Колективна монографія

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ СУЧАСНОЇ ФІЗИКИ ТА МЕТОДИКИ НАВЧАННЯ ФІЗИКИ

Авторський колектив:
Білюк А.І., Кравчук Н.С., Думенко В.П., Мозговий О.В., Заболотний В.Ф., Мисліцька Н.А., Сільвейстр А.М., Моклюк М.О.

Вінниця
«ТВОРИ»
2021

УДК 53+[37.016:53]
А43

DOI:https://doi.org/10.31652/53+[37.016:53] -1-228

Рецензенти:
Денисик Г.І., академік Академії наук вищої освіти України, доктор географічних наук, професор кафедри географії Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського, заслужений діяч науки і техніки України;
Матяш О.І., доктор педагогічних наук, професор кафедри алгебри і методики навчання математики Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського.

Розглянуто і схвалено на засіданні навчально-методичної комісії факультету математики, фізики і комп'ютерних наук
(протокол № 9 від 18 червня 2020 року)
Рекомендовано до друку вченою радою факультету математики, фізики і комп'ютерних наук Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського
(протокол № 2 від 16 вересня 2020 року)

Актуальні проблеми сучасної фізики та методики навчання фізики: колективна монографія / за ред. В.Ф. Заболотного. Вінниця, ТОВ «ТВОРИ», 2021. 228 с.

Авторський колектив:
Білюк А.І., Кравчук Н.С., Думенко В.П., Мозговий О.В.,
Заболотний В.Ф., Мисліцька Н.А., Сільвейстр А.М., Моклюк М.О.

ISBN 978-617-552-730-6

Монографія «Актуальні проблеми сучасної фізики та методики навчання фізики» є важливим кроком у розробці нових підходів до викладання фізики й астрономії. Вона пропонує ефективні рішення для вдосконалення освітнього процесу та розширення меж фізичних досліджень.
Монографія стане корисним ресурсом для науковців, викладачів, студентів та всіх, хто цікавиться сучасними проблемами фізики та освіти.

© А.І. Білюк, Н.С. Кравчук, В.П. Думенко,
О.В. Мозговий, В.Ф. Заболотний, Н.А. Мисліцька,
А.М. Сільвейстр, М.О. Моклюк, 2021

Зміст

Передмова 5
ЧАСТИНА 1. АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ СУЧАСНОЇ ФІЗИКИ ... 7
РОЗДІЛ 1. ВПЛИВ ТЕРМІЧНИХ ОБРОБОК НА ПРИРОДУ, МЕХАНІЗМИ І КІНЕТИКУ СТРУКТУРНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ В АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВАХ. Білюк А.І. 7
1.1. Фізична природа зміцнення матеріалів шляхом термоциклічних обробок 7
1.2. Температурна залежність внутрішнього тертя субструктурно зміцнених алюмінію і алюмінієвих сплавів 12
1.3. Вплив концентрації домішок на структурні зміни в дисперсійно-твердіючих сплавах на основі алюмінію 13
Висновки 23
Список використаних джерел 23
РОЗДІЛ 2. ФОРМУВАННЯ У СТУДЕНТІВ ОСНОВ ЗНАНЬ ПРО ПРИКЛАДНЕ ЗНАЧЕННЯ ФІЗИЧНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ. Думенко В.П. 27
Список використаних джерел 45
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ІМПЕДАНСУ МДН-ТРАНЗИСТОРІВ. Кравчук Н.С. 49
3.1. Дослідження реактивних властивостей МДН-структур 49
3.2. Експериментальні дослідження МДН–транзисторів 66
Список використаних джерел 79
РОЗДІЛ 4. РОЗСІЮВАННЯ МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ВОЛОКНИСТИМИ КОМПОЗИЦІЙНИМИ МАТЕРІАЛАМИ. Мозговий О.В. 83
4.1. Класифікація і використання композиційних матеріалів 83
4.2. Дослідження розсіювання механічної енергії волокнистими композиційними матеріалами 96
Висновки. 109
Список використаних джерел 111
ЧАСТИНА 2. АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ДИДАКТИКИ ФІЗИКИ 117
РОЗДІЛ 5. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ПОБУДОВИ МЕТОДИЧНОЇ СИСТЕМИ НАВЧАННЯ ЗАГАЛЬНОЇ ФІЗИКИ НА ОСНОВІ ПРОПЕДЕВТИЧНОГО ПІДХОДУ. Заболотний В.Ф., Мисліцька Н.А. 117
5.1. Теоретико-методологічне обґрунтування розробки методичної системи навчання загальної фізики з використанням методичної пропедевтики 117

5.2. Шляхи модернізації лекційної форми занять з загальної фізики 129
5.3. Методичний інструментарій викладача в системі проектування лекційних занять з використанням методичної пропедевтики 142
Список використаних джерел 155
РОЗДІЛ 6. ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ У ПІДГОТОВЦІ З ФІЗИКИ МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ ХІМІЇ І БІОЛОГІЇ. Сільвейстр А.М. .. 158
6.1. Роль фізичних методів дослідження у підготовці студентів хімічних і біологічних спеціальностей педагогічних університетів 158
6.2. Використання елементів курсу теоретичної фізики у підготовці майбутніх учителів хімії і біології 169
Список використаних джерел 181
РОЗДІЛ 7. ДОМАШНІЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ ЯК ЗАСІБ АКТИВІЗАЦІЇ ПІЗНАВАЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ УЧНІВ З ФІЗИКИ. Моклюк М.О. 184
7.1. Роль і місце домашніх навчальних експериментів під час вивчення фізики та умови їх проведення 184
7.2. Методичні особливості проведення домашніх експериментів та спостережень з фізики 191
7.3. Методика організації та проведення домашніх лабораторних робіт з фізики 197
7.4. Виготовлення саморобних приладів та методика їх використання під час проведення домашніх експериментів з фізики 203
7.5. Використання саморобного фізичного обладнання під час проведенні демонстраційного експерименту 207
7.6. Проведення лабораторних робіт з фізики з використанням саморобного обладнання 210
7.7. Виконання домашніх експериментів з використанням інформаційних технологій 212
Висновки 217
Список використаних джерел 218
Післямова 224

Передмова

Колективна монографія «Актуальні проблеми сучасної фізики та методики навчання фізики» є комплексним дослідженням, що спрямоване на розкриття новітніх підходів до використання інноваційних технологій у викладанні фізики, а також аналіз актуальних питань сучасної фізики.

