

ПРОФЕСІЙНА ОСВІТА

УДК 378:577.3:001.891

DOI <https://doi.org/10.32782/health-2023.2.1>

СУЧАСНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОДИНАМІКИ В ЛАБОРАТОРНОМУ ПРАКТИКУМІ БІОФІЗИКИ

Бордюк Микола Анатолійович,

кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри фундаментальних дисциплін

КЗВО «Рівненська медична академія»

ORCID: 0000-0001-7693-8343

Scopus-Author ID: 6602674793

Шевчук Тетяна Миколаївна,

кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри фізики, астрономії та методики викладання

Рівненського державного гуманітарного університету

ORCID: 0000-0002-8351-2161

Scopus-Author ID: 57219877711

Бордюк Володимир Миколайович,

кандидат педагогічних наук,
заступник директора з науково-педагогічної роботи

Рівненського обласного інституту післядипломної педагогічної освіти

ORCID: 0000-0001-9843-789X

У статті проаналізовано результати сучасних електродинамічних досліджень у галузях біології, медицини, фармакології, комп'ютерних технологій, зокрема, продемонстровано можливість упровадження їх у лабораторний практикум курсів біофізики, медичної та біологічної фізики, що дозволяє формувати в студентів сучасну наукову картину світу, суспільну свідомість, як вищого рівня психологічного відтворення природного і штучного середовища, власного внутрішнього світу, рефлексії відносно місця та ролі людини в біологічному, фізичному та хімічному світі, а також саморегуляції такого відтворення.

Синергетичність знань, можливість їхньої корекції з урахуванням сучасних досягнень науки і техніки забезпечується у майбутніх медичних фахівців у закладах вищої освіти впровадженням принципу «освіта впродовж життя». За умов втілення такого підходу в лабораторний практикум курсів біофізики, медичної та біологічної фізики реалізуються загальні та специфічні принципи навчання, зокрема: принцип науковості, зв'язку теорії з практикою, багатоваріантності і множинності структури, змісту і методів системи неперервного навчання як основи її функціонування, єдності наукової і навчально-методичної діяльності кафедр і викладачів; принцип поєднання навчальної та науково-дослідної праці студентів; принципи добору змісту навчального матеріалу; принцип інформаційної ємності та соціальної значущості; принцип органічної єдності теоретичної та практичної підготовки студентів; принцип забезпечення творчої активності та самостійності студентів у навчальному процесі. Зроблено висновок, що в ході проведення лабораторного практикуму з біофізики елементи наукових досліджень електродинаміки сприяють формуванню фундаментальних та фахових знань.

Ключові слова: наукові дослідження, електродинаміка, медична й біологічна фізика, принцип, лабораторний практикум, знання, студенти.

Bordyuk Mykola, Shevchuk Tetyana, Bordyuk Volodymyr. Modern research of electrodynamics in laboratory practicum of biophysics

It has been analyzed the results of modern electrodynamic research in the field of biology, medicine, and pharmacology. The possibility of introducing them into the programs of medical and biological physics courses is shown, which allows students to form a modern scientific picture of the world, social consciousness, as a higher level of psychological reproduction of the natural and artificial environment, their inner world, reflection on the place and role of man in the biological, physical and chemical world, as well as self-regulation of such reproduction. Accordingly, future specialists in institutions of higher education should be trained according to the principle of "lifelong education".

Under the conditions of the implementation of such an approach in the laboratory practicum of biophysics, medical and biological physics courses, general and specific principles of learning are implemented, in particular: the principle of scientificity, the connection between theory and practice, the multivariate and multiplicity of the structure, content and methods of the continuous learning system as the basis of its functioning, the unity of scientific and educational and methodological activities of departments and teachers; the principle of combining educational and research work of students; principles of selecting the content of educational material; the principle of information capacity and social significance; the principle of organic unity of theoretical and practical training of students; the principle of ensuring creative activity and independence of students in the educational process. It was concluded that in the course of conducting a laboratory workshop on biophysics, the elements of scientific research contribute to the formation of fundamental and professional knowledge.

