

УДК 378.14.016:615.11

**ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ ЗНАНЬ ПРО УЛЬТРАЗВУК У
СТУДЕНТІВ ВИЩИХ МЕДИЧНИХ ЗАКЛАДІВ**

Світлана СТАДНІЧЕНКО (м. Дніпропетровськ)

Постановка проблеми. Інноваційні процеси у вищій освіті вимагають підвищення якості практико-орієнтованих знань. Для сучасної методики навчання особливого значення набувають проблеми оновлення навчального матеріалу, ущільнення і структурування його змісту, інтеграція та систематизація знань. Сьогодні на заняттях з природничих предметів у вищих медичних закладах необхідно при мінімальній кількості навчальних годин подати достатній обсяг інформації з гарантією високої якості та цілісності засвоєння навчального матеріалу, його відповідності сучасним досягненням науки. Як приклад реалізації окреслених вимог ми пропонуємо розглянути вивчення ультразвуку.

Аналіз актуальних досліджень. Тема «Ультразвук та його застосування у медицині» розглядається у працях О.В. Чалого, Я.В. Цехмістєрова, Б.Т. Агапова, Н.В. Стучинської, В.О. Тіманюка, О.М. Животової, О.М. Ремізова, В.Г. Лещенка, Г.К. Ілліча, Л.Ф. Ємчик та ін., проте зазначених робіт стосуються переважно змістового компоненту навчального процесу. Питанням удосконалення методики навчання присвячені дослідження В.П. Вовкотруба, М.І. Садового, О.М. Трифоноваї та ін. [5]. Однак належної уваги методиці викладання зазначеного матеріалу в курсі біофізики приділено не було.

Метою статті стало визначення ефективних методичних прийомів формування системних знань студентів з теми «Ультразвук» для реалізації якісної фахової підготовки майбутніх лікарів у вищих медичних закладах.

Виклад основного матеріалу. Проаналізувавши структуру підручників з біофізики [1-4; 6-8], ми прийшли до висновку, що в них ґрунтовно викладено фізичне трактування понять теми, принципів ультразвукової діагностики та

способів одержання, проте практичне застосування знань та новітні досягнення медичної науки висвітлюються недостатньо і мають переважно ознайомлювальний характер.

Логіка вивчення кожного навчального предмету передбачає послідовне формування в студентів певної системи знань і способів дій із ними. Така система знань складається на основі встановлення внутріпредметних та міжпредметних зв'язків, що дозволяє студентам глибше і міцніше засвоювати навчальний матеріал, а викладачам планувати аудиторну та позааудиторну діяльність.

У розробленій методиці навчання ми пропонуємо таку послідовність викладення навчального матеріалу:

1. Означення ультразвуку (УЗ). 2. Способи генерації ультразвуку. 3. Особливості поширення і властивості ультразвуку, що використовуються в медицині. 4. Ефекти впливу ультразвуку. 5. Дія ультразвуку на біологічні тканини. 6. Ультразвукова терапія і хірургія. 7. Фізичні принципи ультразвукової діагностики. 8. Діагностика на основі ефекту Доплера.

Для кращого запам'ятовування означення УЗ доцільно подати акустичну шкалу у вигляді таблиці чи променя, див. рис. 1.

Ультразвук – це механічна хвиля з частотою $\nu > 20$ кГц. Верхньою межею ультразвукової частоти можна вважати $10^9 - 10^{10}$ Гц.