Основна мета цього видання - узагальнення та систематизація знань, які сприятимуть підвищенню якості фізичної освіти, розвитку предметних компетентностей учителів фізики та дослідників, а також впровадженню сучасних методик навчання у практику освітньої діяльності.

Ця монографія адресована науково-педагогічним працівникам, викладачам фізики, здобувачам освіти педагогічних університетів, а також практикуючим учителям і методистам. Вона стане в нагоді всім, хто прагне вдосконалити свої знання про сучасні освітні технології та їх застосування у викладанні фізики й астрономії.

Монографія складається з двох основних частин. Перша частина присвячена дослідженню актуальних проблем сучасної фізики, таких як вплив термічних обробок на структурні перетворення в алюмінієвих сплавах, формування субструктурних матеріалів, а також фізичні аспекти новітніх досліджень. У другій частині аналізуються методики формування предметних компетентностей з фізики та прикладне значення фізичних методів дослідження. Зокрема, увага зосереджується на застосуванні хмарних технологій, мультимедійних додатків і інших інноваційних інструментів у навчальному процесі.

Новизна роботи полягає у вперше представленому системному підході до впровадження сучасних освітніх технологій у методичну підготовку вчителів фізики, а також у міждисциплінарному аналізі актуальних питань фізики, що мають значення для подальшого розвитку галузі.

Монографія розглядає такі ключові аспекти:

Використання термоциклічної обробки для покращення фізико-механічних властивостей матеріалів.

Роль фізичних методів дослідження у вирішенні прикладних завдань у медицині, техніці та промисловості.

Впровадження хмарноорієнтованих технологій у процес підготовки майбутніх учителів фізики.

Формування компетентностей, які дозволяють студентам розуміти прикладне значення фізики у міждисциплінарному контексті.

Монографія є не лише джерелом знань, але й практичним посібником для викладачів і дослідників. Результати, представлені у виданні, мають вагоме значення для вдосконалення освітніх програм, що дозволяє більш ефективно формувати компетенції майбутніх педагогів та сприяти їхній професійній підготовці. Крім того, практичні рекомендації, викладені у роботі, можуть бути використані для розробки нових підходів до організації навчального процесу.

Ця монографія є внеском у розвиток сучасної фізичної освіти та науки. Авторський колектив висловлює сподівання, що результати дослідження та рекомендації, викладені у книзі, сприятимуть подальшому розвитку педагогічної та наукової діяльності в галузі фізики, а також допоможуть освітянам ефективно застосовувати новітні технології у своїй роботі.

Автори вдячні всім, хто долучився до створення цього видання, зокрема рецензентам за їхню цінну оцінку та рекомендації, що сприяли покращенню роботи. Сподіваємося, що монографія стане корисним інструментом у професійній діяльності читачів та натхненням для подальших досліджень.

ЧАСТИНА 1. АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ СУЧАСНОЇ ФІЗИКИ

РОЗДІЛ 1. ВПЛИВ ТЕРМІЧНИХ ОБРОБОК НА ПРИРОДУ, МЕХАНІЗМИ І КІНЕТИКУ СТРУКТУРНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ В АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВАХ

Білюк А.І.,
кандидат фізико-математичних наук, доцент

Фактори, які впливають на кінетику процесу переходу матеріалу, що мають високу густину дислокацій, в метастабільний стан і на характер одержаної субструктури є температура і ступінь деформації, температура і тривалість полігонізаційного відпалу, параметри термоциклювання (ТЦО), поле зовнішніх навантажень (ПЗН) тощо [1, 2]. Застосування комбінованої обробки матеріалів [3] дозволяє здійснити перебудову дислокаційної структури в конфігурації типу границь полігонів і стінок комірок, що забезпечить необхідну термомеханічну стабільність зміцненого стану.

1.1. Фізична природа зміцнення матеріалів шляхом термоциклічних обробок

Зовнішні та внутрішні фактори [4] термоциклічної обробки матеріалів зумовлюють зміну їх структурного стану та фізико-механічних властивостей.

На відміну від стандартних методів термічної обробки (ТО) при ТЦО з'являються додаткові джерела дії на структуру, які властиві лише процесу неперервної зміни температури, головними з яких є фазові перетворення, градієнти температури, термічні (об'ємні) і міжфазні напруги (вони зумовлені різницею теплофізичних характеристик елементів, що складають структуру фаз). В деяких випадках можливе протікання всіх цих процесів одночасно, але можуть бути зведені до мінімуму чи відсутні деякі з них. Це залежить від фізичної природи матеріалу, режиму і призначення обробки. Можливі такі способи ТЦО: термоциклювання з повною або частковою фазовою перекристалізацією; термоциклювання в області змінної розчинності елементів один в одному, а також обробка в інтервалі температур дисперсійного твердіння [5].