Key words: scientific research, electrodynamics, medical and biological physics, principle, laboratory practice, knowledge, student.

Вступ. Наукове пізнання стало необхідним елементом функціонування суспільства, і без нього не можливо уявити сучасне людство, різноманітні сфери життя якого зумовлені науковими відкриттями. Сучасна наука докорінно перебудувала традиційне виробництво, а значна кількість його сфер виникла в науково-дослідних лабораторіях. Науково-технічний прогрес зумовив те, що за короткий термін людство зробило гігантський крок вперед до оволодіння і пізнання процесів природи і їх практичного використання. Інтенсивний розвиток науки породжує і гігантське накопичення матеріалу, великого об'єму інформації.

Розвиток сучасної науки, динамізм, притаманний сучасній цивілізації, інтелектуалізація праці, швидка зміна техніки і технології вимагає реформування змісту і методів організації неперервної природничо-математичної та фахової освіти. Ці зміни в природному та інформаційному просторах вимагають нових підходів до процесів навчання і виховання в навчальних закладах [1]. Перспективним напрямком розв'язання проблеми є формування в студентів-медиків науково-дослідницьких навиків, виявлення та виховання інтересу до наукових знань, проведення експериментальних робіт.

Мета статті – продемонструвати можливості використання викладачем та студентами сучасних наукових досліджень з електродинаміки у процесі виконання лабораторного практикуму з біофізики (медичної та біологічної фізики).

Матеріали та методи. При розробці навчальних програм з курсів біофізики (медичної та біологічної фізики) [2] враховувалося, що забезпечення базових потреб людини вимагає помірного рівня енергетичних витрат. Суспільства, які більше зосереджені на добробуті людей, ніж на значному споживанні електроенергії та енергії палива, можуть досягти вищої якості життя [3]. Іншим важливим критерієм такої програми є стан наукових досліджень та їх впровадження в фізиці

та медицині. Як зазначається в роботі, [4] сучасна медицина перебуває на третьому етапі розвитку (зближується з фізикою на нанорівні, молекулярному та атомарному, польовому). Підґрунтя щодо злиття фізики та медицини, зведення уявлень в медицині до атомів, молекул і генів було закладено в роботі «Що таке життя» Ервіна Шрєдінгера, австрійського фізика, одного із засновників квантової фізики, ще у 40-х роках ХХ століття. У 1953 році фізик Френсіс Крік та генетик Джеймс Ватсон відкрили подвійну спіраль ДНК. Це відкриття зумовило стрімкий розвиток молекулярної генетики і реалізації проекту «Геном людини» у наш час.

При вивченні електромагнітних полів живих організмів та впливу на них зовнішніх електричних та магнітних враховується, що наприкінці 40-х років ХХ століття квантова електродинаміка, квантова теорія поля фотонів, електронів та антиелектронів знайшла експериментальне підтвердження, що спричинило створення Стандартної моделі, як розширеної версії квантової електродинаміки [5].

Такий підхід передбачає впровадження результатів сучасних досліджень електродинаміки не тільки в лекційний курс біофізики (медичної і біологічної фізики), але й в лабораторний практикум. На основі аналізу літературних джерел матеріал для робіт лабораторного практикуму відбирався за такими критеріями: а) електродинамічні моделі структурних складових живих організмів; б) теоретичний опис електромагнітних явищ і властивостей клітин, біотканин, біополімерів; в) експериментальна фіксація електродинамічних характеристик живих організмів та їх складових частин; г) впровадження результатів електродинамічних досліджень в медичну практику; д) створення нової медичної апаратури для діагностики, терапії, хірургії; е) застосування комп'ютерно-інформаційних технологій для обробки електромагнітних сигналів органів живих організмів.

Результати. На прикладі лабораторної роботи «Дослідження розподілу електричного поля на моделях біосистем. Електрокардіографія» розглянемо можливість використання новітніх досліджень електродинаміки живих організмів. Структурний елемент біотканини, в більшості випадків, поєднує властивості провідника та діелектрика. Для моделювання поведінки такої системи в зовнішньому електричному полі створена модель в наближенні до більшості біотканин.