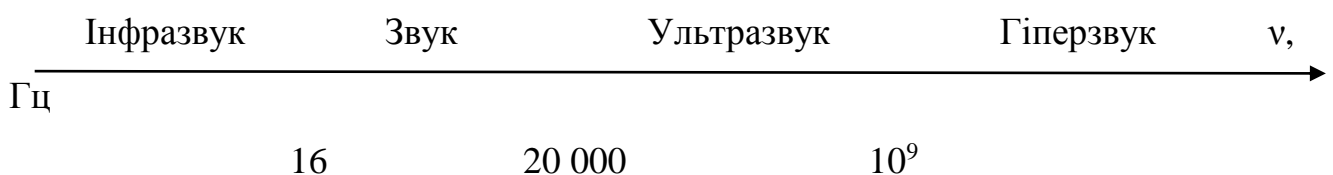


Рис. 1. Акустична шкала

На практиці ми пересвідчилися в ефективності прийому порівняння діапазонів довжин хвиль і частот коливань, співвідношень довжин хвиль і розмірів перешкод. Ультразвук має малу довжину хвилі (у повітрі – 0,3 – 1,6 мкм, в рідинах – 1,2 – 6 мкм, в твердих тілах – 4 – 20 мкм), що пояснює застосування його в медицині:

1) спрямоване випромінювання і фокусування;

- 2) потужне значення інтенсивності при малих амплітудах коливань;
- 3) можливість візуалізації поширення хвиль.

Основою генерації ультразвуку є:

- 1) зворотний п'єзоелектричний ефект;
- 2) явище магнітострикції;
- 3) явище електрострикції.

Більш докладніше розглядаємо зворотний п'єзоелектричний ефект, інші способи отримання УЗ пропонуємо для самостійного ознайомлення.

Бажано дати студентам уявлення про ультразвукові випромінювачі, див. рис. 2, що базуються на зворотному п'єзоелектричному ефекті: під дією змінного електричного поля виникає механічна деформація тіл, яка пропорційна напрузі. При подачі на електроди (2) змінної напруги від генератора (3) пластина (1) з кварцу (сегнетової солі, керамічного матеріалу на основі титанату барію) починає вібрувати, випромінюючи механічну хвилю з відповідною частотою [8, с. 125].



Рис. 2. Схема роботи ультразвукового випромінювача

У приймачах ультразвуку використовується прямий п'єзо ефект: виникнення різниці потенціалів на гранях п'єзокристалу при його деформації. Під дією УЗ хвилі виникає деформація пластини, яка призводить до генерації змінного електричного поля і появи змінної напруги на електродах. Це електрична напруга може бути виміряна реєструючою системою.

При поясненні особливостей поширення і властивостей ультразвуку доцільно звернути увагу студентів на таких аспектах:

1. У однорідному середовищі ультразвук розповсюджується прямолінійно з однаковою швидкістю і має малу довжину хвилі.

Слід зазначити, що співвідношення довжини хвилі (λ) і лінійних розмірів перешкоди (δ) визначає поведінку ультразвуку: якщо δ порівняний

з λ , то спостерігається явище дифракції (огинання хвилею перешкоди). Мінімальний розмір перешкоди, зображення якого може бути отримано за допомогою ультразвуку такої частоти при УЗД, становить близько 1,5 мм.

$$\lambda = \frac{v}{\nu} = \frac{1500 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{10^6 \text{ Гц}} = 1,5 \text{ мм, якщо } \nu = 1 \text{ МГц} .$$

Якщо $\delta \gg \lambda$, то виникає УЗ-тінь, тому в деяких випадках поширення УЗ-хвиль можна зображувати за допомогою променів і застосовувати до них закони відбивання і заломлення.

2. Під час проходження УЗ через речовину відбувається його поглинання з втратою енергії на нагрівання середовища.

Під час проходження УЗ через речовину його інтенсивність зменшується за експоненціальним законом:

$$I = I_0 e^{-\alpha d} ,$$

де I_0 – інтенсивність падаючої УЗ-хвилі; I – інтенсивність УЗ-хвилі, яка пройшла через речовину; d – товщина поглинаючого шару речовини; α – лінійний коефіцієнт послаблення.

Згасання УЗ-хвилі викликається двома процесами: розсіюванням енергії в тканинах (пов'язано з клітинної неоднорідністю органів) і її поглинанням (пов'язано з макромолекулярної структурою тканин). Зазначити, що значення коефіцієнта послаблення (або згасання) – важлива діагностична ознака.