Всі перераховані способи зв'язані з фазовими переходами 1-го роду, при яких ентальпія, ентропія і мікрооб'єм змінюються стрибкоподібно. В залежності від виду переміщення атомів через міжфазну межу і ступеня розвитку дифузійних процесів перетворення

бувають масивними, мартенситними, когерентними і нормальними. Всі фазові переходи зв'язані з прагненням системи до енергетично більш вигідного стану. При цьому процес дифузії атомів в залежності від природи матеріалу і його фізико-хімічних властивостей може іти по одному з вище згаданих механізмів.

При ТЦО не всі процеси, які властиві нагріванню слабко деформованих металів, протікають одночасно. Тобто в силу неперервності зміни температури можуть йти одні, гальмуватися другі і розвиватися треті. Якщо структурні складові матеріалу деформовані не сильно, як це має місце при ТЦО, то в напівциклі нагрівання можливе протікання первинної рекристалізації, а при менших температурах - і полігонізації [6]. Це веде до формування дрібнозернистої структури.

Авторами ряду праць [7,8] вивчено характер зміни структури і властивостей, форми і розмірів зразків із матеріалу на алюмінієвій основі. Показано, що це є наслідком виникнення внутрішніх напруг. Поряд із зовнішнім проявом дії циклів проходять і внутрішні, такі як подрібнення зерен і їх рухливість, утворення блочної субструктури тощо. Більш як в 10 разів проходить, наприклад, подрібнення зерна при термоциклюванні сплаву Al-40%Zn по режиму 473⇔630К [9]. Одночасно з цим росте і щільність дислокацій в алюмінієвій матриці. Подрібнення зерен в силуміні (~12%Si) супроводжується утворенням субструктури і розорієнтуванням субзерен при обробці по режиму 8⇔340^{0}С. Зерна кремнієвої фази залишаються без змін, а змінюється лише їх взаємне розміщення із-за деформації алюмінієвої матриці [10].

Термоциклювання холоднопрокатного алюмінію (99,999%Al) [11] в режимах 293⇔673К і 473⇔873К веде до рекристалізації, яка в міру наростання циклів припиняється і розвивається процес полігонізації. Відзначається, що причиною виникнення напруг в чистому алюмінії є градієнти температури, які утворюються при ТЦО масивних заготовок. Встановлено , що при відсутності градієнтів структура монокристалів алюмінію практично не змінюється.

Авторами [12] методами рентгеноструктурного аналізу і електронної мікроскопії досліджено формування структури і властивостей алюмінієвих сплавів (Д16, АК6, АК4-1) при високотемпературній ТЦО (ВТЦО). Показано, що після ВТЦО спостерігається розвинута полігональна внутрізеренна структура з кутом азимутальної розорієнтації на декілька градусів, яка зберігається після штамповки з наступною ТО (гартування і старіння).

ВТЦО заготовок приводить до зменшення анізотропії пластичних

властивостей штамповки. При цьому короблення деталей зменшується в 2-3 рази.

Вплив ВТЦО на порошковий силумін САС1-50 показав, що зміна розмірів деталей проходить в результаті дії орієнтованих напруг, що викликані в результаті мікропластичних деформацій, які переходять в макропластичні. Головні причини мікропластичної деформації - наявність орієнтованої зміцнюючої фази і розвиток процесів заліковування і утворення мікротріщин під дією міжфазних напруг. Разом з тим ВТЦО дозволяє на 20-40% Підвищити релаксаційну стійкість сплаву. Зміцнення сплаву проходить за рахунок збільшення щільності дислокацій і подрібнення кремнієвої фази. Старіння цього сплаву не приводить до значного зміцнення, а навпаки, може привести (при тривалому нагріванні) до коагуляції кремнієвої фази та інтерметалідів.

Таким чином, режими ТЦО розрізняються як за призначенням, так і за характером структурних перетворень, температурним діапазоном термоциклювання, а також наявністю додаткових дій. Головними завданнями технологічних режимів ТЦО є подрібнення мікроструктури і сфероідізація надлишкових фаз, підвищення (пониження) щільності дислокацій, проходження релаксаційних процесів, покращення фізико-механічних властивостей.

Експериментально встановлено, що зміна дисперсії пластичних деформацій і координатної частини кореляційної функції зв'язана з розвитком фазового наклепу, а зміна коваріаційної функції при нульовому значенні зсуву вказує на розвиток дифузійної релаксації напруг.

Координатна складова кореляційної функції, якщо знехтувати її періодичністю, добре підтверджується експериментом і має вигляд [13]:

$$f(r_o) = \exp\left(-(r_o / d)^{0.5n}\right), \qquad (1)$$

де d - середній розмір зерна, n - коефіцієнт, який характеризує ефективність ТЦО.

Середня напруга σ(n), яка приводить до пластичної деформації, буде характеризувати позитивний ефект ТЦО, якщо межа плинності $\sigma_i=\sigma_{11}$ в напрямку осі розтягу зразка буде зростати. Критична напруга σ_{11}, яка визначає напругу старту дислокацій, при n > 1 визначається виразом [20]:

$$\sigma_{11} = \sigma_0 + kd^{-0.5n} \qquad (2)$$

де σ_0 - початкове значення межі плинності, k - коефіцієнт.

Зміцнення при ТЦО визначається видом координатної частини кореляційної функції і на певному етапі ТЦО може підпорядковуватися закону Петча (n=1). При n≥1 наступає затухання процесу, що пов'язане з дифузійною релаксацією концентраційних напруг.

Таким чином, за зміною функції $f(r_o)$ і значенням σ_{11} можна знайти оптимальну кількість циклів для зміцнюючої ТЦО, коли збільшення n не вносить суттєвого внеску в зростання σ_{11} або приводить до зменшення міцності. За числовим значенням n можна оцінити вклад пластичної деформації зерен при ТЦО в загальний ефект зміцнення.