У ванну, зроблену з електроізоляційного матеріалу (наприклад, оргскла), поміщають металеві електроди А і В, поле між якими потрібно вивчити. Ванну заповнюють рідким електролітом (можна піском, просоченим розчином електроліту), провідність якого мала порівняно з металом. Таку конструкцію розглядаємо як модель біосистему. Електроди опираються на дно ванни і підносяться над поверхнею електроліту. Напруга на електроди подається від потенціометра R , увімкненого на виході випрямляча B (див. рис.). У вимірну частину схеми входить зонд Z , нуль-гальванометр G і вольтметр V .

Переміщуючи повзунк на потенціометрі R , можна задавати різні значення потенціалу відносно електродів, поміщених у ванну. Наявність чи відсутність струму в колі гальванометра залежить від того, в якій точці поля знаходиться зонд. Якщо він знаходиться в точці поля, потенціал якої дорівнює потенціалу, установленому на повзунку подільника, то струму в колі зонду і гальванометра не буде.

Геометричне місце точок, для яких у колі гальванометра струм дорівнює нулю (при даному

положенні повзунка на подільнику), утворює еквіпотенціальну поверхню в досліджуваному полі. Для вимірювання потенціалу цієї поверхні (відносно електродів, поміщених у ванну) служить вольтметр, увімкнений між повзунком і одним із електродів.

Процес вивчення досліджуваного поля зводиться до такого: переміщуючи повзунк на подільнику напруги, надають різні значення потенціалу. Для кожного встановленого на повзунку значення потенціал знаходять шляхом переміщення зонда у ванні у відповідну еквіпотенціальну поверхню досліджуваного поля. Енергетичною характеристикою поля служить потенціал:

$$\phi = \frac{W_n}{q_0}.$$

У кожній точці поля проекція вектора напруженості поля \vec{E} на координатні осі пов'язана з частинними похідними від потенціалу за цими координатами співвідношенням:

$$E_x = -\frac{d\phi}{dx}; E_y = -\frac{d\phi}{dy}; E_z = -\frac{d\phi}{dz}.$$

У загальному випадку проекція вектора напруженості електростатичного поля на довільно вибраний напрям дорівнює швидкості зменшення потенціалу поля на одиницю довжини в цьому напрямку:

$$E_l = -\frac{d\phi}{dl}.$$

Геометричне місце точок електростатичного поля, у яких значення потенціалу однакове, називають

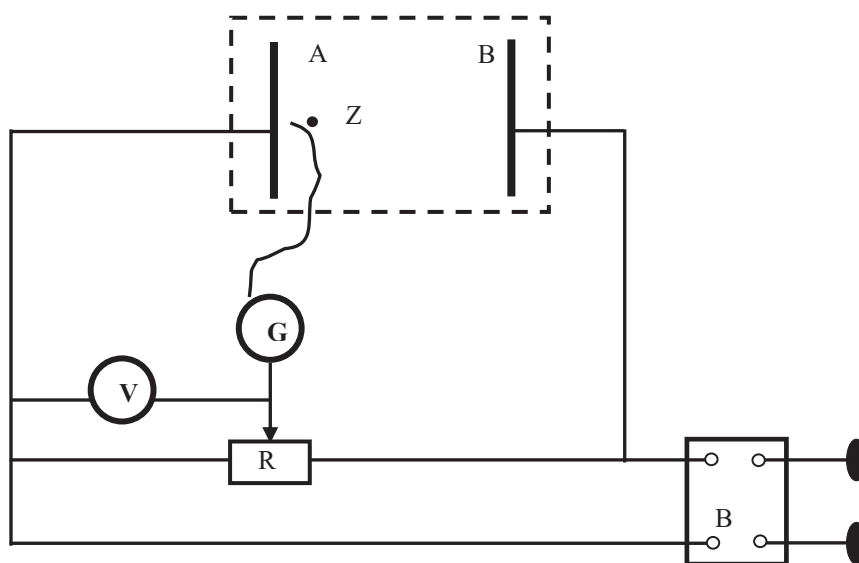


Рис. 1. Схема експериментальної установки

вається еквіпотенціальною поверхнею. Для цієї поверхні $E_1=0$, тобто $d\vec{r} \perp \vec{E}$, отже, еквіпотенціальні поверхні ортогональні до ліній напруженості. Під час переміщення заряду вздовж такої поверхні робота сил електростатичного поля дорівнює 0.