Для характеристики цього процесу використовують поняття «глибина проникнення» – відстань до поверхні, на якій інтенсивність УЗ-хвилі зменшується в e раз. На частоті 880 кГц глибина проникнення УЗ-хвилі в м'язову тканину становить близько 5 см, в жирому – близько 10 см, в кісткову – близько 0,3 см. На основі порівняння вказується, що поглинання в рідкому середовищі значно менше, ніж у кістковій тканині.

Поглинання ультразвуку речовиною супроводжується переходом механічної енергії у внутрішню енергію речовини, що веде до її нагрівання.

Професійна значущість знань про поглинання УЗ полягає у поясненні

«тіньового» методу дослідження. Реєстрація інтенсивності УЗ-хвилі, що пройшла через тканини і органи з різними коефіцієнтами згасання, дає можливість визначати їх розміщення і розміри.

3. При проходженні УЗ-хвилі через межу розділу середовищ з різними хвильовими опорами відбувається її заломлення, відбивання і поглинання.

Заломлення полягає у зміні напрямку УЗ-променя.

При вивченні властивостей УЗ зазначаємо, що коефіцієнт відбивання УЗ-хвиль від межі поділу двох середовищ при нормальному падінні дорівнює відношенню інтенсивності відбитої хвилі до інтенсивності падаючої хвилі й залежить від значень акустичного імпедансу цих середовищ:

$$R = \frac{I_{\text{отр}}}{I_{\text{пад}}} = \left(\frac{x_1 - x_2}{x_1 + x_2} \right)^2, \text{ де } x = \rho v - \text{ хвильовий (акустичний) опір.}$$

Через значну різницю густини повітря і твердих тіл, різницю в швидкостях поширення УЗ в цих середовищах на межі твердого тіла з повітрям відбувається відображення УЗ-хвилі. Щоб уникнути повітряного шару, поверхню УЗ-випромінювачів покривають шаром масла або гелю. Мاستило відіграє роль перехідного середовища, що зменшує відбивання, і повинне мати акустичний опір, близький до акустичного опору шкіри, володіти малим коефіцієнтом поглинання УЗ та ін.

Явище відбивання ультразвуку від межі розділу середовищ є основою ехолокації – методу локалізації неоднорідностей в середовищах. Методи УЗД базуються на відображенні УЗ-хвиль від зовнішніх і внутрішніх поверхонь різних органів людини.

4. При потужних значеннях інтенсивності УЗ переважає його руйнівна дія, при невеликих – УЗ покращує обмін речовин.

УЗ-волна с малою інтенсивністю $I \leq 1 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}$, $\nu = 800 \text{ кГц}$ використовується

для терапевтичного впливу, в основі якого лежить прискорення фізіологічних процесів у клітинах. Ультразвукова фізіотерапія дозволяє зменшити набряк і запалення, зняти больові відчуття, транспортувати лікарські препарати

всередину тканин (фонофорез) та ін.

Ультразвук обумовлює інтенсивний коливальний рух частинок рідини. При збільшенні інтенсивності ультразвуку на кілька порядків (до $I = 10^6 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}$ і вище) внутрішній рух окремих частин клітин посилюються, виникає явище кавітації і, як наслідок, необоротні зміни структури і функцій клітин.

Під час вивчення явища кавітації як стиснення і розрідження частинок середовища, що призводять до утворення розривів її суцільності (при $I \geq 0,3 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}$), зазначаємо, що при кавітації відбувається виділення енергії і нагрівання рідини. Кавітація і явища, що нею викликаються, є основним фізико-хімічним механізмом терапевтичної дії при низьких інтенсивностях УЗ і джерелом руйнівної дії – при високих.