В роботі [14] підвищення втомленої довговічності стальних виробів проводили по схемі: гартування, низький відпуск, поверхневе зміцнення пластичною деформацією і циклічне навантаження з наступним відпуском. Причому циклічне навантаження з наступним відпуском проводили багаторазово і в кожному наступному циклі амплітуду навантаження збільшували пропорційно до зміни мінімальної величини статичного розподілу мікротвердості в зоні передбаченого руйнування, згідно рівняння:

$$\sigma_{in} = \frac{HV_{on}}{HV_{o(n-1)}} \cdot \frac{K_{ef(n-1)}}{K_{efn}} \cdot \sigma_{i(n-1)}, \qquad (1.3)$$

де $HV_{o(n-1)}$ і HV_{on} - мінімальні величини статичного розподілу мікротвердості перед (n - 1)-м і n-м навантаженням; $K_{ef(n-1)}$ і K_{efn} - коефіцієнти ефективності дії навантаження.

Велика кількість робіт [15,16] присвячені вивченню впливу ТЦО на структуру і фізико-механічні властивості металічних матеріалів методом механічної спектроскопії (внутрішнє тертя - ВТ). На основі даних по фону ВТ Q_ϕ^{-1} і характеристик пружності з врахуванням структурного стану сплавів автори [2] стверджують, що ТЦО (893-923⇔1073-1083К) сталі 40ХА приводить до зростання Q_ϕ^{-1} майже до 30%. Така поведінка ВТ свідчить про збільшення щільності дислокацій, подрібнення зерен і субзерен, а також збільшує розсіювання енергії при розповсюдженні ультразвукових коливань. Подрібнення зерен і субзерен при ТЦО призводить до релаксаційних процесів та понижує залишкові внутрішні напруги другого роду. Для сталі У10А фон ВТ зростає на ~5%. Тобто, можна припустити, що є інші причини перетворень при ТЦО. Суттєва зміна Q_ϕ^{-1} в результаті ТЦО високоміцних чавунів зв'язується з подрібненням зерен,

сфероідізацією цементиту, графітізацією і перерозподілом головних легуючих елементів.

За зміною величини Q_ϕ^{-1} автори [15] дали оцінку структури стану зварювальних швів. Показано, що ударна в'язкість обернено пропорційна фону ВТ. Крім цього, зміна величини Q_ϕ^{-1} дозволяє дати оцінку тривалості технологічних процесів зварювання і наступної ТО. Встановлено, що після ТЦО значення Q_ϕ^{-1} не набагато відрізняється для різних ділянок шва і основного металу. Це свідчить про рівномірний розподіл механічних властивостей і структурної стабільності зон термічного впливу.

В сплавах Al-Zn вже на початку ТЦО (653-663⇔833К) проходить значне розчинення надлишкових фаз і структурні зміни напруги, що неперервно понижуються, послабляють свою дію [16].

Аналіз структурного стану після НТЦО для сплавів Al-Si-Mg і Al-Mg-Zn приведений в роботах [15,16]. Порівняння амплітудних залежностей ВТ (АЗВТ)показує, що після НТЦО криві зсунуті в бік більших амплітуд деформації в порівнянні з зразками, які оброблені по стандартній технології. Гістерезис після НТЦО також більший, а значення критичної амплітуди деформації ε_1 [15] в 1,75 рази у сплаву Al-Si-Mg і в 1,60 раз у сплаву Al-Mg-Zn більша у зразків після НТЦО, а ніж після традиційної ТО.

Виявлені закономірності доводять те, що ТЦО значно поліпшують структуру металів і сплавів; подрібнюють і сфероідизують фази; сприяють більш повному і рівномірному розчиненню хімічних елементів в твердому розчині, підвищують щільність дислокацій; приводить до подрібнення зерен і субзерен [2].

Авторами [15,16] методом механічної спектроскопії досліджено вплив ТЦО на структурні зміни в композиційних матеріалах з алюмінієвою матрицею, яка армована сталевими і борними волокнами. Результати досліджень показали додаткове зміцнення композиційного матеріалу за рахунок формування дислокаційної субструктури в алюмінієвій матриці. Одночасно при таких обробках на міжфазній межі утворюються крихкі перехідні зони.

Як видно із розглянутих праць на даний час не повністю вияснено: формування, поведінку і ступінь стабілізації субструктури в промислових матеріалах в залежності від величини концентрації і природи домішок та впливу різних фізичних полів; послідовності та кінетики виділення дисперсної фази, а також відсутні відомості про об'ємну долю виділення і розмір частинок фази (крім спроби дати відповідь на дане питання в працях [17,18].

1.2. Температурна залежність внутрішнього тертя субструктурно зміцнених алюмінію і алюмінієвих сплавів

Для алюмінію і алюмінієвих сплавів ТЦО проводилося в інтервалі температур (393-423)К⇔ 293К. Зовнішні навантаження складали 0,2 – $0{,}4\sigma_{0,2}$. Дослідження температурної залежності ВТ (ТЗВТ) проводились на низькочастотному приладі (~1Гц) типу оберненого крутильного маятника.