Ортогональність силових ліній і поверхонь рівного потенціалу полегшує експериментальне і теоретичне вивчення електростатичного поля. В основу вивчення розподілу потенціалів в електростатичному полі покладений так званий метод зондування. Його суть полягає в тому, що в досліджувану точку поля вводиться спеціальний додатковий електрод-зонд, який мінімально порушує своїм існуванням досліджуване поле. Цей зонд з'єднується провідником із приладом, що вимірює набутий зондом у полі потенціал відносно нульової точки. При цьому забезпечуються такі умови, щоб зонд набув потенціалу тієї точки поля, у якій розміщений. Тільки тоді покази приладу, з'єданого із зондом, будуть давати правильну картину розподілу потенціалів у досліджуваному полі.

Найчастіше електростатичні поля вивчають шляхом штучного відтворення їх структури в провідних середовищах, по яких пропускають постійний струм. Заміна вивчення поля нерухомих зарядів вивченням поля стаціонарного струму дає великі експериментальні можливості:

1) уводячи в провідне середовище прості метали електроди, автоматично отримуємо вирівнювання потенціалів зонда і тієї точки поля, у яку введено зонд;

2) зонди можна з'єднати зі струмовимірними приладами, що значно підвищує якість вимірювання.

Проте слід мати на увазі, що електричне коло зонда повинно мати більший опір, ніж опір провідних шарів речовини між точкою, у яку поміщено зонд, і ближнім електродом. Якщо цієї умови не дотримуватися, то це приводить до спотворення розподілу потенціалів у досліджуваному колі.

В теоретичну частину цієї лабораторної роботи можна включити наступний матеріал, який відображає стан сучасних наукових досліджень в біоелектродинаміці.

При розв'язанні діагностичних завдань у клінічній практиці й контролі над станом людини найбільшого поширення одержали ті методи, які вивчають електричні процеси, що протікають у цілому органі або функціональній системі.

Для науково-дослідницьких робіт застосовують комп'ютеризовані електрокардіографи,

які дозволяють одночасно реєструвати декілька десятків відведень, що дає можливість повністю визначити поведінку вектора D у просторі.

Електрокардіографія (ЕКГ) – абсолютно безпечний і безболісний метод діагностики. ЕКГ можна виконувати скільки завгодно раз, через як завгодно короткі тимчасові проміжки. Професійну оцінку електрокардіограми робить кардіолог або лікар функціональної діагностики.

Необхідність впровадження в практику принципів телемедицини обумовлює потребу створення діагностичної медичної апаратури, що реалізує можливість передачі даних і дистанційного консультування з профільними фахівцями при наданні екстреної медичної допомоги та в сімейній медицині. Електрокардіографічне обладнання, як правило, представляє собою комплекс, що складається з електронного блоку в форм-факторі моноблок, комплексу знімних ЕКГ електродів і ЕКГ кабелю. Кардіодані зберігаються друкуванням на термопапері або передачею на персональний комп'ютер. Таким чином, проведення ЕКГ вимагає витрат часу на приведення приладу в робочий стан, додаткового обладнання у вигляді персонального комп'ютера і високої кваліфікації лікаря для інтерпретації результатів. Проектування портативної електрокардіографічної техніки з вбудованими засобами зв'язку є актуальним завданням біомедичної інженерії. Сучасні дослідження в області проектування портативного обладнання для первинної діагностики серцево-судинних захворювань присвячені вибору оптимальних конструктивних параметрів і підвищенню завадостійкості медичної техніки [6]. Електрокардіограф для експрес-діагностики серцево-судинних захворювань має зручний інтерфейс для управління приладом, забезпечений засобами зв'язку з центрами кардіологічної допомоги, із універсальними портами для виведення інформації на зовнішні накопичувачі й підключення додаткових пристроїв, максимально ергономічний, задовольняє вимогам безпеки, надійності та енергоефективності. Характерними особливостями спроектованого портативного електрокардіографа є виконання в розкладному форм-факторі, наявність GSM модуля і постійне підключення ЕКГ електродів через інтегрований ЕКГ кабель. Виконання в розкладному форм-факторі оптимізує ергономічні характеристики приладу. Заміна знімного кабелю інтегрованим знижує рівень наведених внутрішніх шумів, а також скорочує час приведення приладу в робочий стан. Наявність вбудованого GSM модуля

