

DOI: <https://doi.org/10.28925/1609-8595.2025.2.5>

УДК 37.09: 577.3

Анатолій Єгоренков

<https://orcid.org/0000-0003-1625-2344>

кандидат педагогічних наук, доцент,
доцент кафедри медичної і біологічної фізики та інформатики,
Національний медичний університет імені О. О. Богомольця,
пр. Берестейський, 34, 01601, Київ, Україна
altaikiev1@gmail.com

СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ВИКЛАДАННЯ БІОФІЗИКИ СТУДЕНТАМ МЕДИЧНИХ ЗАКЛАДІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ

У теоретичній частині дослідження проаналізовано зміст принципу системності як методу наукових досліджень складних систем, з одного боку і, як принципу навчання в поєднанні з іншими дидактичними принципами, з іншого боку. У статті висвітлено можливості системного підходу в наукових дослідженнях та системного принципу навчання для реалізації завдань Стратегії розвитку медичної освіти в Україні з метою формування компетентностей майбутніх лікарів. Здійснено аналіз методології системного підходу на прикладі різних напрямків сучасної біомедичної науки та медико-біофізичних досліджень. Продемонстровано методику використання системного аналізу у навчанні на прикладі вивчення науково-природничих дисциплін (насамперед – медичної і біологічної фізики) в медичних закладах вищої освіти. У практичній частині презентовано розроблений та впроваджений елективний курс, що спирається на системний підхід до вивчення молекулярної біофізики ДНК студентами медичних закладів вищої освіти. Описано структурно-логічну схему знань цього курсу «Молекулярно-біофізичні та біоінформаційні принципи ДНК-технологій», в якому на основі системного підходу фундаментальні знання з молекулярної біофізики поєднуються з біомедичними знаннями. Враховуючи результати проведеного аналізу використання принципу системності для рішення завдань медицини та біологічної фізики, розроблено структурно-логічні схеми знань, тестових завдань, комп'ютерних програм та відеододатків для міждисциплінарної інтеграції знань з молекулярної біофізики ДНК та медичної генетики і біоінформатики, а також для пропедевтики у формуванні основ клінічного мислення.

Ключові слова: компетентність лікаря, медична та біологічна фізика, медична освіта, молекулярна біофізика ДНК, методи системного аналізу, принципи навчання, принцип системності.

ВСТУП

Ефективність процесу навчання залежить від реалізації на практиці наступних основних принципів дидактики: принципу єдності освітньої, розвиваючої та виховної функцій навчання; принципу науковості змісту і методів навчання; принципу систематичності та послідовності; принципу міцності знань; принципу доступності; принципу свідомості та активності; принципу наочності; принципу зв'язку навчання з практикою; принципу індивідуалізації (Кремень, 2021). Під час розроблення окремих методик навчання конкретної навчальної дисципліни необхідним є залучення і нових дидактичних принципів, відповідно до розвитку педагогічної науки. Проведений автором аналіз Стратегії розвитку медичної освіти України (2019), цілей та завдань навчання, кваліфікаційних вимог до випускників медичних закладів вищої освіти показав, що під час розроблення методики викладання суттєве значення має принцип системності навчання та системний підхід при відборі змісту навчального матеріалу. За прийнятим визначенням принцип системності у навчанні – це принцип навчання, що реалізує загальнонауковий принцип системності, логіку системного розкриття об'єктів і явищ.

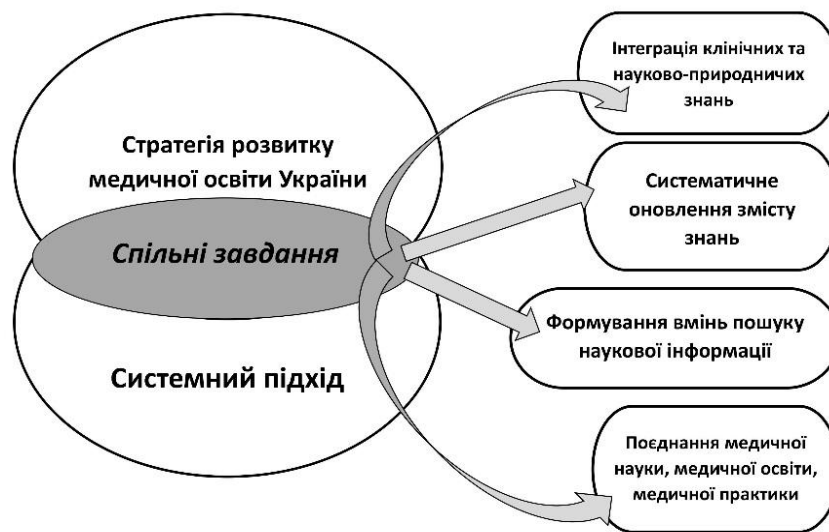


Рисунок 1. Схема аналізу змісту Стратегій розвитку медичної освіти в Україні в контексті системного підходу у навчанні

Складено автором особисто

У визначенні дидактичного принципу системності навчання вказується також, що пізнавальна діяльність учня повинна відображати логіку системного аналізу об'єкта. Тому завдання створення різних методик навчання, що поєднують логіку системного аналізу об'єктів досліджень та деякі принципи навчання, є актуальним. Окремі аспекти реалізації системного підходу в процесі навчання спільно з розв'язанням завдань інтеграції навчальних знань за допомогою спеціального їх структурування у свій час знайшли відображення у роботах таких дослідників, як Т. Сергєєва, З. Решетова, Ю. Полева, В. Ільченко, Ю. Сенько, С. Мустафаєв, А. Прокопєв, І. Авдєєва, А. Верхола та інших. Але презентації реалізації такого підходу для науково-природничої компоненти вищої медичної освіти в повній мірі ще немає. Висловлюється думка про необхідність розгляду системного підходу як важливого методологічного принципу у дослідженнях соціально-педагогічних процесів (Гончаренко, 2008). Також ряд дослідників (В. Афанасьєв, Х. Барнетт, І. Блауберг, В. Докучаєва, М. Лапін, І. Новік, А. Пригожин, А. Тряпїцина, Н. Юсуфбекова) звертають увагу на значення використання системного підходу в освіті для проєктування інноваційної освіти, яка, у свою чергу, сприяє становленню і розповсюдженню нових цінностей (зокрема й актуальних для медицини етичних цінностей) у сучасному суспільстві (Єгорєнков, 2005). Наразі системний підхід також є продуктивним для рішення як загальних питань організації вищої освіти (Gonzalez, Viera, 2019), так і питань викладання окремих навчальних дисциплін чи конкретних курсів вищої освіти, зокрема викладання медичної і біологічної фізики (Шабанова, 2014; Тадеуш, 2022; Гончаренко, 1996; Bulavin, Zabashta, 2016; Zhumabekova, 2024).