Вплив термоциклювання на створення субструктури в алюмінії

Вимірювання ТЗВТ в алюмінії проводили після ТЦО в ПЗН. Про утворення субструктури в чистому алюмінії судили по проявленню ефектів А(дифузія точкових дефектів вздовж стінок субзерен), В(неконсервативний рух дислокацій в стінках субзерен), С(взаємодія дислокацій в стінках субзерен з дислокаціями в середині субзерна) [19]. На рис1, а, б, в наведено криві ТЗВТ після 0, 2 і 10 ТЦО в ПЗН. Крива 1 (рис.3, а) відображає криву нагрівання відпаленого зразка. Із його аналізу слідує, що використовувався великозернистий зразок і в районі проявлення субграничних піків (473-603 К) будь-які ефекти відсутні. Всього два термоцикли в ПЗН (рис.1а, кр.2) обумовлює проявлення ефекта А при 503 К, перегину при 553-583 К і чітко вираженого ефекту С при 603 К. Крім цього проявляється невеликий ефект при 453 К. Таке своєрідне проявлення субграничних ефектів свідчить, що уже при 2 ТЦО в зразку створюється значна кількість вільних дислокацій та їх скупчень, які і обумовлюють появу піка при 603 К. Дифузія точкових дефектів, в більшості вакансій, вздовж дислокацій викликає появу піка при 503 К. Оскільки на місці піка В спостерігається тільки перегин, то дислокаційні стінки ще не встигли сформуватись. Але уже 10 ТЦО в ПЗН (рис.1,а, кр.3; рис.1,в) створюють достатньо розвинену полігональну структуру. Про це свідчить чітке проявлення всіх трьох субграничних ефектів. Пік А практично не змінюється при цьому. Це говорить про те, що густина точкових дефектів в зразку мало змінюється. Пік В чітко сформувався і збільшився по абсолютній величині в два рази. Суттєво збільшився при цьому пік С. Дещо збільшився і ефект при 453 К. Він може бути зв’язаний з частковою рекристалізацією зразка при нагріванні. На температурних залежностях ВТ виявлений також пік при 703 К (430^0С). Його фізична природа неясна і потребує додаткових досліджень.

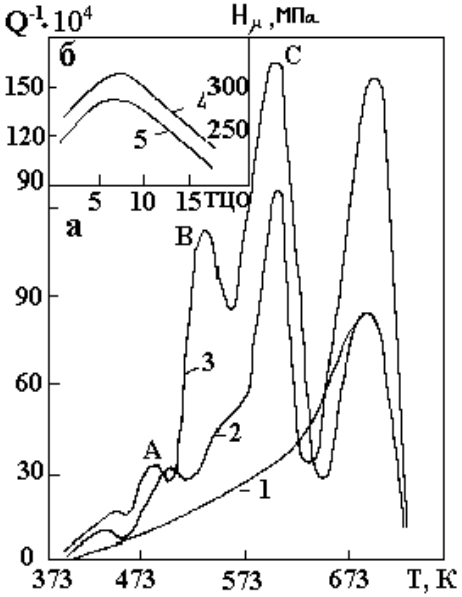


Рис.1. ТЗВТ алюмінію після ТЦО в ПЗН(а): 1-відпалений великозернистий зразок; 2- після 2 ТЦО в ПЗН; 3 - після 10 ТЦО в ПЗН; зміна мікротвердості (4) і величини ефекту В (5) від ТЦО в ПЗН (б)

Кореляція між зміною мікротвердості і величиною піка В (рис.1,б) дозволяє сподіватись, що ідентифікація і зміна піка В в субструктурно-зміцненому матеріалі може бути додатковим методом неруйнівного контролю міцностних властивостей матеріалу.

1.3. Вплив концентрації домішок на структурні зміни в дисперсійно-твердіючих сплавах на основі алюмінію

Використовуючи теорію дислокацій [1, 4] досягнуто суттєвих результатів в зміцненні матеріалів шляхом перерозподілу самих дислокацій в метастабільну полігональну структуру. Фізична природа і кінетика цих процесів успішно вивчається за допомогою методу ВТ [6, 20]. Труднощі полягають в тому, що субструктурні ефекти, за допомогою яких ми судимо про характер і стан субструктури, проявляються в температурному інтервалі (473-573 К) великого зернограничного ефекту. Тому при наявності зернограничного ефекту, субструктурні піки проявляються слабко на самих вітках цього ефекту. Таким чином всі попередні дослідження формування субструктури в чистому алюмінії робилися на псевдомонокристалах, для яких

характерна відсутність зернограничного ефекту. В цьому напрямку досягнуто значних успіхів, але вони не мають безпосереднього застосування, оскільки в техніці використовуються дрібнозернисті метали і сплави [20, 21].

Відсутність методів формування дислокаційної структури в промислових дрібнозернистих сплавах алюмінію утруднюють застосування розробленої теорії для конструкцій машинобудівної техніки. Тому для підготовки можливості практичного застосування одержаних результатів необхідно провести дослідження процесів формування і стабілізації субструктури в сплавах з різною величиною зерна. І тим самим розробити технологію одержання субструктури в дрібнозернистих матеріалах, які використовуються в техніці. Про величину зерна судили по інтенсивності проявлення зернограничного піку ВТ.

Результати досліджень низькочастотного спектра поглинання пружної енергії в дисперсійно-твердіючих сплавах Al-3%Zn і Al-3%Cu при їх термоциклюванні в рівноважному і напруженому станах приведені на рисунках 2 і 3. Обробка зразка проводилася згідно методики, яка приведена в роботі [22].

Першою особливістю одержаних результатів є те, що зернограничний пік ВТ проявляється при температурі 633-653 К. Ця обставина обумовила сприятливі умови подальших досліджень формування субструктури в полікристалічних зразках. Таке зміщення зернограничного піка від 553 К привело до його проявлення за границями температурної області виявлених субструктурних ефектів 493-603 К.

