учених у світі (частина I). (б. д.). Huxley. <https://huxley.media/ru/kosmos-est-vnutri-nas-my-sdelany-iz-zvjozdnogo-veshhestva-my-jeto-sposob-kotorym-kosmos-poznajot-sebja-istorija-zhizni-karla-sagana-odnogo-iz-samyh-izvestnyh-uchenyh-mira-chast-i/>

[3] Freeman Dyson: Visionary, Maverick, Iconoclast, Rebel, Genius. (б. д.). John Templeton Foundation. <https://www.templeton.org/news/freeman-dyson-visionary-maverick-iconoclast-rebel-genius>

[4] Heimstad, D. (2024, November 8). How Elon Musk is inspired by the science fiction genre. Medium. <https://medium.com/@dheimstad/how-elon-musk-is-inspired-by-the-science-fiction-genre-5a032fc40af6>

- [5] Kagodo, E. (2025, October). Contributions of science fiction to technology development, inspiration, and prediction. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/397093450_Contributions_of_Science_Fiction_to_Technology_Development_Inspiration_and_Prediction
- [6] SFE: Science Fiction League. (2011, December 20). The Encyclopedia of Science Fiction. https://sf-encyclopedia.com/entry/science_fiction_league
- [7] Wywiad ze smokiem – lista klubów fantastyki w Polsce. (2022, September 21). Klub Miłośników Fantastyki Sagitta. <https://kmfsagitta.pl/2022/09/21/wywiad-ze-smokiem-lista-klubow-fantastyki-w-polsce/>
- [8] Пальцун, С., & Шевченко, Л. (2005, 19 травня). Портал у світ фантастики. Київський політехнік, (18), 5. <https://kpi.ua/files/518.pdf>
- [9] Пальцун, С. (2017, 8 червня). Клуб любителів фантастики «Портал». Київський політехнік, (18), 6. <https://kpi.ua/1718>
- [10] The 2006 Eurocon, Ukraine. (2006). Science Fact & Science Fiction Concatenation. <http://www.concatenation.org/conrev/eurocon06.html>
- [11] The 2013 Eurocon – European SF Convention – Kiev, Ukraine. (2013). Science Fact & Science Fiction Concatenation. <http://www.concatenation.org/conrev/eurocon13.html>

Подласов С. О., Снарський А. О.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна
email: s.podlasov@kpi.ua; a.snarskii@gmail.com*

ДОМАШНІ ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ В КУРСІ ФІЗИКИ ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Анотація. У роботі розглянуто роль та можливості впровадження домашніх лабораторних експериментів у навчальний курс фізики технічного університету в умовах дистанційного навчання. Обґрунтовано доцільність використання домашніх експериментів як альтернативи традиційним лабораторним заняттям за відсутності доступу до лабораторного обладнання. Підкреслено потенціал сучасних смартфонів і спеціалізованих додатків для реєстрації та оброблення експериментальних даних. Наведено приклади домашніх лабораторних завдань, розроблених авторами з розділів механіки, молекулярної фізики, термодинаміки та теорії коливань.

Ключові слова: домашній експеримент, лабораторні роботи з фізики, дистанційне навчання.

Abstract. The paper examines the role and possibilities of implementing home laboratory experiments in the physics course of a technical university under conditions of distance learning. The feasibility of using home experiments as an alternative to traditional laboratory work in the absence of access to laboratory equipment is substantiated. The potential of modern smartphones and specialized applications for recording and processing experimental data is emphasized. Examples of home laboratory assignments developed by the authors in mechanics, molecular physics, thermodynamics, and oscillation theory are presented.

Keywords: home experiment, physics laboratories, distance learning.

Важливу роль у курсах фізики відіграють лабораторні роботи. Їх виконання дозволяє студентам поєднати відомі закони фізики з їх проявами на

практиці та набути досвіду проведення експериментів, а також є важливим інструментом підготовки студентів до майбутньої науково-дослідної діяльності. Крім того, лабораторні роботи відіграють ключову роль у розвитку наукового мислення. Вони сприяють формуванню аналітичних здібностей, уміння встановлювати причинно-наслідкові зв'язки, висувати гіпотези та перевіряти їх експериментально. Виконання лабораторних досліджень вимагає від студентів самостійності, критичного мислення та здатності до узагальнення отриманих результатів. Крім того, лабораторні роботи виконують діагностичну функцію, дозволяючи оцінити не лише рівень теоретичних знань студентів, а й їхню здатність застосовувати ці знання на практиці. Це дає можливість об'єктивніше оцінити сформованість професійних компетентностей.

В умовах дистанційного навчання, коли студенти не мають доступу до лабораторного обладнання, повноцінна реалізація дидактичних функцій лабораторних робіт можлива за умови виконання студентами домашніх експериментів. Звичайно, можливості проведення домашніх лабораторних робіт обмежені наявними «вимірювальними приладами» та необхідністю самостійного виготовлення необхідного обладнання. Суттєву роль під час проведення дослідів у домашніх умовах відіграє сучасний смартфон, який оснащений різноманітними сенсорами. Сигнали цих сенсорів за допомогою таких застосунків, як Phyphox та Physics Toolbox Suite, перетворюються на числові значення або графічні зображення на екрані смартфона. Ці ж застосунки обробляють сигнали мікрофона та відеокамери. Одержані дані можуть використовуватися під час проведення різноманітних дослідів (див., наприклад, [1]).

Для проведення ряду домашніх лабораторних робіт нами були складені вказівки з підготовки обладнання та проведення вимірювань. У першому семестрі під час вивчення розділу «Механіка» курсу фізики ми пропонуємо студентам виконати лабораторні роботи з вивчення законів динаміки твердого тіла, використовуючи саморобний маятник Максвелла або іграшку йо-йо [2], а також роботу з перевірки співвідношення компонентів тензора інерції тонкої пластини, як якої використовується смартфон [3].

При вивченні розділу «Молекулярна фізика і термодинаміка» студентам було запропоновано дослідити залежність тиску від висоти і на основі одержаних даних обчислити густину й молярну масу повітря [4], а також визначити показник адіабати повітря за значенням швидкості звуку [5]. Останню роботу можна пропонувати студентам під час вивчення теми «Хвилі».

При вивченні теми «Коливання» ми пропонуємо студентам дослідити загасаючі коливання, для чого використовується пружна нитка, на якій підвішений смартфон, що фіксує зміни прискорення в часі. За одержаними даними студенти визначають параметри загасаючих коливань, аналогічно до завдань однієї з лабораторних робіт, що виконуються у навчальній лабораторії.

Опис лабораторних робіт з визначення густини та молярної маси повітря, а також показника адіабати повітря за швидкістю звуку, розміщено на сайті [physics.zffit.kpi.ua \(https://surl.li/saxpnrq\)](https://surl.li/saxpnrq). Приклади виконання лабораторних робіт студентами наведено в роботах [2–5] та за відповідним посиланням <https://surl.li/avrpbtt>.

Домашні лабораторні роботи не передбачені навчальними планами, тому їх виконання є добровільним. За правильне проведення експерименту й оформлення його результатів студентам нараховувалися додаткові бали.