забезпечує доступний зв'язок зі спеціалізованими медичними установами, скорочує тривалість діагностики і підвищує ефективність медичної допомоги в неамбулаторних умовах.

На сьогодні серцево-судинні захворювання є визначальною причиною смертності, в тому числі раптової, у більшості розвинених країн. Раптова серцева смерть (РСС) – це несподівана смерть, що сталася моментально або настала протягом години з моменту виникнення гострих змін в клінічному статусі хворого внаслідок порушення серцевої діяльності. Кожен рік у світі раптово помирає майже 7 мільйонів людей при симптомах, що класифікуються як РСС. Тому активно продовжується вивчення відомих та пошук нових прогностичних факторів (предикторів) ризику РСС. Відомими факторами є, наприклад, потенціали сповільненої деполяризації міокарду, дисперсія і тривалість інтервалу QT, альтернація Т-зубця, турбулентність та варіабельність серцевого ритму. Через надзвичайну складність процесів, що відбуваються у серцевій тканині, на сьогодні відсутня будь-яка адекватна модель серця, яка була б здатна допомогти установити діагноз або зробити прогноз розвитку хвороби. Більшість клінічних досліджень в кардіології засновані на аналізі електрокардіограм (ЕКГ) за допомогою добре апробованих методик, одною з яких є аналіз варіабельності серцевого ритму (ВСР). Такий аналіз може бути проведений за допомогою методів математичної статистики та нелінійної динаміки.

Останнім часом при аналізі кардіологічних рядів набуває поширення мультифрактальний підхід, який в природний спосіб враховує динамічну складність часової організації серцевого ритму. Варіабельність фізіологічних ритмів має властивість фрактальності, тобто демонструє повторюваність і самоафінність у широкому діапазоні часових масштабів. Введення додаткових нелінійних показників масштабної інваріантності дає можливість нової оцінки якісних та кількісних властивостей ВСР та розширює можливості клінічної інтерпретації [7]. Масштабні властивості монофрактального сигналу є однорідними як локально, так і глобально; відповідний процес можна характеризувати єдиним масштабним показником. На противагу цьому, мультифрактальний сигнал розпадається на велику кількість однорідних фрактальних підмножин, сингулярні властивості яких можуть бути. Мультифрактальний підхід дозволяє описувати широкий клас структурно більш складних

сигналів порівняно з тими, які характеризуються єдиною фрактальною розмірністю [8].