Метою статті є аналіз шляхів поєднання методологічних та педагогічних аспектів системного принципу наукових досліджень та дидактичного принципу системності у навчанні для створення методики інтегративного вивчення студентами медичних закладів вищої освіти питань науково-природничого та медико-біологічного напрямку. Відповідно до мети статті виконуються наступні **завдання**:

1) аналіз змісту принципу системності навчання в контексті загальнонаукового принципу системності досліджень складних об'єктів (у першу чергу – біологічних);

2) аналіз особливостей використання принципу системності для рішення завдань біомедицини та медичної освіти, включаючи пропедевтику у формуванні клінічного мислення;

3) створення та обговорення методики системного вивчення студентами медичних закладів вищої освіти окремої навчальної теми науково-природничого напрямку вищої медичної освіти (на прикладі питань молекулярної біофізики ДНК та біофізичних аспектів медичної генетики).

МЕТОДОЛОГІЯ

Основами дослідження є методологічні та загальнодидактичні положення концепції цілісного відображення різних складових частин науки (знань, методологій, видів спеціальної діяльності) під час інтегрованого вивчення фундаментальних і клінічних дисциплін медичної освіти, використання системного підходу як методологічного принципу вивчення складних систем (на прикладі біологічних систем), теорія поетапного формування розумових дій. Під час дослідження використовувалися відповідно до вказаної методології наступні методи дослідження: (а) порівняння та узагальнення даних з проблеми дослідження на основі вивчення психологічної, педагогічної, науково-методичної літератури; (б) аналіз змісту різних навчальних курсів медичних закладів вищої освіти (медичної і біологічної фізики, біохімії, медичної генетики, медичної біології); (в) бесіди із студентами, викладачами теоретичних та клінічних кафедр, науковцями та лікарями; (г) спостереження за педагогічним процесом; (д) вивчення роботи спеціалізованих науково-клінічних лабораторій медико-генетичного та молекулярно-біологічного профілю.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Принципи навчання. Принципи навчання – це не застиглий набір правил та ідей. Під впливом наукового прогресу та соціальних чинників відбуваються зміни, уточнення, доповнення принципів навчання. Актуалізація дидактичного принципу системності навчання значною мірою зумовлена вдосконаленням, розвитком методології наукового пізнання, виділенням методології та логіки науки в окремий науковий напрям. У самому наборі дидактичних принципів існують передумови для актуалізації принципу системності. Цей принцип логічно та історично пов'язаний з іншими дидактичними принципами. Можна вказати на його логічний зв'язок з принципом систематичності. Принцип систематичності означає, що «логіка змісту навчання повинна слідувати систематичності та послідовності» (Кремень, 2021). Цей принцип реалізується на різних рівнях навчального процесу: на рівні навчального плану; на рівні навчальної програми.

Є ще один дидактичний принцип, логічно пов'язаний із принципом системності – це принцип науковості навчання. Сенс принципу науковості навчання в тому, що «відбір змісту навчального матеріалу з цього предмета, як і методи його засвоєння, адекватні сучасному науковому знанню» та «згідно з цим принципом зміст навчання має відповідати сучасному стану науки, визначати оволодіння методами наукового пізнання» (Кремень, 2021). Відповідно до принципу науковості студенти повинні володіти сучасними способами та прийомами наукового пошуку у своїй професійній діяльності. Зокрема, принцип науковості передбачає використання таких наукових методів, як моделювання та системний аналіз. І якщо в предметній галузі, що вивчається, ці наукові методи є головними (як це і має місце в біофізиці), то принцип науковості сприяє розвитку та поглибленню принципу системності в навчанні медичної та біологічної фізики як дисципліни.

Одним з важливих завдань навчання науково-природничих дисциплін, зокрема й у медичних закладах вищої освіти, є формування у студентів професійно-орієнтованого науково-природничого світогляду та професійного клінічного мислення. Теоретичними основами формування такого світогляду та типу мислення є класифікація, систематизація та узагальнення знань. Систематизація сприяє встановленню причинно-наслідкових зв'язків та відносин між досліджуваними явищами; укрупненню основних одиниць матеріалу; встановленню закономірностей підпорядкованих їм явищ. Такий процес пізнання також тісно пов'язаний з системним аналізом.

До певного етапу розвитку вищої медичної освіти таке неявне використання наведеного вище дидактичного принципу системності було достатнім. Але на сучасному етапі розвитку теорії та практики навчання майбутніх лікарів виникає необхідність ширшої практичної реалізації дидактичного принципу системності навчання.

Принцип системності як методологічний підхід для сучасних наукових досліджень. Зміст принципу системності як методологічного принципу сучасної науки став активно розроблятися з початку 50-х рр. XX ст. Розробки велися як стосовно окремих наукових напрямів, так і в напрямку створення загальної теорії систем. Основоположником розробки методології системності в науці вважається Людвіг фон Берталанфі, який сформулював у 30-ті рр. XX ст. принцип системності в науці (Von Bertalanffy, 1972). Передумови його досліджень було закладено значно раніше. Загальновідома думка Арістотеля про те, що ціле виникає із взаємодії елементів, і тому ціле може бути більшим за суму елементів. Це положення Арістотеля і досі залишається відображенням проблеми системності. Такий підхід знайшов своє відображення і в медицині. Гіппократ (460–377 рр. до н.е.) та його послідовники (зокрема Клавдій Гален, 131–200 рр. н.е.) розуміли організм як єдине ціле. У відповідності з таким поглядом вони створили та увічнили концепцію цілісності організму. Ця ідея стала основою сучасного системного підходу до вивчення (і лікування) організму людини.

У біологічних науках витоки системного підходу сягають рубежів XVIII і XIX ст. Носієм традицій системного аналізу є типологічна морфологія. Основоположником науки морфології є видатний німецький поет та натураліст І. В. Гете. Предметом вивчення морфології Гете визначав організм у його цілісності. Конкретизація цього цілісного підходу призвела до створення Гете «теорії типу» і виділення двох складових організму: елементів та структури.

На даний час окремі компоненти парадигми системності активно реалізуються в різних напрямках: (а) в наукових дослідженнях живих систем, (б) в медичній науці та практиці (див. Таблиця 1).

Таблиця 1

Приклади реалізації парадигми системності для різних фахових напрямків

Фахові напрямки та окремі приклади реалізації парадигми системності	Основний компонент принципу системності, що є актуальним для медичних закладів вищої освіти
Системна біологія	Аналіз значення кожного компоненту системи з точки зору різних ланцюгів взаємодії з іншими компонентами системи
Системна медицина	Поєднання різних аспектів медичних знань для створення цілісної та персоніфікованої моделі захворювання, тактики діагностики та лікування
Системна сімейна психотерапія (як реалізація парадигми системної медицини)	Пошук тактики психотерапевтичного лікування окремого пацієнта на основі вивчення впливу на нього властивостей еквіфінальності всієї системи (всієї родини)
Системне захворювання (як реалізація парадигми системної медицини)	Емерджентність у механізмах виникнення подібних захворювань

Складено автором особисто на основі використаної літератури

У різних медичних галузях успішно реалізується сучасна парадигма системної медицини (Мінцер та співавтори, 2021). Вже традиційним поняттям для медицини стало поняття про «системне захворювання», відомим прикладом якого є системний червоний вовчак (Rekviq, 2024). Реалізація парадигми системності в різних фахових напрямках сучасної медицини свідчить про актуальність системного підходу для формування клінічних компетентностей у майбутніх лікарів,

у першу чергу – за допомогою викладання системно-структурованих за змістом та методиками викладання навчальних курсів.