За результатами опитування студенти, які виконували домашні експерименти, висловили зацікавленість у проведенні подібних дослідів і готовність виконувати інші самостійні експериментальні завдання.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Kuhn, J., & Vogt, P. (2022). Smartphones as mobile minilabs in physics. Springer.
- [2] Подласов, С., Долянівська, О., & Матвійчук, О. (2024). Домашній експеримент при вивченні динаміки твердого тіла в курсі фізики технічного університету. *Фізико-математична освіта*, 39(1), 43–48.
- [3] Подласов, С., & Снарський, А. (2025). Домашній експеримент по перевірці співвідношення компонентів тензора інерції тонкої пластини. *Фізико-математична освіта*, 40(2), 43–48.
- [4] Podlasov, S. (2024). Determining the density and molar mass of air in a home experiment. *Фізико-математична освіта*, 39(3), 75–80.
- [5] Podlasov, S., & Snarskii, A. (2026). Determining the speed of sound in a home experiment. *Physics Education*, 61(1), Article 015011.

Posokhin M. S., Gareeva F. M.

National Technical University of Ukraine

“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

email: mxktor@gmail.com

TRANSFORMATION OF SOFT SKILLS: FROM SCHOOL DESK TO UNIVERSITY AUDITORIUM

Abstract. The transformation of soft skills from school to university education is analyzed. The definition of “soft skills” and key competencies is provided. Differences in the manifestation of practical aspects necessary for the effective development of soft skills are identified.

Keywords: soft skills, communication, critical thinking, adaptability, self-organization.

Анотація. У роботі проаналізовано трансформацію «soft skills» у процесі переходу від шкільного до університетського навчання. Розглянуто сутність поняття «soft skills» та визначено ключові навички. Встановлено відмінності у прояві практичних аспектів, необхідних для ефективного формування та розвитку «м’яких навичок» на різних етапах освіти.

Ключові слова: soft skills, м’які навички, комунікація, критичне мислення, адаптивність, самоорганізація.

In the context of modern life, the intensive development of scientific technologies and educational reforms in Ukraine, the question of developing "soft skills" is becoming increasingly relevant. Particular attention should be paid to the transition from school to university, the characteristics of a smooth transition, the analysis of core skills, and the explanation of existing differences.

The first mention of "soft skills" appeared in the mid-twentieth century, and the first article indexed in the Web of Science databases dates back to 1993. The Oxford Dictionary defines "soft skills" as personal qualities that enable an individual to communicate effectively and harmoniously with others [3].

Researchers P. Moss and C. Tilly define "soft skills" as a set of abilities and personality traits, attitudes, and behaviors, rather than specific formal or technical knowledge [2]. We resonate with N. Zayets's vision, which views soft skills as a list of personal qualities for effective interaction with others. Ability to find a common language and communicate, negotiate and persuade, work in a team, engage in self-improvement and self-organization, increase erudition, and develop creativity [1]. As we can see, scientists interpret soft skills as a complex of personal characteristics that facilitate harmonious interpersonal interaction.

Soft skills are formed throughout life, shaped by upbringing and experience. It is worth noting that there is no strictly defined list of fixed soft skill classifications. An analysis of scientific sources has allowed us to identify key skills, which include: communication skills, adaptability and flexibility, critical thinking, creativity and problem solving, self-organization, responsibility, etc. let us attempt to define the transformation of basic "soft skills" from the school desk to the university auditorium (Table 1).

Table 1: Transformation of main soft skills

Skills	School	University
Communication skills	In the formation process	Formed, but there is a process of improvement at the initial stage of professional development
Adaptability and flexibility	Learning takes place in a more stable environment	A flexible environment requires the ability to adapt quickly
Teamwork	Being shaped by a teacher	Depends on the student's personality
Critical thinking	The teacher helps to form	The specificity of learning forces the development
Creativity and problem-solving	Manifests partially and depends on the teacher's approach	The student learns to think outside the box and seek variability in problem-solving
Self-organization and responsibility	The teacher guides the student towards self-organization and awareness of responsibility	The student is responsible for his own self-organization and learning.

It can be said that the transformation of soft skills begins in school. These skills take on a different format at the university; they become an effective tool for the student's self-learning, their future professional development, and effective interaction with others. Let us consider differences in more detail in the transformation of practical aspects that are necessary for the effective formation of the skills

Table 2: Differences in the transformation of practical aspects necessary for the effective formation of soft skills

Practical aspects	School	University
Individual approach	The student is being paid regular attention	Emphasis is placed on independent study of the material
Evaluation of results	Twelve-point grading system	ECTS system
Feedback	Constant interaction between the teacher and student	Strong focus on student independence
motivation	Supported and guided by the teacher and parents	Depends on the student's motivation to study

As we can see, the development of practical soft skills depends directly on a student's self-control and motivation.

The analysis demonstrates that soft skills are formed throughout life under the influence of upbringing and life experience, and constitute a complex of character traits that help a person engage in harmonious interpersonal interactions. Soft skills begin to form in school and develop intensively during university studies, while practical aspects depend primarily on the student's personality and motivation to study.

REFERENCES

- [1] Zayets, N. (2025). Conceptualization of the role of soft skills in the transformation of a higher education lecturer's professional activity. *Proceedings of the National Aviation University. Series: Pedagogy, Psychology*, 2(27), 16–25. <https://doi.org/10.18372/2411-264X.27.20717>
- [2] Moss, P., & Tilly, C. (1996). Soft skills and race: An investigation of black men's employment problems. *Work and Occupations*, 23(3), 252.
- [3] Soft skills. *Oxford Learner's Dictionary*. <https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/definition/english/soft-skills>

Ремізова О. О., Лінчевський І.В.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний

інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

email: olesiaremizova02@gmail.com; igorvl2009@gmail.com

РОЗВИТОК ЗНАНЬ ПРО ВЛАСТИВОСТІ ГАЗІВ І РІДИН У БІОІНЖЕНЕРІЇ

Анотація. У роботі розглянуто практичне значення властивостей газів і рідин у контексті біомедичної інженерії. Розкрито зв'язок між базовими фізичними явищами (в'язкість, тиск) та сучасними технологіями, зокрема штучними органами, мікрофлюїдними системами та засобами біобезпеки.

Ключові слова: в'язкість, гемодинаміка, мікрофлюїдика, біомедична інженерія, моделювання.

Abstract. The paper analyzes the practical significance of the properties of gases and liquids in the context of biomedical engineering. It elucidates the relationship between fundamental physical phenomena (viscosity, pressure) and modern technologies, including artificial organs, microfluidic systems, and biosafety solutions.

Keywords: viscosity, hemodynamics, microfluidics, biomedical engineering, modeling.

Сучасна підготовка фахівців у галузі біомедичної інженерії ґрунтується на глибокому розумінні фундаментальних фізичних законів, серед яких особливе місце посідає розділ механіки, присвячений властивостям газів та рідин [1]. Згідно з навчальною програмою спеціальності «Біомедична інженерія», майбутні інженери повинні вміти застосовувати знання про властивості середовищ на рівні, необхідному для розв'язання складних професійних завдань. Курс загальної фізики стає базою, без якої неможлива успішна інженерна діяльність, забезпечуючи підґрунтя для проєктування та розрахунку біомедичних систем [1].