Початковий стан досліджуваних сплавів Al-Zn характеризувався появою великого зернограничного піка при 633 К і домішкового зернограничного піка при 693 К (рис. 2, а, кр.1). Величина зерна такого зразка становила біля 0,3 мм. Термоциклювання проводилося в інтервалі температур 273-793 К під навантаженням $0{,}2\sigma_{0.2}$. Така обробка сплаву обумовлювала формування полігональної структури. При цьому характерне те, що на початку ТЦО серед субструктурних ефектів краще проявлявся пік В і особливо пік С (рис. 2, а, кр.2). Пік А зовсім не проявлявся. Відсутність цього піка обумовлена мабуть тим, що точкові дефекти (домішки і вакансії) сконцентровані в основному на межах зерен. Там знаходитись їм енергетично більш вигідно. Пік В проявляється погано, оскільки субструктура ще не сформована.

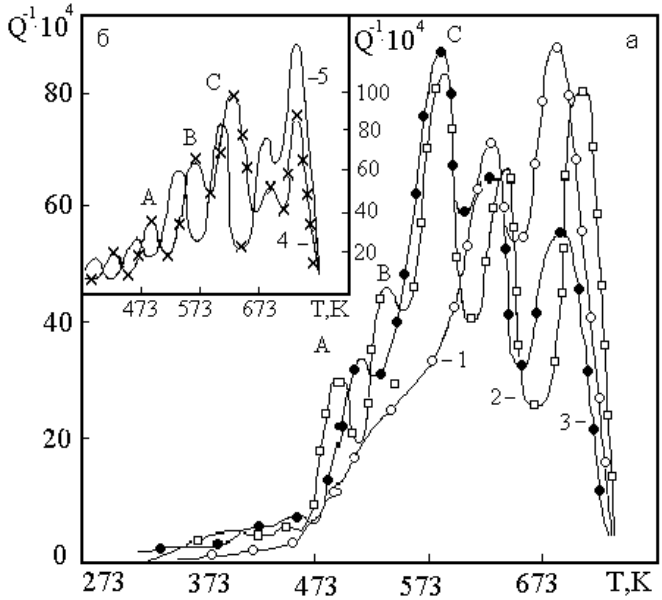


Рис. 2. ТЗВТ сплаву Al – 3%Zn: 1- після 1 ТЦО; 2- після 3 ТЦО + 9 ТЦО в ПЗН; 3 - після 3 ТЦО + 49 ТЦО в ПЗН (а) та 4- великозернистий зразок, зроблено 3 ТЦО + 54 ТЦО в ПЗН і 5 – полікристал, зроблено після 3 ТЦО + 64 ТЦО в ПЗН (б)

В цей же час зовсім незрозумілим стає проявлення піка С, який зв'язаний із взаємодією окремих дислокацій і їх скупчень, що знаходяться всередині полігонів, з полігональними стінками. Можна зробити допущення, що відповідальним за проявлення піка С є не тільки взаємодія окремих дислокацій і їх скупчень з дислокаційними скупченнями, але і з великокутовими межами зерен. Тому в даному випадку пік С обумовлений взаємодією окремих дислокацій і їх скупчень з великокутовими границями зерен. Наступне збільшення кількості термоциклів приводить до поступового вдосконалення дислокаційної структури. При цьому на кривій температурної залежності ВТ проявляються всі три ефекти (рис. 2,а, кр.3). Дуже добре сформувався пік А. Він свідчить про розвинуту субструктуру. В цей час продовжує добре проявлятися пік С. Він став дещо ширшим, що також говорить на користь фізичної природи даного ефекту. Разом з тим на температурній залежності ВТ в області низьких температур проявляється ефект при 333 К, 393 К і 433-453 К. Перші два обумовлені розчиненням зон ГП, а третій - релаксацією Зінера [23].

На рис.2,б приведені температурні залежності ВТ сплаву Al-3%Zn з добре сформованою субструктурою і різною величиною зерна. Крива 1 одержана для псевдомонокристала з середнім розміром зерна 1.4 мм, а крива 2 - для полікристалічного зразка з середнім розміром зерна 0.2 мм. Бачимо, що формування субструктури методом ТЦО під навантаженням успішно проведено в обох випадках, але характер проявлення субграничних піків суттєво відрізняється.

Так, ефект В, який зв'язаний з неконсер-вативним рухом дислокацій, мало залежить від величини зерна. В цей же час із збільшенням величини зерна суттєво зростає пік С. Це підтверджує припущення про його фізичну природу, але з врахуванням того, що внесок в дисипацію енергії, у випадку його проявлення в полікристалі, обумовлений взаємодією окремих дислокацій та їх скупчень з границями субзерен, а не границями зерен. На користь цього свідчить значне розширення піка С у випадку полікристала, що показує про протікання процесів з різним часом релаксації. Цікавим є також те, що із збільшенням величини зерна збільшується ефект А. Це може бути обумовлене тим, що у випадку полікристала, основна частина домішок знаходиться по границям зерен і немає умов для проявлення піка А. В міру збільшення величини зерна довжина границь зерен зменшується і частина домішок іде у внутрішні об'єми зерна, де осідає на субгранице і, дифундуючи в них, зумовлює проявлення ефекту А.

Дещо по другому ведуть себе субграничні ефекти при термоциклюванні полікристалічних зразків Al-3%Cu. Як видно із рис.3,б на полікристалічних зразках субграничні ефекти проявляються досить погано. Причому із збільшенням кількості термоциклів в загальному зменшуються всі три ефекти. Ефект С при цьому також розширюється і зміщується в сторону високих температур. Як і для сплавів Al-Zn, в полікристалічних сплавах Al-Cu при формуванні субструктури краще проявляється пік С.