Основні поняття теорії систем. Спроби дати загальне визначення поняття системи не завжди вдалі в разі вирішення конкретних завдань чи вивчення систем певного класу. Визначення поняття системи різними авторами дається, виходячи з мети дослідження системи, і тому адекватність цих визначень має оцінюватися в застосуванні до цілком певних систем. При цьому загальними для всіх визначень системи залишаються такі її властивості:

- наявність множинності елементів;
- ієрархічність будови системи, тобто певна послідовність включення системи нижчого рівня організації в систему вищого рівня;
- об'єднання елементів множини в систему через відносини та зв'язки;
- протистояння системи середовищу, з яким ця система взаємодіє;
- найзагальніша характеристика взаємозв'язку елементів – їх упорядкованість.

При визначенні поняття системи неможливо залишити поза увагою характер зв'язків та взаємодії елементів системи. У класичних підходах до розуміння поняття системи існує кілька поглядів на взаємодію між її елементами. Основоположник методологічного принципу системності Л. Берталанфі розглядав систему як таку сукупність об'єктів, взаємодія яких зумовлює появу нових інтеграційних якостей, не властивих окремо взятим компонентам, що утворюють систему (Bertalanffy, 1972). Для наших досліджень є важливим точка зору на поняття системи, що пропонують саме вчені-біофізики. Наприклад, даючи характеристику поняття системи, відомий вчений-біофізик Г. Іваницький зауважував у свій час, що зв'язок між компонентами системи має бути настільки істотний і тісний, що зміна одного з них має викликати зміну властивостей самої системи загалом.

Зв'язки між елементами задають структуру системи. Структура може характеризуватися по горизонталі (зв'язками між однотипними елементами) та по вертикалі (зв'язками між елементами різного рівня). Наявність структури вертикального типу обумовлює наявність рівнів системи та ієрархії цих рівнів, про що буде сказано нижче стосовно до біологічних систем.

Одна з найважливіших характеристик системи – цілісність. Цілісна система – така система, окремі частини якої функціонують (розвиваються) спільно. Відповідно до типу зв'язків у понятті системи можна виділити два дослідницькі підходи: 1) предмет вивчення – система з глибокою внутрішньою інтеграцією (наприклад, система організму людини); 2) задано об'єкт у множинності своїх проявів, а систему ще необхідно вичленити. Аналіз стосується пошуку факторів, що зв'язують об'єкт дослідження в єдине ціле. У дидактичному аспекті щодо властивостей живого об'єкта ми перебуваємо в проміжному стані між зазначеними двома підходами. З одного боку, очевидно, що живий організм – це система, а з іншого боку – систему знань для вивчення ще належить вичленити (з урахуванням особливостей учнів, предмета, закладу вищої освіти). При такому вичлененні системи знань (тобто відборі змісту освіти) важливо побудувати цілісну картину знань про об'єкт, явище.

У визначенні біологічних систем з необхідністю включається параметр часу (еволюція біологічної системи), що відсутній, наприклад, у визначенні технічних систем. Тому при подальшому аналізі викладання біофізики спиратимемося на визначення системи, яке запропоновано у свій час також відомим біофізиком Л. Блюменфельдом, що ввів у своє визначення системи параметр часу. З точки зору завдань біофізики Л. Блюменфельд вказав, що система існує якщо: 1) задані зв'язки, що існують між цими елементами; 2) кожен з елементів усередині системи вважається неподільним; 3) зі світом поза системою система взаємодіє як ціле; 4) при еволюції в часі сукупність буде вважатися однією системою, якщо між її елементами в різні моменти часу можна провести однозначну відповідність.

У дидактичному аспекті це означає, що елемент – це найменший блок знань, властивості якого очевидні (не вимагають аналізу). Такими елементами системи знань можуть бути різні блоки (залежно від принципу побудови системи): поняття, теорії, закони, явища, ідеї, принципи.

Поняття системного підходу при вивченні об'єктів – систем. На основі введених понять, що визначають систему як об'єкт вивчення (у науковому дослідженні або в процесі навчання),

необхідно проаналізувати сам процес системного вивчення об'єктів-систем. Для адекватного вивчення системних об'єктів застосовуємо системний підхід в їх дослідженні. Історично системний підхід у дослідженнях спочатку був застосований та відпрацьований у біології та техніці. Йому передував функціональний підхід, який дозволив перейти від понять морфології до поняття структури, тобто від уявлень про будову об'єкта до уявлень про його організацію. Наразі ідеї системного підходу виявилися найбільш плідними в галузі теоретичної біології, складовою якої є біофізика складних систем. Орієнтуючись на розуміння системного підходу стосовно вивчення біофізики, наведемо визначення системного підходу, що також належить вченому-біофізику Л. Блюменфельду: «Системний підхід – це абсолютно універсальний принцип, який заснований головним чином на неможливості охопити складне явище з усією мислимою повнотою... Тому при вивченні складних явищ нам і доводиться довільно задавати системи та розчленовувати їх на деякі одиниці, щодо яких ми домовляємося, що ми можемо про них нічого не знати, крім деяких їх властивостей, їх взаємодії одна з одною, і що в рамках поставленого завдання вони залишаються неподільними». З наведеного визначення випливає, що системний підхід – це методологічний принцип, який спрямований на розроблення специфічних пізнавальних засобів, що відповідають завданням дослідження та конструювання складних об'єктів. Системний підхід є методологічною основою всієї сукупності сучасних досліджень. Але оскільки складні об'єкти (системи) і наукові дисципліни, що їх вивчають, дуже різноманітні, сутність системного підходу також трактується по-різному. Проте визнається методологічна цінність системного підходу.

Розробленням засобів і методів системного підходу займається системний аналіз. Під системним аналізом розуміють сукупність прийомів та методів для вивчення складних об'єктів-систем, що є складною сукупністю взаємодіючих між собою елементів. Основними методами системного аналізу є аналіз та синтез. У системному аналізі розрізняють «пряме» і «зворотне» завдання. Для біофізичних досліджень більш характерним є «зворотне» завдання: за поведінкою об'єкта-системи необхідно встановити її внутрішню (системну) організацію (тобто елементи та їх зв'язки).

Методи системного аналізу в біологічній фізиці. До сучасних методів системного аналізу відносяться: математичне планування експерименту, багатомірний статистичний аналіз, математичне моделювання, автоматизація процесу вимірювань. Біофізика включає у свою сферу вивчення вплив довкілля на живий організм. З'ясування причин захворювань завжди є складним завданням, оскільки такі захворювання, як, наприклад, ішемія серця, розлади кровообігу та інші визначаються безліччю процесів, що характеризуються порушенням різних систем організму (у медицині такі захворювання називаються системними). І механізм фізіологічної регуляції в організмі стає зрозумілішим за використання системного аналізу, включаючи дослідження на клітинному та молекулярному рівні. Тому системні методи сприяють розв'язанню різних біофізичних завдань, що є дотичними до медико-біологічних проблем, спонукають до необхідності пошуку вертикальних зв'язків між різними ієрархічними рівнями організації живого, тобто до системної цілісності.