Серед нових методів діагностики серцево-судинних захворювань одним з найперспективніших для практичного впровадження є метод магнітокардіографії (МКГ) [9]. Цей метод ґрунтується на безконтактній реєстрації над грудною кліткою пацієнта за допомогою надчутливого SQUID-сенсора магнітної компоненти електромагнітного поля серця з подальшим відтворенням і аналізом просторово-часових характеристик електричних джерел у міокарді, знайдених після розв'язання оберненої задачі магнітостатики, та формуванням двовимірної карти розподілу магнітного поля. Кожна з відомих на сьогодні МКГ-систем має у своєму складі три функціональні модулі. Перший модуль – вимірювальний – складається зі SQUID-сенсорів, які розміщені у кріостаті з рідким гелієм, антенних систем та електронних пристроїв для зчитування сигналів. Другий, керуючий модуль містить електронні блоки та мікропроцесори для керування роботою всієї системи. Третій, програмний модуль забезпечує комп'ютерну обробку сигналів та їх відображення з використанням прикладного пакету програм з високим рівнем інтелектуального забезпечення. Для просторової фіксації даних під час МКГ-дослідження використовують точки спостереження – вузли перетину квадратної сітки ($6 \times 6 = 36$ вузлів). Безпосереднім результатом попередньої обробки даних є 36 магнітокардіографічних кривих у точках спостереження, які мають прив'язку до анатомічних орієнтирів грудної клітки.

На початковому етапі розвитку магнітокардіографії методи її аналізу копіювали методи аналізу електрокардіограм (ЕКГ). Надалі для аналізу та інтерпретації МКГ-даних стали використовувати методи, тісно пов'язані зі створенням сучасних інтелектуальних технологій.

Головна відмінність МКГ від ЕКГ полягає в тому, що провідний об'єм тіла людини з високою точністю «прозорий» для магнітного поля серця і практично не впливає на величину сигналу, що реєструють магнітометричною системою. Тому при вимірюванні МКГ ми отримуємо інформацію безпосередньо про токи в серці, а при реєстрації ЕКГ – про токи, які протікають у тілі людини і опосередковано в серці. Магнітокардіографія чутлива, насамперед, до іонних струмів серця і дає можливість отримувати більш ранню діагностичну інформацію, ніж відомі потенційні методи. Однак слід зауважити, що біо-

магнітні сигнали набагато менші за величиною, ніж завади навколишнього середовища, і на 7-8 порядків менші за магнітне поле Землі, тому проблема реєстрації та обробки слабких магнітних сигналів в умовах сильних завад промислового міста є винятково складною і потребує застосування спеціальних екранованих кімнат.

Формування знань про електромагнітні властивості складових елементів живих організмів з використанням сучасних наукових досліджень вимагає нових підходів до навчально-виховних процесів в закладах вищої освіти. В умовах змін у науці та освіті важливого значення набуває підготовка майбутніх медичних спеціалістів до праці не тільки в умовах усередненого репродуктивного інформаційного підходу, а й умовах розвитку творчої активності особистості, що живе і працює у світі техніки і складних нових технологій. Це означає, що розвиток змісту й організації процесу навчання повинен здійснюватися на основі діяльнісного підходу і гуманітаризації процесу навчання.

При формуванні знань про електродинамічні властивості живих організмів в лабораторному практикумі курсу біофізики (медичної і біологічної фізики) реалізуються загально-дидактичні принципи. Провідним за ознакою загальності є принцип науковості [10], який сприяє відтворенню в навчальному процесі дисципліни об'єктивного взаємозв'язку між спеціальними знаннями і загальними поглядами на оточуючий світ; взаємозв'язку, зумовленого єдністю одиничною і загальною як у структурі оточуючого середовища, так і у процесі його пізнання. Реалізація цього принципу дає можливість вивчити основні наукові положення електродинаміки живих організмів (основні положення і закони, поняття) та застосувати у навчанні методи, які використовуються в цій галузі людських знань.

Побудова вдосконаленого навчального процесу у закладі вищої освіти та підготовка майбутніх медичних працівників до активної професійної праці передбачає реалізацію принципу зв'язку теорії з практикою, практичного досвіду з наукою [11]. Джерелом знань, основою пізнання навколишнього світу є практичний досвід людства. Практика об'єктивно виступає як критерій істинності пізнання. Цей принцип ґрунтується на об'єктивних взаємозв'язках науки і виробництва, науки і життєдіяльності суспільства, теорії і практики. Оскільки сучасні дослідження в електродинаміці спрямовані на розв'язання багатьох завдань матеріалознавства, інформаційних тех-

нологій, процесів виробництва і функціонування живих систем, то впровадження їх на лабораторних заняттях при проведенні науково-дослідної роботи дозволяє реалізувати цей дидактичний принцип.