При відборі матеріалу слід враховувати його значущість для фахової підготовки лікарів, тому під час вивчення ультразвуку звертаємо увагу студентів, що енергія, що вивільняється при кавітації, може виконувати механічну роботу. Наприклад, в стоматології: відрив частинок нальоту або зубного каменю з поверхні зуба, шліфування та полірування емалі; у фармації: диспергування (дроблення) твердих речовин, поміщених в рідину, з отриманням їх емульсій, суспензій, лікарських аерозолів.

Висока частота УЗ-хвилі відповідає потужним значенням інтенсивності ультразвуку. У розробленій методиці навчання теми ми пропонуємо акцентувати увагу студентів на взаємозв'язок фізичних величин: залежність інтенсивності ультразвуку від амплітуди та частоти.

$$I = \frac{\rho A^2 \omega^2}{2} v, I \sim v^2 (\omega = 2\pi v); v = 10^7 - 10^9 \text{ Гц, тоді } I \sim 10^{14} - 10^{18} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

При наведенні прикладів застосування УЗ-хвиль із значною інтенсивністю у медицині слід зазначити студентам про самостійне розширення і поглиблення знань, див. табл. 1: 1) в хірургії для руйнування злоякісних

пухлин, розрізання м'яких і кісткових тканин (УЗ-скальпель), зварювання кісток (УЗ-остеосинтез); 2) у фармації для прискорення деяких хімічних реакцій, руйнування оболонки рослинних і тваринних клітин і одержання з них біологічно активних речовин (ферменти, токсини, вітаміни та ін.); для приготування різного роду суспензій, емульсій, аерозолів, кремів, вакцин; 3) в офтальмології: приварювання сітківки, видалення кришталика ока; 4) в урології: літотрипсія – методика руйнування камінців у нирках і жовчному міхурі за допомогою спрямованої дії УЗ-хвиль великої інтенсивності. Згубна дія УЗ на мікроорганізми використовується для стерилізації різних середовищ.

Таблиця 1

Приклади застосування УЗ-хвиль

Область застосування ультразвука	Фізичні явища, що лежать в основі цього застосування
Ультразвукова діагностика	<ul style="list-style-type: none"> • відображення УЗ від межі розділу двох середовищ; • зміна швидкості і поглинання УЗ у різних тканинах і органах; • УЗ - ефект Доплера
Ультразвукова терапія і хірургія	<ul style="list-style-type: none"> • поглинання УЗ тканинами і органами; • перетворення механічної енергії УЗ-хвилі в теплову; • УЗ-коливання хірургічного інструменту (скальпелі, пилки, голки).

При розгляді ефектів впливу ультразвуку ми виокремлюємо: ефекти впливу ультразвуку на клітину: 1) мікровібрації на клітинному і субклітинному рівні; 2) руйнування і збудження макромолекул; 3) перебудова і пошкодження мембран, що призводить до зміни їх проникності; 4) поліпшення обмінних процесів; 5) руйнування клітин і мікроорганізмів; 6) виділення тепла; 7) утворення хімічно високоактивних іонів і вільних радикалів; та *ефекти впливу ультразвуку на речовину*: 1) перемішування шарів рідини і газоподібного середовища, обумовлене явищем кавітації, що призводить до виділення тепла; 2) активізація хімічних реакцій; 3) проходження ультразвуку через речовину може супроводжуватися люмінесценцією; 4) фонофорез – введення лікарських речовин під дією ультразвуку, внаслідок зміни проникності мембран.

Для ознайомлення студентів з тепловою дією УЗ ми пропонуємо лабораторну роботу «Вивчення апарату для УЗ-терапії», яка розроблена

співробітниками кафедри медико-біологічної фізики і інформатики ДМА. До завдань лабораторної роботи входить 1) вивчення вихідних фізичних характеристик УЗ апарату у безперервному та імпульсному режимі роботи за допомогою осцилографа; 2) дослідження фізіотерапевтичного ефекту впливу УЗ на речовину; 3) визначення ККД апарату УЗ-терапії; 4) побудова графіку залежності зміни температури від часу.