У практичній медицині на певному етапі її розвитку навчилися лікувати різні захворювання, не торкаючись чи навіть не знаючи багатьох закономірностей фізіологічних, біохімічних, хімічних, біофізичних процесів, що лежать в основі нормального або патологічного стану організму. Загальновідомий приклад з біології – відкриття Менделем законів спадковості без опори на знання про існування носія спадковості – молекули ДНК. Необхідність аналізувати систему на іншому рівні деталізації (для медицини – на клітинному, молекулярному), тобто необхідність переходу на вертикальні системні зв'язки, приходить тоді, коли аналіз по горизонталі на обраному рівні виявляється безуспішним. Таке співробітництво (зустрічний рух по вертикалі) може бути вельми продуктивним, і видатним прикладом цього є результати співпраці фізика Ф. Крика та біолога Дж. Уотсона з визначення тривимірної структури ДНК і принципів генетичного кодування.

Дидактичний принцип системності та активізація пізнавальної діяльності студентів медичних закладів вищої освіти. Проаналізована нами методика системного аналізу в галузі біофізики демонструє одну зі сторін дидактичного принципу системності. Другою причиною ширшого застосування дидактичного принципу системності є необхідність активізації

пізнавальної діяльності учнів, наближення розумової діяльності в навчальному процесі до професійно орієнтованої розумової діяльності. Одним з основних результатів професійно орієнтованого процесу мислення, що полягає в розкритті суттєвого в предметах та явищах, є розуміння. Загальновизнаним серед фахівців є факт, що розуміння ставить за мету проникнення в суть досліджуваних явищ у всій їх цілісності, і процес розуміння є системним за своїм характером. Нами проаналізовано відповідність процесу системного вивчення курсу біофізики завданням формування професійно-орієнтованого наукового мислення (так званого клінічного мислення) лікаря. Таке мислення є основою системного розвитку ряду компетентностей майбутніх лікарів (Шевченко та співавтори, 2023). Існує необхідність формування клінічного мислення починаючи з перших етапів навчання студентів медичних закладів вищої освіти (Shea, Chan, 2023). Формування такого мислення – одне з основних дидактичних завдань всієї медичної освіти (включаючи і науково-природничу компоненту), в першу чергу засобами системного підходу до вивчення медичної та біологічної фізики та відповідних міждисциплінарних елективних курсів.

Проведений нами аналіз літератури та спілкування з лікарями-вченими показали, що до основних компонентів клінічного мислення відносять: аналіз ситуацій; синтез симптомів в синдром; оцінювання ступеню тяжкості захворювання; оцінювання ступеня тяжкості захворювання; вміння проводити цілеспрямований та закономірний пошук додаткової інформації; розуміння сутності зв'язків симптомів та синдромів; розуміння взаємозалежності причинно-наслідкових відносин; знаходження найбільш ймовірного діагнозу та вичленення його з інших діагнозів; вибір та обґрунтування лікувальної тактики; прогнозування розвитку захворювання та планування способу її контролю (Рисунок 1).



Рисунок 1. Основні компоненти професійного клінічного мислення

Складено автором особисто

Співставлення зазначених компонентів професійно орієнтованого наукового мислення лікаря з методами системного аналізу показує, що ряд цих компонентів має системний характер і тому вони можуть бути використані під час системного вивчення об'єктів і явищ. До таких системних компонентів належать: аналіз ситуацій, синтез симптомів у синдром, пошук додаткової інформації, пошук суттєвих зв'язків, прогнозування та планування. Ці компоненти клінічного мислення можуть бути основою для розв'язання дидактичного завдання розвитку ряду компетентностей майбутніх лікарів у процесі системного вивчення медичної і біологічної фізики.

Принцип системності і проблема оптимізації об'єму навчальної інформації. Застосування принципу системності під час побудови освітнього процесу пов'язане ще з однією проблемою сучасної освіти. Швидке зростання та накопичення конкретних предметних знань викликає необхідність відображення цих знань в існуючих навчальних курсах. Розв'язання цього

завдання є актуальним і для фундаментальної вищої медичної освіти, де швидкий розвиток медико-генетичних технологій, досліджень у галузі молекулярної біології та генетики не можуть бути механічно перенесені до існуючих навчальних курсів, що вже і без цього перенасичені значним об'ємом інформації. Для того, щоб не збільшувати обсяг інформації цих курсів, необхідним є перехід на нову систему структурування та трансляції навчальної інформації в кожній науковій галузі. Сучасна педагогічна психологія пропонує розв'язувати цю проблему з урахуванням теорії поетапного формування розумових дій (Максименко, 2018). Такий підхід передбачає, що просте додавання нових та нових обсягів інформації до існуючих навчальних планів та навчальних програм не може вважатися вирішенням проблеми опанування новими знаннями. Розроблення змісту освіти на основі теорії поетапного формування розумових дій є практичною реалізацією системного підходу у навчанні.

Методика системного вивчення молекулярної біофізики молекули ДНК. Для того, щоб описаний у статті системний підхід щодо викладання біофізики не виглядав абстрактною порадою, продемонструємо його практичне застосування в побудові навчального курсу з молекулярної біофізики нуклеїнових кислот (ДНК, РНК). Для цього нагадаємо, що значний внесок в розвиток сучасної молекулярної біофізики ДНК зроблено українським вченим, членом-кореспондентом НАН України, доктором фізико-математичних наук, професором Д. Говоруном та його науковою групою (Brovarets, Oliynyk, Novorun, 2019). А вперше у вітчизняних посібниках з фізики для студентів саме медичних закладів вищої освіти звернув увагу на актуальність вивчення молекулярної біофізики ДНК колишній завідувач кафедрою фізики Київського медичного інституту доцент Є. Безденежних у посібнику 1965 року «Фізика та медицина. Лекції з фізики. Випуск VII» для студентів-медиків (у співавторстві). Параграф 3 цього посібника з фізики має назву «Молекулярна генетика». Тему молекулярної біофізики ДНК було вперше включено у вітчизняний посібник з медичної і біологічної фізики для студентів медичних закладів вищої освіти в 2005 р. (посібник за редакцією відомого вченого-біофізика, професора О. Чалого). Також уявлення про фізичні властивості молекул ДНК на високому науковому та методичному рівні викладено у вітчизняних посібниках для студентів біологічних факультетів університетів (Сиволоб, 2011).

В основу нашої методики вивчення біофізичних основ молекулярної генетики покладено таку організацію навчального процесу, яка приводить студента до розуміння системного характеру взаємовідносин елементів-знань предметної галузі «Медична і біологічна фізика» з питаннями медичної генетики. У процесі вивчення матеріалу студент пізнає, що ці елементи знань і системні зв'язки між ними мають різнопланову природу і не зводяться до одного заданого типу. Якщо звернутися до класифікації зв'язків у цій предметній області, то в загальному випадку можна виділити такі системні зв'язки (Рисунок 2):

- зв'язки взаємодії між об'єктами – елементами системи (наприклад, гуморальні зв'язки, зв'язок «хижак-жертва», міжнейронні зв'язки);
- зв'язки породження (наприклад, А є батьком В);
- зв'язки перетворення (наприклад, зв'язки АТФ-ази в процесі регуляції молекулярно-біологічних взаємодій);
- структурні зв'язки (наприклад, хімічні зв'язки);
- функціональні зв'язки (наприклад, зв'язки в роботі м'язів в циклі скорочення-розслаблення);
- зв'язки розвитку (наприклад, зв'язки в процесі ембріонального розвитку);
- зв'язки управління (наприклад, зв'язки для забезпечення терморегуляції організму).