Для полікристалу субструктурні ефекти проявляються краще (рис.3, а, кр.2), ніж у великозернистому зразку (рис.3, а,кр.1). Це обумовлене тим, що в полікристалі з великою довжиною границь зерен домішки атомів міді осідають на границях зерен і звільняють внутрішні дислокації, які приймають участь у формуванні зміцнюючої субструктури. В міру збільшення величини зерна частина атомів міді іде всередину зерна і ефективно блокує дислокації. Це обмежує їх рухливість і перешкоджає формуванню субструктури.

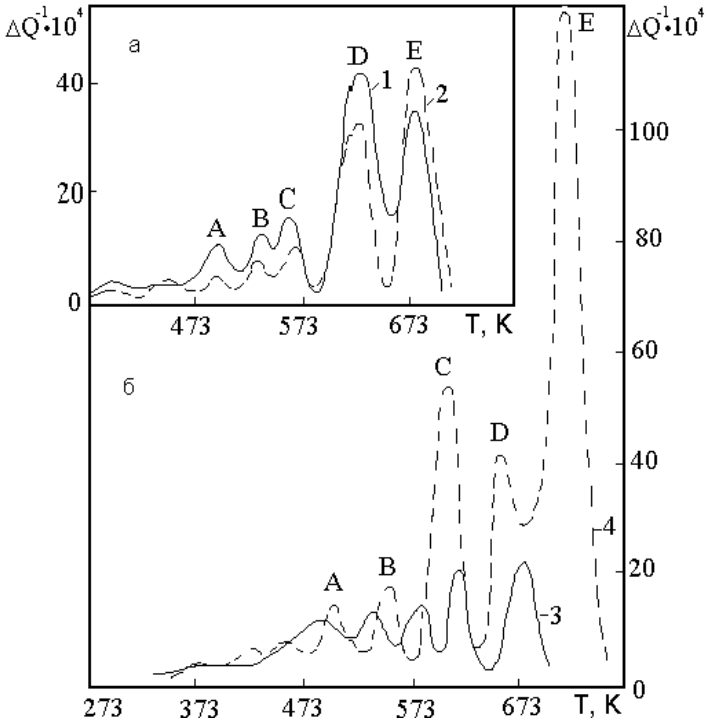


Рис. 3. ТЗВТ полікристалічного зразка Al – 3%Cu (а): 1 – після 9 ТЦО в ПЗН; 2- після 24 ТЦО в ПЗН; 3 - великозернистий зразок, після після 9 ТЦО в ПЗН (б); 4 – полікристал, після 39 ТЦО в ПЗН (б)

Таким чином, результати досліджень температурної залежності ВТ субструктурно-зміцнених дрібнозернистих сплавів Al-Zn і Al-Cu показали, що зернограничний і домішковий зернограничний ефекти зміщені в область високих температур і проявляються в межах 633 К та 693 К. Це дає можливість добре дослідити субструктурні ефекти, які проявляються в температурному інтервалі 473 - 603 К. Крім цього, дана методика формування і стабілізації субструктури в промислових сплавах на основі алюмінію впливає також і на величину зерна. Для більшості випадків збільшення кількості ТЦО веде до подрібнення зерен, але ця залежність не є пропорційною.

Субграничні ефекти сплавів Al-4%Cu та Al-4%Cu-3%Zn краще проявляються на кривих охолодження ТЗВТ. Це пояснюється тим, що при нагріванні окремі дислокації, їх скупчення та дислокаційні стінки ефективно закріплені домішковими атомами. Рухливість цих дефектів

невелика, а отже вони мало розсіюють механічну енергію і інтенсивність проявлення субструктурних піків невелика. Зовсім по другому ведуть себе ці ефекти при охолодженні. При високих температурах домішкові атоми дифундують у внутрішні об'єми субзерен звільнюючи при цьому дислокації і дислокаційні стінки. Останні стають більш рухливими і ефективно розсіюють механічну енергію, яка обумовлює проявлення відповідних піків ВТ. Тому дослідження субструктурних ефектів здійснювалось при охолодженні. Результати досліджень приведені на рис.3.4, 3.5. Дослідження проводились на великозернистих зразках, про що свідчить проявлення невеликого зернограничного ефекта при 623-633 К та домішкового зернограничного піка біля 673-693 К (рис.3.4,а, кр. 1). Уже один термоцикл (рис. 3.4,а, кр. 2) створює підвищену концентрацію дефектів кристалічної будови, а нагрівання цього зразка в навантаженому стані зумовлює проявлення субструктурних ефектів: А при 493 К, В при 553 К і С при 598 К. Крім цього спостерігається ефект при 453 К, який зв'язується з релаксацією Зінера [23].

Найбільш чітко проявляються ефекти А і В. Вони свідчать про інтенсивний процес полігонізації в навантаженому стані, тобто найбільш активно проходить перерозподіл дислокацій в стінки і дифузія початкових дефектів вздовж стінок [6, 16,20,24]. При цьому проходить також деяке збільшення зернограничного ефекта при 653 К і його зміщення в область низьких температур до 633 К, такий факт свідчить про подріблення зерна при ВТЦО в ПЗН. Збільшення числа термоциклів до 5 (рис. 3 ,а,кр.3) залишає майже незмінним пік А, а пік В зменшився, що свідчить про перерозподіл значного числа дислокацій в стінки. Пік С при цьому розширився, що вказує на виникнення всередині субзерен не тільки окремих дислокацій але і їх скупчень.

Зернограничний ефект продовжує зростати і зміщується далі в область низьких температур. Після 5 ТЦО він проявляється при 628 К. Домішковий зернограничний ефект суттєвих змін не зазнає. Характерною особливістю подальших досліджень є те, що величина субструктурних ефектів не знаходиться в прямій пропорціональній залежності від кількості термоциклів. Це добре видно із рис. 4,б про зміну даних піків після ВТЦО в ПЗН від кількості термоциклів. Його аналіз свідчить, що їх величини із збільшенням кількості термоциклів осцилюють з затухаючою амплітудою. Період осциляції становить біля 15 ВТЦО. Стабілізація субграничних ефектів проходить після 60 ВТЦО.