Одним із центральних практичних елементів навчання є вивчення в'язкості рідин, зокрема за допомогою методу Стокса. Цей метод використовується як інструмент для опанування методології вимірювань і обробки результатів, що є важливим для дослідження властивостей біологічних речовин. Фізичний принцип методу, заснований на русі тіла у в'язкому середовищі під дією сили опору, знаходить пряме відображення в біомедицині під час аналізу гемодинамічних параметрів кровообігу та вивчення в'язких властивостей крові [1]. Розуміння того, як поведуться неньютонівські рідини, дає змогу моделювати роботу серцево-судинної системи та проєктувати штучні органи, наприклад, елементи штучного серця для підтримки гемодинаміки [2].

Особливого значення властивості рідин набувають у сфері мікрофлюїдики та розроблення пристроїв типу «лабораторія на чіпі» (Lab-on-a-chip). Створення систем саморозділення плазми крові в мікроканалах вимагає врахування складних гідродинамічних сил, таких як вихровий ефект Діна, що безпосередньо залежить від швидкості потоку та числа Рейнольдса [2]. Також фізика рідин є ключовою при розробці систем адресної доставки ліків. Наночастинки, що транспортують терапевтичні сполуки, повинні долати слизові бар'єри шлунково-кишкового тракту, які за своєю структурою є в'язкими гелевими середовищами, що на 90–95% складаються з води [2]. Дизайн таких наноносіїв спрямовано на мінімізацію взаємодії з муцином для забезпечення ефективної пермеації (проникнення) [2].

Важливими є також знання про властивості газів і рідин у контексті біобезпеки. Управління біоризиками є вкрай важливим для розвитку нашої країни, а інженерно-технічні дані є основою для прийняття експертних рішень [4]. У біоінженерії це критично для експлуатації шаф біологічної безпеки (ШББ) та підтримки «чистих зон» у лабораторіях. Сенсорні системи моніторингу контролюють лінійну швидкість повітряних потоків (порядку 0,5 м/с) та диференціальний тиск на НЕРА-фільтрах класу H14. Такий контроль дозволяє

затримувати 99,995% часток і бактерій розміром від 0,3 мкм, забезпечуючи стерильність виробничих процесів та захист персоналу від біологічної небезпеки.

Сучасна методологія досліджень у цьому напрямку передбачає інтеграцію фізичних експериментів із чисельним моделюванням. Використання програмних комплексів, таких як ANSYS та COMSOL Multiphysics, дозволяє візуалізувати температурні поля та потоки рідин у тканинах під час медичних процедур, наприклад, радіочастотної абляції [3]. Це дає змогу прогнозувати поведінку біотехнічних систем без необхідності проведення великої кількості вартісних випробувань *in vivo* [3]. Отже, знання фізики газів і рідин трансформуються з теоретичних положень у практичні інструменти розроблення інноваційних медичних технологій [2].

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Лінчевський, І. В., & Хіст, В. В. (2023). Фізика: навчальний посібник для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за технічними спеціальностями. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського.
- [2] Прокопович, І. В., & Манічева, Н. В. (Ред.). (2024). Сучасні технології біомедичної інженерії: матеріали III міжнародної науково-технічної конференції (Одеса, 08–10 травня 2024 р.). Одеса: Одеська політехніка; Вінниця: ВНТУ.
- [3] Gryshchuk, B., & Shlykov, V. (2024). Modelled temperature characteristics of human knee joint meniscus. *Modern technologies of biomedical engineering: materials of the III international scientific and technical conference*, 194–196. Odesa: OPNU.
- [4] Galkin, A. (2025). Biosafety management: emphasis on medicine, pharmacy, and biotechnology. *Innovative Biosystems and Bioengineering*, 9(2), 2–3.

Savych I. M.
National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
email: savych.irynd@lll.kpi.ua

GENERATING FUNCTIONS AS A MATHEMATICAL TOOL: HISTORICAL DEVELOPMENT AND MODERN APPLICATIONS

Abstract. The article is devoted to the study of the generating function. It examines the historical development of the method – from early applications to the formation of a systematic theory and the emergence of modern analytic combinatorics. The role of generating functions and the versatility of this tool for modern science are highlighted.

Keywords: generating function, generatrix, combinatorics, recurrence relations, power series.

Анотація. Стаття присвячена дослідженню твірних функцій. Розглянуто історичну ретроспективу розвитку методу – від перших спроб застосування до формування систематичної теорії та появи сучасної аналітичної комбінаторики. Висвітлено роль твірних функцій та універсальність цього інструменту в сучасній науці.

Ключові слова: твірна функція, генератриса, комбінаторика, рекурентні співвідношення, степеневий ряд.

The concept of a generating function is a key tool in discrete mathematics. It transforms a sequence of numbers into a formal power series, thereby providing a seamless transition between the discrete world of combinatorics and the continuous world of analysis. As Herbert Wilf noted in his work «Generatingfunctionology», a generating function is not only a formal representation but also «a clothesline on which

we hang up a sequence of numbers for display and analysis» [2]. This metaphor emphasizes the structural role of the generating function: it allows for the manipulation of entire sequences as single algebraic objects, transforming complex recurrence relations into solvable equations. Furthermore, generating functions can be effectively applied to: find closed-form formulas for sequence terms, determine numerical characteristics of probability distributions, evaluate finite sums, and prove the unimodality, convexity, or identities of the sequences under study [4].

What is the definition of a generating function?

The generating function of a numerical sequence $\{a_n\}$ is defined as the sum of the power series [6]

$$G(t) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n t^n.$$

The generating function has come a long way from an intuitive tool of the 18th century to a fundamental method of modern science. The 1720s–1730s marked a period when mathematicians began moving from simple summation to treating infinite series as single entities.

In 1728, Nicolas Bernoulli employed ideas bordering on generating functions. He used the apparatus of «series, quarum termini ex datis praecedentibus determinantur» (series whose terms are determined by preceding data) to solve probability problems in games of chance. His approach consisted of representing the probabilities of various outcomes as coefficients of powers of x^n . This allowed for the reduction of complex combinatorial calculations to algebraic operations on series.

In 1730, James Stirling made a significant leap forward in his work «Methodus Differentialis». Although the book focuses on interpolation and the summation of series, it includes what we now call Stirling numbers. The author demonstrated how to transition from ordinary powers to factorial powers and effectively used generating functions to express entire sequences of numbers through compact analytic expressions.

The French mathematician Abraham de Moivre is considered the pioneer of this powerful method. In his work «Miscellanea Analytica de Seriebus et Quadraturis», published in 1730, he presented the first systematic theory of recurring series. His motivation was practical: he tried to find formulas for probabilities in complex game scenarios that previously required tedious iterative calculations [1].

One of the first major achievements of the generating function method was finding the explicit form for Fibonacci numbers. In Europe, this sequence became known through the work of Leonardo of Pisa (Fibonacci) «Liber Abaci», 1202. [5]. He introduced them as a solution to the rabbit breeding problem.

It is worth noting some interesting facts: although these numbers are named after the Italian mathematician, they were known in India as early as 200 BC; the term «Fibonacci numbers» was introduced in the 19th century by the French mathematician Édouard Lucas.

The explicit formula for the n – th term of the Fibonacci sequence, known today as Binet's formula, is:

$$F_n = \frac{1}{\sqrt{5}} \left(\left(\frac{1+\sqrt{5}}{2} \right)^n - \left(\frac{1-\sqrt{5}}{2} \right)^n \right)$$

However, its discovery was the result of the work of several prominent scientists, leaving the question of priority in debate.