Рисунок 2. Схема зв'язків біологічних систем, що вивчаються біофізикою
Складено автором особисто

Елементами системного вивчення можуть бути в цьому випадку поняття, закони, ідеї, явища, об'єкти. Аналіз предметної галузі медичної і біологічної фізики дозволяє зробити висновок про те, що системні зв'язки, які поєднують елементи-знання молекулярної біофізики ДНК, можуть бути трьох типів:

- енергетичні зв'язки (наприклад, хімічна енергія АТФ → біохімічні реакції);
- інформаційні зв'язки (наприклад, генетична інформація в ДНК, РНК → біосинтез білків);
- структурно-функціональні зв'язки (наприклад, третинна конформація білків → біологічна функція, що виконується).

У реальних молекулярно-біофізичних процесах можуть бути задіяні комплексні зв'язки, що поєднують вищезазначені зв'язки. Запропонована класифікація системних зв'язків не є універсальною для молекулярної біофізики ДНК і слугує вирішенню конкретних дидактичних завдань. Ці зв'язки не є незалежними, а можуть переходити один в одного. Зазначені три типи системних зв'язків відповідають проблематиці явищ, що вивчаються молекулярною біофізикою, і в дидактичному плані відображають елементи системи знань.

Аналіз можливих зв'язків між різними видами фізичних явищ, що вивчаються біофізикою як наукою, дозволяє представити їх у наступному вигляді (Рисунок 3).

Якщо розглядати зв'язок певних блоків схеми між собою, то характер їхньої взаємодії може бути відмінний від характеру зв'язків між будь-якою іншою парою блоків схеми. Наприклад, взаємозв'язок блоку III (збереження, обробка, рецепція інформації) із блоком VII (механізми управління біологічними системами) має явно виражений інформаційний характер. А вплив на той самий блок VII зі сторони блоку VI (механізми впливу фізичних факторів) може мати не тільки слабоенергетичний характер (тобто інформаційний), але й сильноенергетичний (наприклад, не просто виникнення точкової мутації під дією кванта світла ультрафіолетового діапазону, а деструкція значної ділянки на хромосомному рівні). У цілому схема представляє цілісну мережу системних взаємодій.

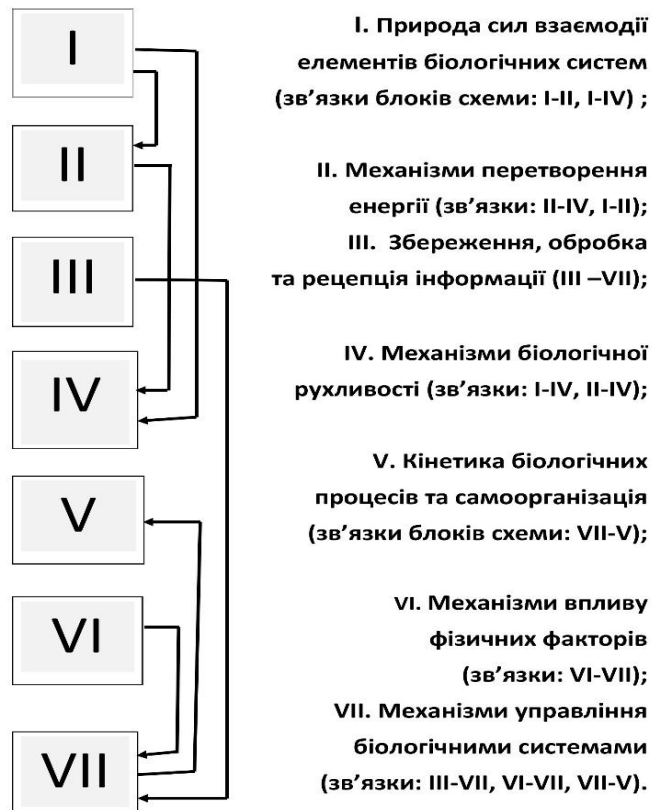


Рисунок 3. Схема взаємодій різних видів фізичних явищ, що вивчаються біофізикою
Складено автором особисто

Об'єктом дидактичного вивчення в даному випадку є біофізичний рівень, саме для цього рівня досліджується зазначений взаємозв'язок елементів по горизонталі (Рисунок 4). Елементи А, В, С, D, Е на Рисунку 3 утворюють сукупність укрупнених одиниць системного вивчення даної предметної галузі. У рамках розробленої класифікації типів зв'язків між елементами схеми (Рисунок 4) системного вивчення біофізики ДНК, зв'язки мають наступний характер:

- зв'язок (а) з (b) – інформаційний, односторонній (генетичний текст впливає на вторинну конформацію, але вторинна конформація не впливає на генетичний текст);
- зв'язок (b) з (c) – енергетичний, односторонній (зміни вторинної конформації типу А, В, Z – переходів в структурі ДНК впливають на суперспіралізацію цієї молекули);
- зв'язок (b) з (e) – структурно-функціональний, двосторонній (вторинна конформація ДНК впливає на динамічні властивості молекули та стан її іонного оточення і навпаки);
- зв'язок (c) з (d) – структурно-функціональний, слабоенергетичний, односторонній (стан суперспіралізації та укладки ДНК в хромосомі впливає на процеси експресії генів, але не навпаки);
- зв'язок (d) з (e) – інформаційний, двосторонній (взаємодія з лігандами впливає на функціонально-динамічні властивості спіралі ДНК, а ступінь гідратації ДНК та характер її іонного оточення впливають на ефективність взаємодії ДНК з лігандами).