Необхідно пояснити, що теплова дія УЗ, пов'язана з поглинанням енергії ультразвукової хвилі, внаслідок взаємного тертя частинок викликає нагрівання м'язових і особливо кісткових тканин.

Механічна дія ультразвуку, обумовлена коливаннями частинок тканини, являє собою «мікромасаж» тканин. При цьому зміни взаємного просторового розташування клітинних структур призводять до їх перебудови, до змін у їх функціональному стані.

Фізико-хімічна дія ультразвуку є наслідком механічних і теплових ефектів. Основними біохімічними змінами є зміни інтенсивності та окислювально-відновних процесів, посилення процесів дифузії і розчинення, активізація ферментативних процесів та ін.

На комплексній дії механічних, теплових і фізико-хімічних факторів заснована біологічна дія УЗ. Ця дія визначається інтенсивністю УЗ-хвилі.

При дії ультразвуку виникають такі біологічні ефекти: 1) механічні (градієнти тиску, зсув середовища); 2) фізико-хімічні (прискорення проникнення мембран і швидкості біохімічних реакцій на основі збудження й іонізації атомів та молекул з утворенням радикалів); 3) термічні (виділення тепла в тканинах).

З діагностичною метою застосовують УЗ малої інтенсивності: діапазон частот от 1 до 20 МГц і інтенсивності $I = 0,001 \div 0,05 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}$, який не викликає ніяких патологічних змін у біологічних тканинах.

В ультразвуковій діагностиці застосовують три основних метода: ехографічний, тіньовий і доплеровський.

1. Ехографічний (локаційний) метод або А-режим (amplitude – амплітуда) УЗ-сканування заснований на використанні поодиноких імпульсів, які спрямовуються у досліджуваний об'єкт, і реєстрації часу їх повернення і амплітуди після відбивання від неоднорідностей досліджуваного об'єкту, див. рис. 3. Наприклад, 1) ехоенцефалографія – методика ультразвукового дослідження головного мозку, яка застосовується для діагностики його об'ємних уражень; 2) ехокардіографія – визначення положення і розмірів серця та ін.

Амплітуди зареєстрованих на екрані монітора сигналів пропорційні інтенсивності УЗ-хвиль, відбитих на межі розділу середовищ, і визначаються різницею в їх акустичних імпедансах і деяким поглинанням в середовищі.

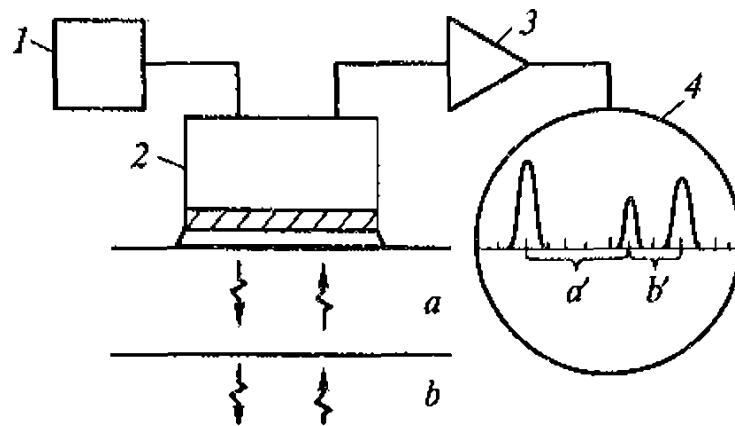


Рис. 3. Схема ехолокації в А-режимі

1 – генератор імпульсів; 2 – ехозонд; 3 – підсилювач; 4 – екран осцилографа; a і b – товщини шарів тканин; a' и b' – відповідні відстані між імпульсами на екрані.