Following de Moivre, Leonhard Euler made a significant contribution, elevating generating functions to the status of a universal method in combinatorial analysis and number theory. Euler realized that generating functions could take the form of not only infinite sums but also infinite products. His research on integer partitions became a classic example of using the generating function.

The final consolidation of the term «generating function» (fonction génératrice) occurred thanks to Pierre-Simon Laplace. In 1779, he published «Mémoire sur les suites», where he developed a systematic theory of these functions. Laplace understood

that the convolution operation of two sequences (corresponding to the sum of independent random variables) is equivalent to the multiplication of their generating functions. This idea became the foundation for the subsequent development of characteristic functions and the Laplace transform, which are indispensable tools in engineering and physics today.

In the 19th century, the generating function became a more rigorous mathematical construct: the concept of a formal power series was established, the focus shifted from convergence to algebraic properties, and the generating function was viewed as a tool for manipulating sequences. This period laid the foundation for modern discrete mathematics.

In the 20th century, the generating function became a central method in combinatorics. During this period, it began to be used for: solving recurrence relations, analyzing algorithms, and studying asymptotics. At the end of the century, the theory of generating functions received a new impetus through the works of Philippe Flajolet and Robert Sedgewick. They developed the direction known as analytic combinatorics, which aims to obtain precise asymptotic estimates for large combinatorial objects. This approach allowed mathematicians to solve problems that previously seemed extremely difficult. For instance, the analysis of the average execution time of algorithms on random input data became possible due to the automated extraction of asymptotics from generating functions [3].

The generating function is an indispensable tool in the natural and applied sciences due to its versatility, its ability to transition from discrete to continuous, and its capacity to simplify complex problems. Its importance continues to grow, particularly in connection with the development of computer science, statistics, and artificial intelligence. The ability to compactly encode information about large systems makes generating functions ideal for modeling complex processes.

REFERENCES

- [1] Hald, A. (2003). A history of probability and statistics and their applications before 1750. *Wiley*.
- [2] Wilf, H. S. (1994). *Generatingfunctionology*. Academic Press.
- [3] Flajolet, P., & Sedgewick, R. (2009). *Analytic combinatorics*. Cambridge University Press.
- [1] Hald, A. (2003). A history of probability and statistics and their applications before 1750. *Wiley*.
- [2] Wilf, H. S. (1994). *Generatingfunctionology*. Academic Press.
- [3] Flajolet, P., & Sedgewick, R. (2009). *Analytic combinatorics*. Cambridge University Press.
- [4] Войналович, Н. М., & Волков, Ю. І. (2016). Генератриси як основний засіб перелічувальної комбінаторики. *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти*, 12(3), 3–11.
- [5] Іванова, Н. (2026). Історія математики в культурній спадщині Європи. Том III: Математика Європи від Середньовіччя до XVII. Інститут математики НАН України.
- [6] Ядренко, М. Ю. (2004). *Дискретна математика*. TViMS.

Селезньова Н.П., Рудик Т.О.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна*

email: nadijasel@gmail.com

ГАЙД КУРСАМИ ДЛЯ МАТЕМАТИКІВ НТУУ «КПІ»

Анотація. Представлено огляд навчальних дисциплін для студентів математичного напрямку НТУУ «КПІ», що охоплюють як фундаментальну підготовку, так і прикладні аспекти сучасної науки («Методи математичного моделювання», «Чисельні методи оптимізації», «Методи наближених обчислень»). Особливу увагу приділено вступним курсам, які формують професійне світосприйняття майбутніх фахівців («Вступ до спеціальності» для бакалаврів, «Проблеми сучасної математики» для магістрів). Матеріал допоможе студентам краще зорієнтуватися в структурі освітньої програми та зрозуміти практичне значення кожної дисципліни для навчання і подальшої кар'єри.

Ключові слова: математична освіта, навчальні курси, математичне моделювання, обчислювальні методи, аналітична геометрія, диференціальна геометрія.

Abstract. An overview of academic disciplines for students of the mathematical field at NTUU «KPI» is presented, covering both fundamental training and applied aspects of modern science («Methods of Mathematical Modeling», «Numerical Optimization Methods», «Methods of Approximate Calculations»). Special attention is paid to introductory courses that shape the professional worldview of future specialists («Introduction to the Specialty» for bachelors, «Problems of Modern Mathematics» for masters). The material will help students better navigate the structure of the educational program and understand the practical significance of each discipline for their studies and future careers.

Keywords: mathematical education, academic courses, mathematical modeling, computational methods, analytical geometry, differential geometry.

Гайд (від англ. Guide – путівник, посібник, орієнтир) – це огляд, що допомагає розібратися в певній темі. Отже, пропонується розглянути курси, які читає Селезньова Н. П. на фізико-математичному факультеті НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського» з 2002 року до сьогодні.

Курс «Вступ до спеціальності» знайомить студентів із цілісністю математики через Ерлангенську програму Фелікса Кляйна та аксіоматичний підхід. Завдяки цьому різні види геометрій, як-от евклідова чи геометрія Лобачевського, постають не як розрізнені дисципліни, а як частини єдиного цілого. Такий підхід демонструє, що зміна однієї аксіоми створює новий, логічно несуперечливий світ, що стає основою критичного мислення майбутнього математика.

Також деякі аспекти теорії вибору Кеннета Ерроу розглядаються з точки зору аксіоматики. Аналіз цієї теорії демонструє здатність математики досліджувати соціальні процеси. Математичне доведення неможливості ідеальної системи демократичних виборів показує першокурсникам, як сувору логіку можна застосувати до гуманітарних понять, зокрема до категорії справедливості. Це значно розширює розуміння фаху, виводячи його за межі формул і графіків.

Курс «Проблеми сучасної математики» демонструє динамічну природу науки через електоральні дослідження, теорію ігор та балансові моделі. Електоральні дослідження (математика виборів) показують [1], як різні правила голосування можуть кардинально змінювати результат за однакових уподобань виборців. Студенти вчаться переходити від числових даних до стратегічного мислення, аналізуючи конфлікти, дипломатію та економічну стабільність.

Вивчення балансових моделей мовою матриць дозволяє зрозуміти глобальні взаємозв'язки в системах, де результат залежить від багатьох чинників.

Окремий блок присвячено проєктивній геометрії, де пошук інваріантів є ключовим для задач розпізнавання образів. Студенти вивчають складне відношення (cross-ratio) чотирьох точок – фундаментальний інваріант, що дозволяє алгоритмам ідентифікувати об'єкти (наприклад, дорожні знаки або деталі на конвеєрі), навіть якщо вони зняті під різними кутами або на значній відстані. Проєктивні перетворення (гомографії) дають змогу математично «розгортати» зображення, а використання проєктивних координат дозволяє описувати складні перетворення (переміщення, масштабування, проєкції) через єдину операцію множення матриць. Це демонструє, як абстрактні геометричні поняття стають основою сучасних цифрових алгоритмів.

Курс «Методи математичного моделювання» є містком між теорією та реальними задачами. Він формує здатність перетворювати хаотичний опис проблеми (в економіці, техніці чи інших сферах) на чітку математичну модель у вигляді систем рівнянь. Зокрема, у розділі «лінійне програмування» студенти навчаються знаходити оптимальні рішення, де максимізується прибуток і мінімізуються витрати, що є основою логістики та менеджменту.