Такий виклад матеріалу з сучасних досліджень електродинаміки живих організмів в теоретичній частині робіт практикуму дозволяє реалізуватися принципу систематичності і послідовності, спонукає викладача на системне й послідовне подання знань, а студента – на вивчення навчального матеріалу. Цей принцип реалізує вимогу логічності, послідовності і наступності, коли кожний блок нових знань, умінь базується на попередньому і є логічним його продовженням.

Підбір матеріалу з сучасних досліджень в області електродинаміки біосистем, який використовуються в навчальному процесі медичного закладу вищої освіти, здійснюється так, що успішність та ефективність навчання визначається відповідністю його змісту, форм і методів віковим особливостям студентів, їх можливостям. Реалізація принципу доступності навчання передбачає вивчення біосистем та їх електромагнітних властивостей від простого – до складного, від відомого – до невідомого, від близького – до далекого, з врахуванням наукового потенціалу студентів, їх рівня всебічного розвитку та їх індивідуальних особливостей. Оскільки знання людини є її надбанням в результаті самостійної свідомої діяльності, то при формуванні знань про електродинаміку біотканин у майбутніх медичних працівників реалізується принцип свідомості і активності в навчанні.

Під час роботи із сучасною науковою інформацією викладачу слід мати на увазі як логічні, так і емоційно-чуттєві психологічні механізми сприйняття відповідного матеріалу. Відповідно до цього, майбутніх медиків у закладах вищої освіти потрібно навчати за принципом «освіта впродовж життя». Такий підхід забезпечує синергетичність знань, можливість їх корекції з врахуванням сучасних досягнень науки і техніки. Свідоме учіння студентів вимагає високого рівня сформованості мети і мотивів навчання, розуміння практичної цінності і потреби в таких знаннях для самореалізації в майбутній професійній діяльності. Активізації пізнавальної діяльності сприяють: позитивне ставлення до навчання, інтерес до навчального матеріалу, тісний взаємозв'язок навчання з життям, використання на практиці засвоєного матеріалу, диференційований підхід, інформативність, синергетичність, гнучкість,

здатність до самокорегування самого процесу навчання.

Висновки. За умов втілення такого підходу в лабораторний практикум курсів біофізики, медичної та біологічної фізики реалізуються загальні та специфічні принципи навчання, зокрема: принцип науковості, зв'язку теорії з практикою, багатоваріантності і множинності структури, змісту і методів системи неперервного навчання як основи її функціонування, єдності наукової і навчально-методичної діяльності кафедр і викладачів; принцип поєднання навчальної та науково-дослідної праці студентів; принципи добору змісту навчального матеріалу;

принцип інформаційної ємності та соціальної значущості; принцип органічної єдності теоретичної та практичної підготовки студентів; принцип забезпечення творчої активності та самостійності студентів у навчальному процесі. В ході проведення лабораторного практикуму з біофізики елементи наукових досліджень електродинаміки сприяють формуванню фундаментальних та фахових знань.

Перспективи подальших досліджень в означеному напрямі є розробка методики підбору та використання таких досліджень з квантової теорії в лабораторному практикумі курсу біофізики (медичної та біологічної фізики).