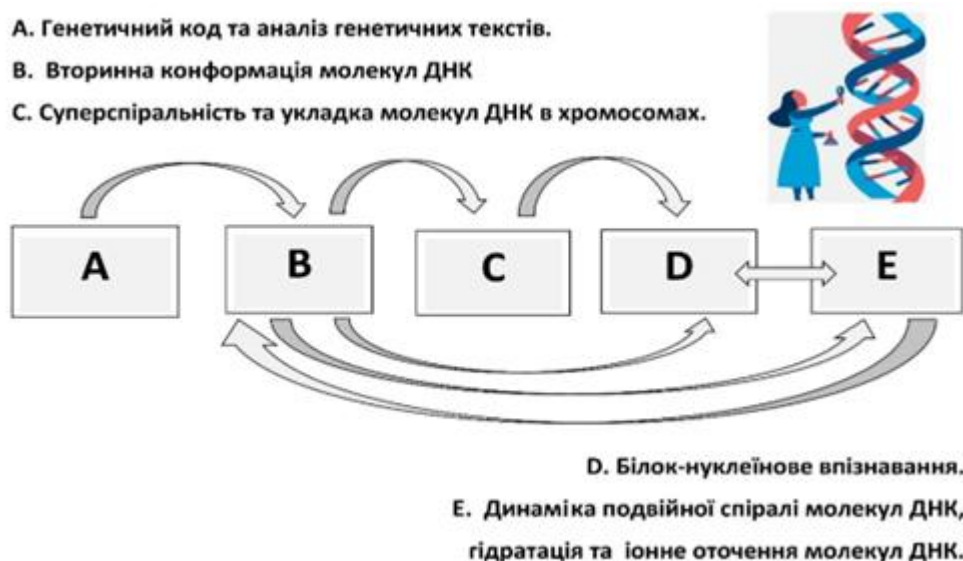


Рисунок 4. Схема взаємозв'язків елементів знань біофізичного рівня системного вивчення ДНК

Складено автором особисто

Схема, представлена на Рисунку 4, є елементом (першим рівнем) більш загальної структурно-логічної схеми системного підходу до вивчення медичної біофізики ДНК (Рисунок 5). Розглянемо докладніше цю загальну схему, яка включає не тільки I нижчий рівень (фізичні властивості ДНК), але й II середній рівень (молекулярно-біологічні процеси в клітині) і III вищий рівень (медико-генетичні прояви властивостей ДНК та методи генетичної діагностики і терапії) (Рисунок 4).

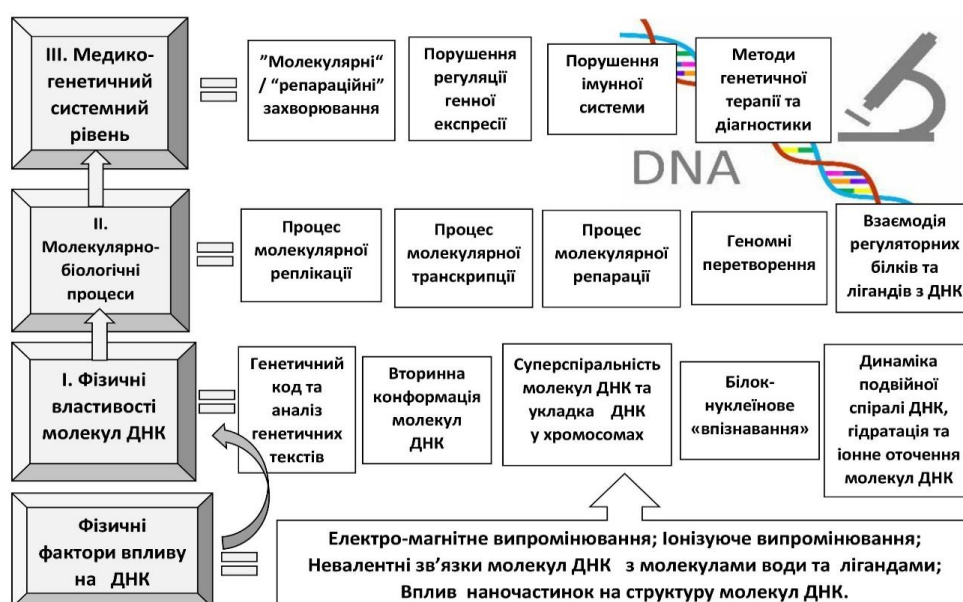


Рисунок 5. Схема системного вивчення медичної біофізики ДНК

Складено автором особисто

Кожен рівень схеми складається з набору елементів (по горизонталі) процесів, явищ, методів тощо. Ці елементи кожного рівня (підрівня) системно пов'язані один з одним, і за традиційного підходу кожен з них вивчається у відповідному навчальному курсі (молекулярної біології, біофізики, генетики, імунології тощо) незалежно від іншого рівня. Тому системні зв'язки між різними рівнями схеми виявляються слабкими. У кращому випадку з використанням якісної методики навчання, вивчаються взаємозв'язки між елементами одного рівня (по горизонталі на Рисунок 4). Розроблена нами методика передбачає інший підхід:

- вивчення вертикальних зв'язків між елементами різних рівнів системи знань;
- вивчення горизонтальних зв'язків (як і в традиційній методиці) кожного рівня, але через загальні зв'язки не тільки різних елементів одного рівня (по горизонталі), а і з елементами вищого рівня системи (по вертикалі), аж до медико-генетичного.

Займаючи в цій системі своє певне місце, кожен її елемент перебуває в оточенні інших, пов'язаних з ним елементів (через горизонтальні і вертикальні зв'язки). У процесі навчальної діяльності під час аналізу даного елемента з необхідністю через системні зв'язки аналізується і «оточення» – елементи знань по вертикалі і горизонталі. Студент починає розуміти, що опанування фундаментальними знаннями природничих наук є необхідним фактором створення цілісної картини функціонування організму в нормі та патології. А такі системні знання є необхідною умовою формування компетентностей сучасного лікаря.

Прикладом практичного впровадження в навчальний процес вказаного підходу є наша власна розробка факультативного спецкурсу «Молекулярно-біофізичні та біоінформаційні основи ДНК-технологій». Виклад тільки змістовної частини курсу (без деталей, які відповідають сучасному формату Силабусу) та рівнів у системі знань додаються (Таблиця 2).

Таблиця 2

Перелік тем факультативного курсу «Молекулярно-біофізичні та біоінформаційні основи ДНК-технологій» та рівнів у системі знань

Рівень системи знань (Рисунок 4)	Назва теми лекції або семінару	Зміст теми
I	Предмет та задачі молекулярної біофізики	Принципи структурної організації основних типів біополімерів (білки, полісахариди, нуклеїнові кислоти)
I, II	Структура і функції нуклеїнових кислот (ДНК, РНК)	Роль фізичних сил в організації вторинної та третинної конформації ДНК. Типи міжмолекулярних взаємодій ДНК з лігандами. Регуляція генної експресії
I, II	Фізичні аспекти організації генетичного коду	Принципи кодування генетичної інформації. Поняття про цінність біологічної інформації. Інформаційний підхід в теорії біологічної еволюції. Роль мутацій в еволюції біологічних систем
I, II	Визначення нуклеотидної послідовності ДНК	Гель-електрофорез розчинів нуклеїнових кислот. Методи секвенування ДНК (Сенгера, Максама-Гілберта). Інформаційний аналіз генетичних текстів. Використання штучного інтелекту для аналізу генетичних текстів
I, II, III	Фізико-хімічні методи дослідження ДНК	Відкриття полімеразної ланцюгової реакції. Методи генної «дактилоскопії»
II, III	Методи комп'ютерного моделювання в молекулярній біофізиці та фармакології	Математичні моделі та їх використання в медицині. Впровадження комп'ютерного моделювання для вивчення механізмів

		молекулярних взаємодій в фармакології
III	Методи біоінформатики у молекулярній генетиці та генній терапії.	Медико-біологічне значення проєкту «Геном людини». Впровадження методів біоінформатики та технологій штучного інтелекту для зберігання та аналізу генетичних текстів. Автоматизація методів роботи з базами даних генетичних текстів

Складено автором особисто

ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1) У результаті аналізу змісту принципу системності навчання в контексті системності наукових досліджень складних систем (у першу чергу біологічних) створена методична база для формування цілісної системи знань з молекулярної біофізики ДНК.