Елементи регресійного аналізу дозволяють виявляти закономірності в даних, які на перший погляд виглядають випадковими (наприклад, прогнозування валютних курсів або попиту). Моделі масового обслуговування пояснюють функціонування черг – від кас у супермаркетах до серверних систем великих компаній, таких як Google. Це математика оптимізації навантаження та часу очікування.

Курс «Чисельні методи оптимізації» перетворює математичну теорію на практичний інструмент прийняття оптимальних рішень у бізнесі, інженерії та ІТ. До курсу входять чисельні методи одновимірної оптимізації, які є базовими «цеглинками» для складніших алгоритмів. Багатовимірні методи часто зводяться

до послідовності кроків уздовж певних напрямів, тому вміння ефективно знаходити мінімум функції на відрізку (наприклад, методом золоті пропорції або методом Фібоначчі) є критичним для швидкодії алгоритмів.

Безумовна багатовимірна оптимізація є основою сучасного штучного інтелекту: навчання нейронних мереж фактично зводиться до пошуку мінімуму функції втрат у просторі великої розмірності. Градієнтні методи, метод Ньютона та квазіньютонівські підходи, що вивчаються в курсі, лежать в основі сучасного Data Science.

Курс «Методи наближених обчислень» формує навички роботи з похибками та джерелами даних, що є критично важливим для точності інженерних розрахунків. Практична частина включає інтерполяцію, екстраполяцію та метод найменших квадратів, який широко застосовується в Data Science та машинному навчанні для обробки зашумлених даних.

Також розглядаються чисельні методи розв'язування нелінійних рівнянь. Уміння локалізувати корінь (графічно або методом табулювання) і знайти його з наперед заданою точністю є основою програмного забезпечення для інженерних обчислень. Оскільки багато функцій не мають первісної в елементарних функціях, у курсі значну увагу приділено чисельному інтегруванню.

Курс «Аналітична геометрія» є базовим і фундаментальним для підготовки математиків, оскільки поєднує геометричну інтуїцію з алгебраїчною строгістю. Він створює основу для подальшого вивчення математичного аналізу, диференціальних рівнянь і теоретичної фізики. До змісту курсу входять векторна алгебра, різні системи координат і їх перетворення (поворот, паралельне перенесення), що дозволяє зводити складні рівняння до канонічного вигляду.

Окремі розділи присвячені прямій і площині, де студенти опановують різні способи задання геометричних об'єктів (параметричні, загальні, у відрізках), що розвиває здатність інтерпретувати одну математичну сутність через різні

аналітичні форми. Криві та поверхні другого порядку мають значне прикладне значення у фізиці та астрономії.

Курс «Диференціальна геометрія» представляє вищий рівень поєднання геометрії та математичного аналізу, де об'єкти досліджуються через їхні локальні властивості. Вивчення вектор-функцій, формул Френе, кривини та скруту дозволяє математично описувати рух у просторі – від траєкторій супутників до моделей ДНК.

Особлива увага приділяється внутрішній геометрії поверхонь, що дозволяє досліджувати властивості об'єктів незалежно від їх розташування в просторі. Кульмінацією курсу є рівняння Гаусса–Петерсона–Кодацці та теорема, яка демонструє можливість визначення кривини виключно через внутрішні характеристики поверхні. Це створює основу для сучасної фізики, топології та комп'ютерної графіки, де необхідне моделювання складних криволінійних структур.

Описані курси формують цілісний світогляд математики, поєднуючи фундаментальну теорію з прикладними технологіями.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

[1] Селезньова Н. П., Рудик Т. О. (2024). Методи визначення колективних переваг електоральних досліджень. *Міжнародний науковий журнал «Інтернаука»*, 9, 93-98. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2024-9-10312>

Tarasov M. O., Gareeva F. M.

National Technical University of Ukraine

“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

email: miketarasov1230@gmail.com

FROM FUNDAMENTAL KNOWLEDGE TO PROFESSIONAL COMPETENCE: THE EDUCATIONAL PATH OF A FUTURE SPECIALIST

Abstract. This study examines the role of mathematics and physics in shaping engineering competencies. It shows that insufficient understanding of fundamental training reduces students’ motivation, while strong theoretical foundations enhance academic performance and support technological development.

Keywords: fundamentalization of education, engineering training, critical thinking, academic resilience, knowledge life cycle.

Анотація. У роботі обґрунтовано роль математики та фізики у формуванні інженерних компетентностей. Показано, що недостатнє розуміння значення фундаментальної підготовки знижує мотивацію студентів, тоді як її розвиток сприяє успішності навчання та створенню нових технологій.

Ключові слова: фундаменталізація освіти, інженерна підготовка, критичне мислення, академічна стійкість, життєвий цикл знань.

For many first-year students at technical universities, the first semester of study becomes a real test of endurance. Attending lectures in higher mathematics or physics, students often ask a perfectly logical question: “Why should I spend so much time on abstract theorems if I want to design engines or write code?” This perception of theory as being “detached” from real-life applications remains one of the main challenges in modern education [1]. However, it should be emphasised that without this, from the

student's perspective, a “boring” foundation, it is impossible to build a professional structure capable of withstanding the pressure of real-world challenges.

Fundamental disciplines are not merely a set of knowledge; they serve as a training ground for intellectual development, teaching students to think systematically, identify hidden connections, and approach complex problems without fear [2]. In a world characterized by rapid technological change, it is precisely these foundational disciplines – mathematics and physics – that become the most stable and reliable assets of a future specialist.

In modern technological fields, such as artificial intelligence and cybersecurity, specific technical skills become obsolete very quickly – typically within 2.5–5 years [4]. This implies that a significant portion of the knowledge acquired during studies in specific programming languages or software tools may become irrelevant within a short period. In contrast, fundamental principles – such as the laws of physics, mathematical logic, and algorithmic thinking – have a lifespan of 10–15 years or more and often remain relevant throughout a professional career. This reflects the core idea of the fundamentalization of education: students are provided with tools that retain their value over time.

In this context, mathematics functions not merely as a computational tool but as a mode of thinking [3]. It develops intellectual discipline and the ability to transform complex real-world problems into structured mathematical models. Research indicates that success in mathematics is one of the strongest predictors of a student's likelihood of completing an engineering degree. A statistically significant positive correlation has been established between mathematics performance and the likelihood of graduating on time [5].

Studies further demonstrate that students who successfully complete the full sequence of mathematics courses by their third year achieve a graduation rate of approximately 93%, whereas those who struggle with repeated coursework during their

first year often experience a decline in motivation and a higher risk of dropout, with success rates barely reaching 68% [3].

Table 1. Comparative analysis of knowledge in the professional development of specialists [6]

Type of knowledge/skills	Focus	Life cycle	Impact on career
Fundamental (Mathematics, Physics)	Basic laws of nature, logic	10-20+ years	Foundation for mastering any new technologies
Applied (Specific languages, software)	Modern tools and frameworks	2.5-5 years	Quick start, but requires constant updating
Metacognitive (Learning skills)	Personal thinking processes	For life	Ability to adapt to changes in the labor market

The data presented in Table 1 demonstrate that fundamental knowledge has a significantly longer lifespan (10-20+ years) compared to applied skills. This provides a strategic foundation for a specialist's successful adaptation to rapid technological change.