М-режим (motion – рух) використовується при дослідженні рухомих об'єктів (скорочень різних відділів серця і рухів стулок його клапанів і т.д.). Цей метод є різновидом А-режиму. Промінь викреслює на екрані криву, відхилення якої відповідають формі і амплітуді рухів об'єкта дослідження. Наприклад, М-режим застосовується в ехокардіографії при дослідженні скорочень різних відділів серця і рухів стулок його клапанів.

2. Тіньовий метод (УЗ-томографія, або В-режим) заснований на реєстрації інтенсивності ультразвуку, що пройшов через досліджуваний об'єкт. При наявності всередині нього неоднорідностей з різними коефіцієнтами поглинання реєструючий зонд зафіксує «звукові тіні» цих неоднорідностей.

В-режим (brightness – яскравість) дозволяє отримувати тривимірне зображення внутрішніх структур людського тіла в певних площинах, що обираються для дослідження. УЗ-промінь переміщається (сканує) у певній площині, що проходить через досліджуваний орган. Відбиті від меж розділу морфологічних структур УЗ-хвилі перетворюються в електричні сигнали, подальше опрацювання яких дозволяє отримати на екрані монітора зображення органу в обраному перерізі. Ехо-сигнали, перетворені в електричні імпульси, викликають на екрані світіння точок різної яскравості. Чим більша інтенсивність ехо-сигналів, тим більш яскрава і широка пляма утворюється на екрані вимірювального приладу.

3. Діагностика на основі ефекту Доплера.

Еходоплерографія являє собою метод дослідження, заснований на відображенні ультразвукових хвиль. При цьому використовується ефект Доплера. Від джерела ультразвуку на судину спрямовується УЗ-хвиля з частотою $v_{дж}$. Сигнал відбивається від рухомих клітин крові, які стають ніби рухомим джерелом ультразвуку. В результаті між частотою хвиль зондуючого сигналу і ехо-сигналу виникає доплеровський зсув ($\Delta v = v_{дж} - v_{пр}$), величина якого залежить від швидкості плину крові в судині.

За доплеровськими сигналами визначають швидкість плину крові у різних ділянках перерізу судини, а за сигналами від еритроцитів – на якій відстані від стінки судини знаходяться еритроцити, що володіють тією чи іншою швидкістю. Це дозволяє вивчати динаміку плину крові в різних ділянках перерізу судини. Ультразвукова доплерівська кардіографія є методом оцінки серцевої діяльності.

Еходоплерографія може об'єднуватися з В-режимом сканування, в результаті чого на екрані приладу формується зображення судин або серця, на якому швидкість руху крові позначається умовними кольорами. Такий детальний опис методів дозволить студентам розпізнавати різновиди УЗД під екскурсії чи практики у медичному закладі.

Усі поширені підручники з біофізики [1-4; 6-8] потребують доповнень до

теми «Ультразвук»: 1. Фізичні основи ультразвукових доплерівських досліджень у медицині. Доплерівські медичні прилади і апарати. Випромінювачі (датчики) ультразвуку, їх будова. 2. Відбиття і проходження ультразвукових хвиль на межі поділу двох середовищ. Види відбиваючих структур в тканинах організму. Фізичні принципи роботи ультразвукових діагностичних приладів і апаратів. Методи ультразвукового сканування біооб'єктів. Отримання ультразвукових зображень органів і тканин (2D, 3D, 4D зображення).

З метою розширення й поглиблення знань ці питання виносимо на самостійне доопрацювання і розглядаємо на практичних заняттях чи засіданнях наукового гуртка.

Застосування ультразвуку в медицині займають значне місце в літературі, тому ми використовуємо прийоми часткової індивідуалізації навчання. Для самостійного опрацювання навчального матеріалу розробили методичне забезпечення у вигляді плану, тез, питань для самоконтролю. Звіт самостійної роботи студентів може бути оформлений у вигляді доповіді, реферату, мультимедійної презентації.