ЛІТЕРАТУРА

1. Нова українська школа. 2022. URL: mon.gov.ua.
2. Бордюк М.А. Силабус. Медична та біологічна фізика. Рівне : КЗВО «Рівненська медична академія», 2022. 24 с. URL: <https://moodle.mcollege.rv.ua. курси.1с.акад.Медична та біологічна фізика>.
3. Сміл В. Енергія та історія цивілізацій. Харків : Клуб сімейного дозвілля, 2020. 400 с.
4. Кайку М. Фізика майбутнього. Львів : Літопис, 2013. 432 с.
5. Вайнберг С. Пояснюючи світ. Історія сучасної науки. Харків : Клуб сімейного дозвілля, 2019. 351 с.
6. Sobianin I., Skonechnyi V., Yarova I. Portable electrocardiograph with GSM module for telemedicine. *Technical sciences and technologies*. 2020. No. 1(19). P. 191–198.
7. Kovalchuk V.I., Svechnikova O.S., Bulavin L.A. Multifractal analysis of cardiac series and predictors of sudden cardiac death. *Ukrainian Journal of Physics*. 2021. V. 66, No. 10. P. 877–882.
8. Shevchuk T.V., Bordyuk M.A., Mashchenko V.A. Percolation characteristics of filled polyurethane auxetics. *Physics and Chemistry of Solid State*. 2022. V. 23, No. 3. P. 590–596.
9. Примін М.А. Сучасні сенсорні системи та інформаційні технології в медицині, біології та техніці. Перспективи розвитку. *Вісн. НАН України*. 2021. № 5. С. 47–53.
10. Бордюк М. Реалізація принципу науковості у формуванні знань про полімерні матеріали в майбутніх учителів у процесі вивчення курсів фізики. *Нова педагогічна думка*. 2010. № 4. С. 46–53.
11. Бордюк М., Шевчук Т., Бордюк Н. Специфічні принципи дидактики вищої школи і їх реалізація при формуванні знань про полімерні матеріали у майбутніх педагогів. *Нова педагогічна думка*. 2012. № 4. С. 96–103.

REFERENCES

1. Nova ukrainska shkola (2022). mon.gov.ua. [in Ukrainian].
2. Bordiuk M. A. (2022). Medychna ta biolohichna fizyka [Medical and biological physics]: sylabus. Rivne: KZVO «Rivnenska medychna akademii». 24 s. URL: [https://moodle.mcollege.rv.ua. \[in Ukrainian\]](https://moodle.mcollege.rv.ua. [in Ukrainian]).
3. Smil V. (2020). Enerhiia ta istoriia tsyvilizatsii [Energy and the history of civilizations]. Kharkiv: Klub simeinoho dozvillia. 400 s. [in Ukrainian].
4. Kaiku M. (2013). Fyzyka maibutnoho [Physics of the future]. Lviv: Litopys. 432 s. [in Ukrainian].
5. Vainberh S. (2019). Poiasniuiuchy svit. Istoriia suchasnoi nauky [Explaining the World]. Kharkiv: Klub simeinoho dozvillia. 351 s. [in Ukrainian].
6. Sobianin I., Skonechnyi V., Yarova I. (2020). Portable electrocardiograph with GSM module for telemedicine. *Technical sciences and technologies*. No.1 (19). P. 191-198.
7. Kovalchuk V.I., Svechnikova O.S., Bulavin L.A. (2021). Multifractal analysis of cardiac series and predictors of sudden cardiac death. *Ukrainian Journal of Physics*. V.66, No.10. P.877-882.
8. Shevchuk T.V., Bordyuk M.A., Mashchenko V.A., Kvasnikov V.P., Krivtsov V.V. (2022). Percolation characteristics of filled polyurethane auxetics. *Physics and Chemistry of Solid State*. V.23, No.3. P.590-596.
9. Primin M.A. (2021). Suchasni sensorni systemy ta informatsiyni tehnologie v medytsyni, biologiy ta tehnic. *Perspektyvy rozvytku. Visn. NAN Ukrainy*. № 5. S. 47-53.
10. Bordiuk M. (2010). Realizatsiia pryntsyphu naukivosti u formuvanni znan pro polimerni materialy v maibutnikh uchyteliv u protsesi vyvchennia kursiv fizyky. *Nova pedahohichna dumka*. № 4. S. 46–53. [in Ukrainian].
11. Bordiuk M., Shevchuk T., Bordiuk N. (2012). Spetsyfichni pryntsyipy dydaktyky vyshchoi shkoly i yikh realizatsiia pry formuvanni znan pro polimerni materialy u maibutnikh pedahohiv. *Nova pedahohichna dumka*. № 4. S. 96–103. [in Ukrainian].