As is well known, physics enables engineers to understand the processes underlying technical systems. Without such understanding, a specialist may be able to use simulation results but may not always be able to critically evaluate their accuracy. Errors in initial assumptions or an insufficient understanding of physical laws can lead to incorrect decisions. Therefore, it is recommended that technical universities teach physics with an emphasis on solving practical engineering problems. The study of fundamental disciplines also helps build confidence in one's own knowledge. Independently solving complex problems in mathematics and physics helps students better prepare for working with new technologies. Modern education must also take into account ongoing technological advancements. The use of new tools, including

large language models, allows students to reduce the time spent on routine calculations and instead focus on understanding underlying processes.

Fundamental disciplines serve as both an intellectual filter and a primary resource for developing competencies in future engineers. They not only contribute to academic success but also shape a culture of thinking that remains relevant for decades. A solid understanding of basic principles transforms a graduate into a professional capable of shaping the future. To enhance student motivation, it is essential to integrate the teaching of theoretical concepts into real-world engineering contexts, demonstrating that every formula is a tool for solving practical problems.

REFERENCES

- [1] Mamychenko, S. (2025). Pedagogy of higher education in Ukraine: Concepts and trends of modernity. *International Journal of Social Sciences*, 8(3), 121–128. <https://doi.org/10.21744/ijss.v8n3.2441>
- [2] Rudyshyn, S. D., Kravets, V. P., Samilyk, V. I., Sereda, T. V., & Havrylin, V. O. (2020). Features of the Fundamentalization of Education in Higher Educational Institutions of Ukraine in the Context of Sustainable Development. *Journal of Educational and Social Research*, 10(6), 149.
- [3] Bego, C. R. (2020). *Barriers and bottlenecks in engineering mathematics: Math completion predicts persistence to graduation*. Psychological & Brain Sciences, University of Louisville. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9028542>
- [4] Morson Edge. (2023). *Technical half-life and risk mitigation in engineering skills*. Morson Edge
- [5] Tsarwan, O. T., Kinasih, R. K., & Sinulingga, J. F. (2024). *Correlation between Civil Engineering Student's Performance in Mathematics and Academic Success*. *Engineering and Technology Journal*, 9(10), 5362–5369.
- [6] Techlipse. (2023). *Digital skill decay: Measuring and combating the half-life of technical knowledge*. Techlipse.

Tsukanova A.O.

National Technical University of Ukraine

“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

email: ponochka2511@ukr.net

HISTORICISMS IN MATHEMATICAL PRACTICAL CLASSES

Abstract. The most effective way to understand mathematics lies through its history. As noted by Morris Klein and Jules Henri Poincaré, historical context enhances learning and deepens comprehension of scientific ideas. Combining mathematical content with historical facts increases student engagement, supports analytical thinking, and improves knowledge acquisition. The historical-mathematical approach makes the learning process more meaningful and motivating. As an example, the integration of plotting integral curves of vector fields with the history of differential equations is considered

Keywords: mathematical education, development of interest, learning, mathematics, history of mathematics, differential equations, vector field, phase curves.

Анотація. Найефективніший шлях до розуміння математики лежить через її історію. Як зазначали Морріс Кляйн і Жюль Анрі Пуанкаре, історичний контекст робить навчання змістовнішим і сприяє глибшому усвідомленню наукових ідей. Поєднання математичного матеріалу з історичними фактами підвищує зацікавленість студентів, сприяє розвитку аналітичного мислення та покращує засвоєння знань. Використання історико-математичного підходу дозволяє зробити навчальний процес більш змістовним і мотивуючим. Як приклад, розглянуто інтеграцію теми побудови інтегральних кривих векторного поля з історією розвитку диференціальних рівнянь.

Ключові слова: математична освіта, розвиток інтересу, навчання, математика, історія математики, диференціальні рівняння, векторне поле, фазові криві.

When researching this theme, various literature sources demonstrate that V. M. Bradis, I. Z. Shtokalo, K. O. Rybnikov, A. M. Kolmogorov, G. I. Glazer, M. I. Kovantsov, A. G. Konforovich, M. I. Shkil, and others emphasized the importance of historical aspects in the study of mathematics. Some applied aspects of using historical approaches in teaching mathematics are considered in the works of authors such as G. I. Glazer, V. G. Bevz, V. A. Dobrovolsky, O. V. Panisheva, A. K. Slipenko, G. B. Filipovsky, A. A. Razumenko, and others. They all have explored the extraordinary importance and benefits of teaching the history of mathematics as part of regular math classes. Some of their studies addressed the question of using the history of mathematics as a truly motivational factor. They found that teaching or using the history of mathematics increases students' interest in the topics, reduces mathematical anxiety, enhances motivation, and supports student learning and improves understanding of mathematical concepts. History is a wise teacher of life. Indeed, without knowing our past, we cannot assess our present and predict our future. The historical and practical significance of differential equations cannot be overstated. For their better understanding, it is necessary to examine the history of their creation.

The purpose of this work is to demonstrate the expediency of incorporating facts from the history of mathematics into the complex process of studying mathematical disciplines, which contributes to improving the quality of mathematical education. In our opinion, this historical context will add value to the learning process. Our aim is to present a brief plan of one class on the theme «Plotting integral curves with the help of functions describing a vector field», supplemented with some facts from [1, 2]. Today's goal is to investigate (analytically) and to draw (manually and programmatically with the help of a special computer package) phase curves of autonomous linear systems on

the plane. Such a symbiosis of diverse methods highlights the connection between classical methods and modern technologies in an area as ancient as differential equations. Certainly, «ancient» people did not have any packages for simplifying their investigations in this area. Let us first recall how it all began and some historical facts from the early development of differential equations.

Whether you are exploring how populations grow, how heat flows through materials, or how circuits behave, differential equations provide an important language and set of tools for describing these dynamic processes. Long before the formal creation of differential equations, ancient civilizations were already trying to understand how quantities changed over time. For example, Greek mathematicians like Archimedes studied rates of change indirectly through geometric methods. They used what is now called the «method of exhaustion» to approximate areas and volumes. Although not expressed in the language of calculus, these techniques served as a precursor to differentiation. Similarly, in ancient China and India, mathematicians developed algebraic procedures for solving numerical problems, for example, those involving motion or growth. These early ideas did not employ calculus, but they laid the conceptual groundwork by examining how one quantity might depend on another. However, the true birth of differential equations required two critical breakthroughs that occurred much later: the invention of calculus and the recognition that many physical laws could be expressed in terms of derivatives. Mathematicians encountered problems related to the early theory of differential equations as early as the XVI century. The first modern period in the long history of differential equations began with Isaac Newton and Gottfried Wilhelm Leibniz. An intensive study of dynamics and various geometric problems, using methods of differential and integral calculus, led to the identification of the simplest classes of ordinary differential equations. Subsequently, differential equations became a kind of primary tool not only in mechanics but also in differential geometry and variational calculus. The theory of differential equations was initially developed within mathematical analysis; later, it became an independent field.

Now let's return to our main examples on our main theme and see how modern computer packages help us with «ancient» differential equations.

Example. Realize geometric analysis of the next two equations

$$y' = 2x(1-y), \quad y' = y^2 - x,$$

1) describe the regions where integral curves increase and decrease;
2) find 0-isocline and k -isoclines; describe analytically the sets of maximum and minimum points of solutions;

3) describe analytically the regions where integral curves are convex downwards and upwards, describe analytically the set of inflection points.