Одним з складних питань теми «Ультразвук» є ефект Доплера та його застосування в медицині. Пояснення на основі послідовності історичних фактів відкриттів викликає інтерес у студентів і прагнення пізнати більше. Після пояснення ефекту Доплера з фізичної точки зору варто відмітити, що на основі методу ультразвукової доплерографії та дуплексного сканування, можна не лише побачити судину, але й оцінити стан її стінок та прохідність, детально вивчити потужність і швидкість кровотоку, схильність судинного русла до спазму або розширення, помітити атеросклеротичні бляшки в артеріях, тромби тощо. За результатами дуплексного сканування лікар може діагностувати у пацієнта причину головного болю, запаморочення, шуму в голові та вухах, зниження пам'яті, гостроти зору, епілепсії тощо.

З метою формування умінь практичної діяльності пропонуємо завдання такого типу: 1. Дати обґрунтовані відповіді на питання: Чи можна фокусувати

ультразвукові і звукові хвилі? Чим відрізняється фармакотерапевтична дія одних і тих же ліків, що вводяться за допомогою ін'єкцій і фонофореза.

2. Скласти порівняльну характеристику датчиків ультразвукових приладів.

3. Завдання з елементами інформаційного пошуку: Чи залежить швидкість ультразвуку від температури?

4. Завдання на вивчення медичної апаратури: ознайомитися з принципом роботи апаратів УЗД.

Висновки. У межах нашого дослідження ми виходили з позицій необхідності формування системи знань про ультразвук та вироблення умінь усвідомленого застосування їх на практиці. При системному підході збільшується обсяг опрацьованого студентами матеріалу без втрат якості його засвоєння, формується їх здібність до самоосвіти та саморозвитку. Реалізація принципу зв'язку з практикою потребує належного відображення в демонстраційному та лабораторному експериментуванні. Відкритою залишається проблема моделювання явищ акустичних коливань за допомогою комп'ютерів. У цих напрямках варто продовжити **подальші дослідження.**

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Ємець Л.Ф. Основи біологічної фізики і медична апаратура / Ємець Л.Ф. – К.: ВСВ «Медицина», 2014. – 392 с.
2. Лещенко В.Г. Медицинская и биологическая физика: [учеб. пособие] / В.Г. Лещенко, Г.К. Ильич. – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2012. – 552 с.
3. Медична і біологічна фізика / [Чалий О.В., Агапов Б.Т., Цехмістер Я.В. та ін.]; під ред. О.В. Чалого. – К.: Книга плюс, 2005. – 760 с.
4. Ремизов А.Н. Медицинская и биологическая физика: [учеб. для вузов] / А.Н. Ремизов, А.Г. Максина, А.Я. Потапенко. – М.: Дрофа, 2010. – 558 с.
5. Садовий М.І. Вибрані питання загальної методики навчання фізики: [навч. посібн. для студ. ф.-м. фак. вищ. пед. навч. закл.] / Садовий М.І., Вовкотруб В.П., Трифонова О.М. – Кіровоград: ПП «Центр оперативної поліграфії «Авангард», 2013. – 252 с.
6. Стучинська Н.В. Принципи наступності при вивченні фізико-математичних дисциплін майбутніми лікарями та фармацевтами / Н.В. Стучинська // Наукові записки. – Кіровоград, 2008. – Вип. 77, Ч. 2. – С. 104-109.
7. Тиманюк В.А. Биофизика / В.А. Тиманюк, О.М. Животова. – К.: ИД «Профессионал», 2004. – 704 с.

8. Федорова В.Н. Краткий курс медицинской и биологической физики с элементами реабилитологии. Лекции и семинары: [учебное пособие] / В.Н. Федорова, Л.А. Степанова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 624 с.

Стадніченко Світлана Миколаївна – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри медичної біофізики та інформатики Дніпропетровської медичної академії.

Коло наукових інтересів: методика навчання біофізики.