2) Враховуючи результати проведеного аналізу використання принципу системності для рішення завдань медицини та біологічної фізики розроблено структурно-логічні схеми знань, тестових завдань, комп'ютерних програм та відео-додатків для (а) міждисциплінарної інтеграції знань з молекулярної біофізики ДНК та медичної генетики і біоінформатики, а також для (б) пропедевтики у формуванні основ клінічного мислення, починаючи з пропедевтики на етапі вивчення науково-природничих дисциплін студентами перших курсів медичних закладів вищої освіти.

3) Проведена апробація факультативного курсу «Молекулярно-біофізичні та біоінформаційні принципи ДНК-технологій» як міждисциплінарного додаткового елементу до основного циклу науково-природничих дисциплін у медичних закладів вищої освіти.

На основі результатів проведеного дослідження планується продовження розроблення методичного забезпечення для вивчення молекулярної біофізики ДНК студентами медичних закладів вищої освіти, зокрема у вигляді контенту для інтернет-мереж (Єгоренков, 2024, 2025). Також планується адаптація та впровадження даного факультативного курсу як додаткового навчального елементу до сучасних спеціальностей у медичних закладів вищої освіти (наприклад, спеціальність «Біоінженерія та біотехнології» для вищої фармацевтичної освіти).

Список використаної літератури

1. Гончаренко С. У., Єгоренков А. І. Використання принципу системності для створення проблемних ситуацій під час вивчення біофізики у медичному університеті. *Методологічні, дидактичні та психологічні аспекти проблемного навчання фізики*. Донецьк. ДонДУ, 1996. С. 103–104.
2. Єгоренков А. І. Етичний аспект медико-біологічної освіти. *Неперервна професійна освіта: теорія і практика*. 2005. № 1. С. 98–106.
3. Єгоренков А. Відкриття структури ДНК (відео-файл). 26.05.2024. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=0AOLSaGPM4&t=15s> (дата звернення: 03.05.2025).
4. Єгоренков А. Генетичний код (відео-файл). 14.05.2025. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=KmoThvGMg8&t=358s> (дата звернення: 03.05.2025).
5. Кремень В. Г. (Ред.). *Енциклопедія освіти*. Київ: Юрінком Інтер. 2021. 1144 с.
6. Максименко С. Д. Теорія поетапного формування розумових дій П. Я. Гальперіна. *Збірник наукових праць «Проблеми сучасної психології»*. 2018. № 39. С. 7–18. DOI: <https://doi.org/10.32626/2227-6246.2018-39.7-18>
7. Мінцер О. П., Бабінцева Л. Ю., Заліський В. М., Попова М. А., Надутенко М. В., Харченко Н. В., Ладичук О. К. Теоретичні підходи до створення системної біомедицини. *Медична інформатика та інжиніринг*. 2021. № 4. С. 16–72. DOI: <https://doi.org/10.11603/mie.1996-1960.2020.4.11889>
8. Сиволоб А. В. *Фізика ДНК: навчальний посібник*. Київ: КНУ імені Тараса Шевченка, 2011. 335 с. URL: https://biomed.knu.ua/images/stories/Kafedry/Genetika/Biblioteka/Fizika_DNA_site/DNA_physics_sivolob.pdf (дата звернення: 03.05.2025).
9. Стратегія розвитку медичної освіти в Україні. Постанова Кабінету Міністрів України від 27 лютого 2019 р, № 95-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/95-2019-%D1%80#n8> (дата звернення: 01.05.2025).

10. Тадеуш О. Принципи інноваційної освіти крізь призму системного підходу. *Неперервна професійна освіта: теорія і практика*. 2022. № 1. С. 61–67. DOI: <https://doi.org/10.28925/1609-8595.2022.1.6>
11. Шабанова Ю. О. Системний підхід у вищій школі. Підручник для студентів магістратури за спеціальністю «Педагогіка вищої школи». Дніпропетровськ: НГУ, 2014. 120 с. URL: <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/108578> (дата звернення: 01.05.2025).
12. Шевченко В. Г., Муравйов П. Т., Колодій В. В., Бородай І. Є. Системне формування і розвиток клінічного мислення студентів за допомогою проблемних методів навчання. *Медицина освіти*. 2023. № 2. С. 103–107. DOI: <https://doi.org/10.11603/m.2414-5998.2023.2.13671>
13. Bertalanffy L. The History and Status of General Systems Theory. *The Academy of Management Journal*. 1972. Vol. 15. № 4. P. 407–426. URL: <https://journals.aom.org/doi/abs/10.5465/255139> (дата звернення: 03.05.2025).
14. Bulavin L. A., Zabashta Yu. F. The Advanced Concept of Medical Physics Specialization. *Біомедична інженерія та медична фізика*. 2016. № 1. С. 48–51.
15. Brovarets O. O., Oliynyk T. A., Hovorun D. M. Novel conformers of the G-C DNA base pair and their mutual interconversions via the proton transfer: A quantum-mechanical study. *European Biophysics Journal*. 2019. № 48 (supplement 1). P. 90. <https://doi.org/10.1007/s00249-019-01373-4>
16. Gonzalez L. F. M., Viera G. Q. Instructional Design in Online Education: a Systematic Approach. *European Journal of Education*. 2019. V. 2 (3). P. 43–52. DOI: <https://doi.org/10.26417/ejed.v2i3.p64-73>
17. Rekvig O. P. The greatest contribution to medical science is the transformation from studying symptoms to studying their causes – the unrelenting legacy of Robert Koch and Louis Pasteur – and a causality perspective to approach a definition of SLE. *Frontiers in Immunology*. 2024. Vol. 15. DOI: <https://doi.org/10.3389/fimmu.2024.1346619>
18. Shea G. K. H., Chan P. C. Clinical Reasoning in Medical Education: A Primer for Medical Students. *Teaching and Learning in Medicine*. 2023. № 36 (4). P. 547–555. DOI: <https://doi.org/10.1080/10401334.2023.2230201>
19. Zhumabekova R., Sydykova Z., Serik E., Baimakhanova A. Principles of teaching medical biophysics as a major subject. *Scientific Herald of Uzhhorod University. Series "Physics"*. 2024. № 55. P. 577–585. DOI: <https://doi.org/10.54919/physics/55.2024.57pr7>