Build its integral curves. The given paper offers materials for one practical class on the theme «Plotting integral curves with the help of functions describing a vector field». In addition to a couple of mathematical examples, solved analytically and with the help of a special package, the materials also include brief historical information about differential equations. As we can see, the development of differential equations stands as one of the most significant achievements in the history of mathematics.

In our opinion, the integration of the history of mathematics into the teaching of mathematics is a very important means of ensuring high-quality education and a powerful tool for the reform of mathematics education. This reform stimulates students' desire for knowledge and enhances their enthusiasm for studying.

REFERENCES

- [1] On the history of the theory of linear differential equations.
- [2] Ordinary differential equations. *Encyclopaedia Britannica*.

Khaidakina E.I., Gareeva F.M.

National Technical University of Ukraine

“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

email:elizkhaidakina@gmail.com

TIME MANAGEMENT AND SELF-ORGANIZATION OF STUDENTS IN THE CONTEXT OF ONLINE EDUCATION

Abstract. In the context of modern online learning, the boundaries between home and the classroom are increasingly blurred. This often results in reduced concentration, a distorted perception of time, and increased fatigue caused by prolonged screen exposure and the lack of a structured daily routine. Consequently, time management skills are critical for maintaining productivity. The aim of this study is to propose a flexible and sustainable system of personal organization that enables students to complete assignments on time, effectively master educational material, and allocate time for rest and personal activities without experiencing guilt. Research methods include analysis of scientific literature, systematization, and generalization of the obtained data. The object of the research is the process of students’ self-organization in an online learning environment. The subject of the research is the methods and tools of effective time management in дистанційній освіті. The study's results include the development of specific self-organization strategies that help students meet deadlines, minimize distractions, and maintain a balance between academic work and rest.

Keywords: online learning, time management, self-organization, Eisenhower Matrix, students.

Анотація. В умовах онлайн-навчання розмиваються межі між навчанням і особистим життям, що призводить до зниження концентрації, порушення

відчуття часу та підвищеної втоми. У зв'язку з цим навички тайм-менеджменту стають критично важливими для збереження продуктивності. Метою дослідження є розробка ефективної системи самоорганізації студентів. Використано методи аналізу, систематизації та узагальнення наукових джерел. Запропоновано практичні стратегії, що допомагають дотримуватися дедлайнів, зменшувати вплив відволікаючих факторів і підтримувати баланс між навчанням і відпочинком.

Ключові слова: онлайн-навчання, тайм-менеджмент, самоорганізація, матриця Ейзенхауера, студенти.

Time management is not merely about managing time, but rather about managing one's energy and attention. Efficiency is achieved not by completing the maximum number of tasks per day, but by focusing on priority goals using appropriate tools.

In this context, it is advisable to consider the Eisenhower Matrix, one of the most widely used time management methods, which is commonly applied in business practice. The effectiveness of this method lies in its ability to structure tasks according to two criteria: importance and urgency [1]. Understanding this matrix enables individuals to avoid attempting to complete all tasks simultaneously and instead concentrate on the most significant ones.

The Eisenhower Matrix consists of four quadrants: Important and Urgent (“Fires”), Important but Not Urgent (“Growth”), Not Important but Urgent (“Illusions”), and Not Important and Not Urgent (“Trash”) (see Illustration 1).

	<i>Urgent</i>	<i>Not Urgent</i>
<i>Not Important</i>	<p><u>These are matters that do not tolerate delay, critical situations. If not done now, there will be negative consequences.</u></p> <p><u>Examples: A project with a deadline today or in the near future; acute toothache; an industrial accident.</u></p> <p><u>Strategy: Pick it up and do it right now.</u></p>	<p><u>Matters that make you better in the long run, but since they are not "burning," we constantly postpone them.</u></p> <p><u>Examples: Studying new topics or languages, sports, working on projects</u></p> <p><u>Strategy: Set specific time in the calendar and work on them regularly so they don't move into the "Fires" quadrant.</u></p>
<i>Important</i>	<p><u>These matters require your attention immediately, but they do not bring you closer to your goals. It's routine, someone else's priorities trying to become yours.</u></p> <p><u>Examples: Most messenger notifications, phone calls about 'nothing,' non-urgent household matters.</u></p> <p><u>Strategy: Delegate to someone else or minimize time spent on them.</u></p>	<p><u>This is what we do, time-wasters, when we want to escape reality or just be distracted.</u></p> <p><u>Examples: Aimless scrolling of TikTok or news, watching the 10th season of a TV series.</u></p> <p><u>Strategy: Eliminate without regret or leave as a small reward after a hard day.</u></p>

According to our observations, a common mistake among students is operating primarily within the “Important and Urgent” quadrant (Quadrant A). Continuous functioning in a “firefighting” mode, particularly during the first year of study, often leads to exhaustion within two to three months. This phenomenon is known as the Mere Urgency Effect, which was thoroughly examined by researchers from Johns Hopkins University and the University of Chicago [2]. It explains why individuals tend to

prioritize tasks such as checking emails over more cognitively demanding activities, such as writing a research paper.

Contemporary psychological research [5] confirms that in online learning environments, the abundance of micro-tasks (e.g., short tests and assignments) intensifies this effect. This leads to increased fatigue and neglect of more substantial academic tasks. The brain receives rapid dopamine rewards from task completion, creating an illusion of productivity. This phenomenon is associated with instant gratification and may gradually form habitual patterns of behavior.

Based on practical experience, we recommend several digital tools that can help students avoid this “quick dopamine” trap and maintain productivity.

Google Calendar serves as a fundamental tool for synchronizing lectures, deadlines, and personal commitments. Allocating approximately 10 minutes in the evening to plan the following day is usually sufficient. Its key advantage is the ability to set reminders, ensuring that important events, such as online classes, are not missed [4].

Obsidian is an advanced note-taking application that enables the creation of a personal knowledge base, often called a “second brain.” Unlike traditional folder-based systems, it uses internal links to connect ideas, allowing users to visualize relationships between different subjects through an interactive graph. Additionally, plugins extend functionality, enabling the use of Kanban boards or deadline-tracking systems [3].

Studying at a university represents a significant challenge for a student’s personal productivity system. To navigate the complexity of online learning and consistently meet deadlines with high-quality results, it is recommended to use the Eisenhower Matrix for task prioritization, combine quick note-taking tools to capture ideas, use Google Calendar for structured scheduling, and use Obsidian as a comprehensive knowledge management system.

Practical experience demonstrates that while many students struggle to keep up with academic demands and manage accumulated tasks, the proposed approach provides a clear structure, reduces stress, and enhances overall efficiency. Moreover, such a system is applicable not only in academic settings but also in everyday life and future professional activities, transforming complex tasks into manageable, step-by-step processes.