References

- Goncharenko, S. U. (2008). Fundamentalna profesijna osvita jak dydaktychnyj pryncyp [Fundamentalization of professional education as a didactic principle]. *Teorija i praktyka upravlinnja social'nymy systemamy: filosofija, psykholohija, pedagoghika, sociologhija*, 2, 87–91. <https://core.ac.uk/download/pdf/159118718.pdf>
- Goncharenko, S. U., Yehorenkov, A. I. (1996). Vykorystannja pryncypu systemnosti dlja stvorennja problemnykh situacij pid chas vyvchennja biofizyky u medychnomu universyteti [Using the principle of systematicity to create problem situations when studying biophysics at a medical university]. *Metodologhychni, dydaktychni ta psykholohychni aspekty problemnogho navchannja fizyky* (pp. 103–104). DonDU.
- Yehorenkov, A. I. (2005). Etychnyj aspekt medyko-biologhichnoji osvity [Ethical aspect of biomedical education]. *Continuing Professional Education: Theory and Practice*, 1, 98–106.
- Yehorenkov, A. (26.04.2024). Vidkryttja struktury DNK (video-fajl) [Discovery of the structure of DNA (video file)]. <https://www.youtube.com/watch?v=0AOLSaGPM4&t=15s>
- Yehorenkov, A. (14.05.2025). Ghenetychnyj kod (video-fajl) [Genetic code (video file)], <https://www.youtube.com/watch?v=KmoThvGMg8&t=358s>
- Kremen, V. (Ed.) (2021). *Encyklopedija osvity [Encyclopedia of Education]*. Jurinkom Inter.
- Maksymenko, S. D. (2018). Teorija poetapnogho formuvannja rozumovykh dij P. Ja. Ghaljperina [P. Y. Halperin's theory of a stage-by-stage formation of mental actions]. *Problems of Modern Psychology*, 39, 7–18. <https://doi.org/10.32626/2227-6246.2018-39.7-18>
- Mintser, O. P., Babintseva, L. Y., Zaliskyi, V. M., Popova, M. A., Nadutenko, M. V., Kharchenko, N. V., & Ladychuk, O. K. (2021). Teoretychni pidkhody do stvorennja systemnoji biomedycyny [Theoretical approaches to the creation of systemic biomedicine]. *Medical Informatics and Engineering*, 4, 16–72. <https://doi.org/10.11603/mie.1996-1960.2020.4.11889>
- Syvlob, A. V. (2011). *Fizyka DNK. Navchalnyj posibnyk. [Physics of DNA. Textbook]*. Taras Shevchenko National University of Kyiv.
- Strateghija rozvitku medychnoji osvity v Ukraini. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 27 ljutogho 2019, № 95-p.* [Strategy for the development of medical education in Ukraine. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated February 27, 2019, No. 95-r]. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/95-2019-%D1%80#n8>
- Tadeush, O. (2022). Pryncypy innovacijnoji osvity kruzj pryzmu systemnogho pidkhodu [Principles of innovative education through the prism of a systems approach]. *Continuing Professional Education: Theory and Practice*, 1, 61–67. <https://doi.org/10.28925/1609-8595.2022.1.6>
- Shabanova, Ju. O. (2014). *Systemnyj pidkhid u vyshnij shkoli. Pidruchnik dlya studentiv magistraturi za specialnistyu «Pedagogika vishoyi shkoli» [A systems approach in higher education. Textbook for master's students majoring in "Higher School Pedagogy"]*. NGU. <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/108578>
- Shevchenko, V. H., Muraviov, P. T., Kolodiy, V. V., & Borodaiev, I. Y. (2023). Systemne formuvannja i rozvytok klinichnogho myslennja studentiv za dopomoghoju problemnykh metodiv navchannja [Systematic formation and development of

- clinical thinking of students with the help of problem teaching methods]. *Medical Education*, 2, 103–107. <https://doi.org/10.11603/m.2414-5998.2023.2.13671>
- Bertalanffy, L. (1972). The History and Status of General Systems Theory. *The Academy of Management Journal*, 15 (4), 407–426. <https://journals.aom.org/doi/abs/10.5465/255139>
- Bulavin, L. A., Zabashta, Yu. F. (2016). The Advanced Concept of Medical Physics Specialization. *Biomedychna inzhenerija ta medychna fizyka*, 1, 79, 48–49.
- Brovaret, O. O., Oliynyk, T. A., Hovorun, D. M. (2019). Novel conformers of the G·C DNA base pair and their mutual interconversions via the proton transfer: A quantum-mechanical study. *European Biophysics Journal*, 48 (supplement 1), 90. <https://doi.org/10.1007/s00249-019-01373-4>
- Gonzalez, L. F., Viera, G. Q. (2019). Instructional Design in Online Education: a Systematic Approach. *European Journal of Education*, 2 (3), 43–52. <https://doi.org/10.26417/ejed.v2i3.p64-73>
- Rekvig, O. P. (2024). The greatest contribution to medical science is the transformation from studying symptoms to studying their causes – the unrelenting legacy of Robert Koch and Louis Pasteur – and a causality perspective to approach a definition of SLE. *Frontiers in Immunology*, 15. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2024.1346619>
- Shea, G. K. H., Chan, P. C. (2023). Clinical Reasoning in Medical Education: A Primer for Medical Students. *Teaching and Learning in Medicine*, 36 (4), 547–555. <https://doi.org/10.1080/10401334.2023.2230201>
- Zhumabekova, R., Sydykova, Z., Serik, E., Baimakhanova, A. (2024). Principles of teaching medical biophysics as a major subject. *Scientific Herald of Uzhhorod University. Series “Physics”*, 55, 577–585. <https://doi.org/10.54919/physics/55.2024.57pr7>

Стаття надійшла до редакції 5.05.2025

Прийнято до друку 19.06.2025

SYSTEMIC APPROACH TO TEACHING BIOPHYSICS TO STUDENTS OF MEDICAL INSTITUTIONS OF HIGHER EDUCATION

Anatolii Yehorenkov

<https://orcid.org/0000-0003-1625-2344>

PhD in Pedagogical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Medical
and Biological Physics and Informatics,
O. O. Bogomolets National Medical University,
34 Beresteiskii Avenue, 01601, Kyiv, Ukraine
altaikiev1@gmail.com

The theoretical part of the study analyzes the content of the principle of systematicity as a method of scientific research of complex systems, on the one hand, and as a principle of learning in combination with other didactic principles, on the other hand. The article highlights the possibilities of a systematic approach in scientific research and the systematic principle of learning for the implementation of the tasks of the Strategy for the Development of Medical Education in Ukraine in order to form the competencies of future doctors. The methodology of the systemic approach is analyzed using the example of various areas of modern biomedical science and medical and biophysical research. The methodology of using systemic analysis in education is demonstrated using the example of studying scientific and natural disciplines (primarily medical and biological physics) in medical institutions of higher education. In the practical part of the study, an elective course based on a systemic approach to studying of molecular DNA biophysics by students has been developed and implemented. The structural and logical scheme of knowledge of this course «Molecular-biophysical and bioinformatics principles of DNA technologies» is described, in which, based on a systemic approach, fundamental knowledge of molecular biophysics is combined with biomedical knowledge. Taking into account the results of the analysis of the use of the principle of systematization for solving problems in medicine and biological physics, structural-logical knowledge schemes, test tasks, computer programs, and video applications have been developed to support interdisciplinary integration of knowledge in molecular biophysics of DNA, medical genetics, and bioinformatics, as well as for propaedeutics in the formation of the foundations of clinical thinking.

Key words: medical and biological physics, medical education, methods of systems analysis, molecular biophysics of DNA, physician competence, principle of systematicity, principles of teaching.