REFERENCES

- [1] Vasylychenko, S. What the Eisenhower Matrix is and how to use it in work and life. <https://happymonday.ua/matrytsya-ejzenhauera>
- [2] Zhu, M., Yang, Y., & Hsee, C. K. The mere urgency effect. *Journal of Consumer Research*, 45(3), 673–690. <https://academic.oup.com/jcr/article-abstract/45/3/673/4847790>
- [3] Promo on dev.ua. The secret of Obsidian: How the tool works that can help organize chaos and quickly find what you need. <https://dev.ua/news/obsidian-1706270817>
- [4] Chernushenko, A. New about the old: All Google Calendar features for work and personal tasks. <https://web-promo.ua/ua/blog/nove-pro-stare-vsi-funkciyi-google-kalendarya-dlya-roboti-i-osobistih-sprav/>
- [5] Eyal, N. 4 mental traps that kill productivity: How to avoid them to keep a “productivity mindset”. *Psychology Today*. <https://www.psychologytoday.com/us/blog/automatic-you/202301/4-mental-traps-that-kill-productivity>

Шульга А.В., Авдєєва Т.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна*

email: om22.shulha.anna@gmail.com

БРЕЙН-РИНГ У НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ

Анотація. У роботі обґрунтовано доцільність впровадження природничого брейн-рингу як ефективного інструменту подолання освітніх втрат та активізації пізнавального інтересу учнів.

Ключові слова: брейн-ринг, інтелектуальні змагання, командна взаємодія, квест, інтерактивне навчання, швидкість мислення/

Abstract. This paper substantiates the feasibility of introducing a science-based brain ring as an effective tool for overcoming learning losses and enhancing students' cognitive interest.

Keywords: brain ring, intellectual competitions, teamwork, quest, interactive learning, speed of thinking.

Назва гри «Брейн-ринг» (Brain Ring) поєднує в собі два англійські поняття: brain (мозок, інтелект) та ring (майданчик для змагань) [1]. Гравці команд одночасно намагаються дати відповідь на одне й те саме запитання протягом певного проміжку часу (до однієї хвилини). Це унікальний формат інтелектуального турніру, де знання стають інструментом у динамічній боротьбі команд. Успіх тут залежить не лише від ерудиції, а й від нейрофізіологічних якостей учасників: блискавичної швидкості мислення, здатності миттєво приймати рішення та випереджальної реакції в умовах стресу.

Історія «Брейн-рингу» бере свій початок від ідеї Володимира Ворошилова, викладеної у праці «Феномен гри», а перше протистояння відбулося між клубами знавців Одеси та Дніпра. Саме в Дніпрі у 1987 році Борис Бородін разом із колегами Оксаною Балазановою, Мариною Білоцерківською та Олександром Рубіним запропонували назву гри та розробили її перші офіційні правила. На телевізійних екранах проєкт з'явився у 1990 році, швидко здобувши популярність як динамічний інтелектуальний турнір, де ключову роль відіграє швидкість мислення [2, 3].

В Україні гра отримала власне яскраве життя, транслюючись у різні роки на телеканалах «Інтер», «ТРК Київ» та «К1». Глядачам запам'яталися як дорослі версії, так і спеціальний дитячий формат «Тееп-Ринг», над яким працювали відомі діячі телебачення. Сьогодні цей формат продовжує розвиватися, адаптуючись до сучасних умов та інтегруючись в освітній процес як ефективний метод розвитку командної взаємодії [3].

Брейн-ринг – це інструмент інтенсивного інтелектуального розвитку, що перетворює перевірку знань на динамічне командне змагання. Формат гри, де швидкість реакції поєднується з точністю аналізу, стимулює розвиток логічного мислення та ерудиції. Участь у таких змаганнях формує критично важливі навички: вміння миттєво приймати рішення в умовах дефіциту часу, ефективно делегувати ролі в команді та самостійно заповнювати прогалини в знаннях заради спільної перемоги. Це синтез навчання, стратегії та емоційного залучення [2, 4].

18 березня відбувся природничий брейн-ринг «Від Архімеда до сталої Планка», який КПІ ім. Ігоря Сікорського провів разом із Інститутом математики НАН України. Захід перетворив звичне навчання для учнів 7–9 класів на динамічне інтелектуальне шоу, де математика, фізика, біологія, географія, хімія та інші природничі дисципліни поєдналися з чистою логікою та швидкістю мислення.

Захід проходив дистанційно на інтерактивній платформі, де система миттєво фіксувала швидкість та коректність відповідей. Команда, що першою надала правильну відповідь через капітана, отримувала бал – це стимулювало не лише ерудицію, а й злагоженість та швидкість рішень, дозволяючи учасникам повною мірою проявити свої знання.

Саме в такій атмосфері кмітливості та швидкості пролетіли 20 запитань основної частини, після чого журі ретельно проаналізувало всі відповіді та визначило трійку лідерів. Бронзовими призерами змагання стала команда, що набрала 16 балів.

Справжня інтрига розгорнулася у боротьбі за золото та срібло, оскільки дві інші команди йшли «нога в ногу», набравши по 17 балів. Через такий рівний результат доля першого місця вирішувалася у форматі суперфіналу, що проходив за принципом «гра до першої помилки». Цей вирішальний раунд став справжнім випробуванням: напруження серед команд сягнуло максимуму, адже кожне рішення могло стати визначальним для перемоги. Учасники максимально сконцентрувалися, продемонструвавши не лише глибокі знання, а й залізну витримку та вражаючу швидкість мислення.

Вже після другого додаткового запитання одна з команд припустилася помилки, автоматично ставши срібним призером змагань. Відповідно, їхні опоненти вибороли першість та підтвердили свій статус абсолютних переможців. Чудовим підсумком гри стало вручення переможних кубків та подарунків. Зворотний зв'язок від учасників перевершив усі очікування: драйв, позитивні емоції та запити на проведення нових брейн-рингів.

Чим корисні такі заходи для школярів? Використання квестів та інтелектуальних ігор, як-от «Brain Ring», у навчанні – це перехід від моделі «запам'ятовування» до моделі «проживання» знань. У контексті подолання освітніх втрат та роботи з «важкими» темами (наприклад, задачами на відсотки в

хімії або математиці) такі формати виконують кілька критичних функцій. Вони дозволяють не зациклюватися на помилках, оскільки помилка – це лише «неправильний хід», який спонукає спробувати ще раз (двійку не поставлять). Це знімає страх перед складними задачами, тими самими «із зірочкою», що зустрічаються у житті.

Формат «Brain Ring» ідеально демонструє тезу про «розподіл роботи, винагороди та зусиль», оскільки учасники вчаться делегувати завдання: хтось краще аналізує умови (аналітичне мислення), хтось швидше рахує (обчислювальне), інші швидше малюють ескізи, а хтось бачить нестандартні шляхи (евристика), також є учасник, який швидко набирає текст. Гра створює безпечний простір, де інтелект стає головним ресурсом для «виживання» чи «перемоги».

Отже, брейн-ринг – це ефективний інструмент, що перетворює навчання на динамічний інтелектуальний виклик. Він розвиває мислення, командну взаємодію та навички швидкого прийняття рішень, доводячи, що інтерактивні формати роблять освіту справді захопливою й результативною.

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

- [1] Мельничук, О. С. (ред.). (1982–2012). Етимологічний словник української мови (Т. 1–6). Київ: Наукова думка.
- [2] Що таке брейн-ринг: історія, правила та сучасне значення. Style.co.ua.
- [3] Заскалета, В., & Щур, Н. (2014). Брейн-ринг як одна з нетрадиційних форм навчання української мови (з досвіду викладання). Науковий вісник кафедри ЮНЕСКО КНЛУ. Серія: Філологія, педагогіка, психологія, (29), 231–236.
- [4] Брейн-ринг: біологія, хімія, фізика. (б. д.). StudFile.