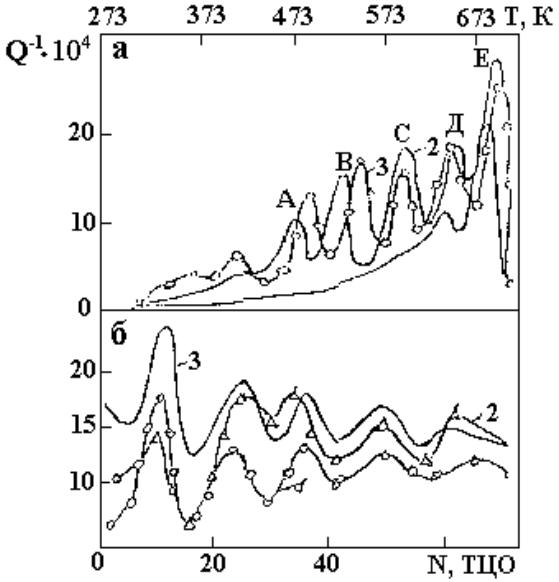


Рис.4. ТЗВТ сплаву Al – 4%Cu після ТЦО в ПЗН (а): 1 – 0 ТЦО; 2 – 5 ТЦО; 3 – 15 ТЦО та залежність зміни субструктурних ефектів сплаві від кількості ТЦО в ПЗН (б): 1- ефект А; 2- ефект В; 3- ефект С

В якості прикладу на рис.5 наведена об'ємна діаграма залежності впливу концентрації атомів міді на характер прояву ефектів А, В, С від температури і кількості ТЦО в ПЗН для сплаву Al-4%Cu.

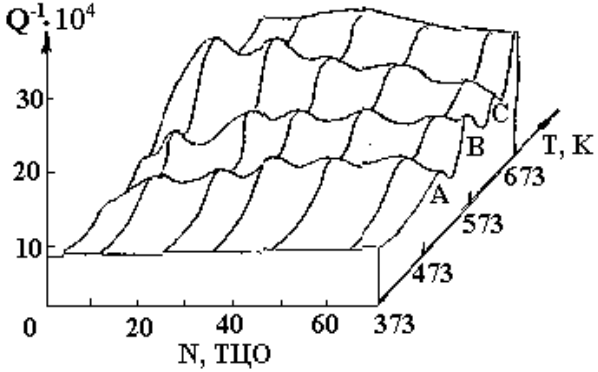


Рис.5 Залежність величини ефектів А, В, С від температури і кількості ТЦО в ПЗН для сплаву Al – 4%Cu

Для ідентифікації механізмів затухання були визначені відповідні значення енергії активації релаксаційних процесів після ТЦО в ПЗН (рис.6). Енергія активації процесу, що обумовлює появу піка С, досить близько відповідає енергії активації самодифузії в алюмінії. Тому це затухання пов'язане із переповзанням скупчень дислокацій і їх "прибудовою" до малокутових дислокаційних стінок в умовах розвиненої об'ємної сітки полігональних меж. При переповзанні дислокації внаслідок неконсервативного руху окремих її ланок, що з'єднані сходинками, можливий процес об'ємної дифузії. У відповідності з [4] енергія активації руху сходинки рівна:

$$E = E_{fv} + E_{dv} + E_j, \tag{4}$$

де E_{fv} і E_{dv} - відповідно енергія утворення і руху вакансії; E_j - енергія утворення сходинок. Якщо концентрація сходинок перенасичена, то

$$E = E_{fv} + E_{dv}. \tag{5}$$

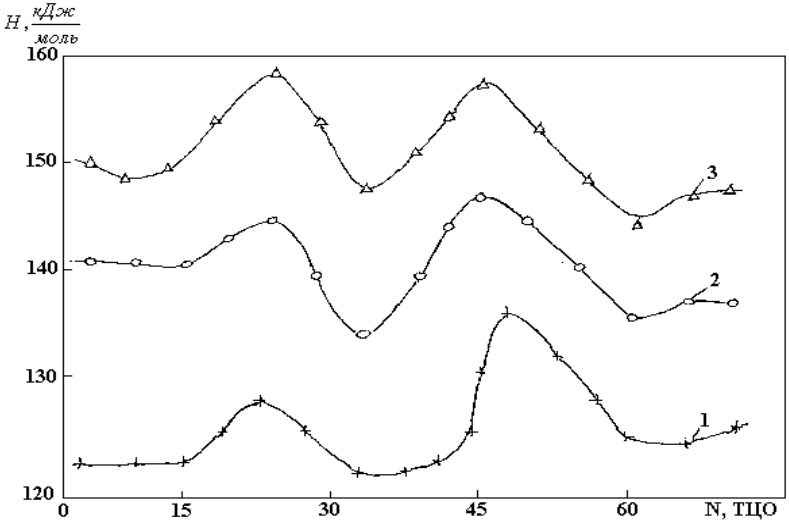


Рис.6 Кінетика зміни енергії активації субструктурних ефектів: 1 - ефект А; 2 – ефект В; 3 – ефект С

Енергія активації процесу, що відповідає піку С, відрізняється від енергії активації піка В на величину порядка 9.6 кДж/моль (0.1еВ), що співпадає з енергією утворення сходинок [4]. Це дозволяє зробити висновок, що в основі релаксаційних ефектів, які обумовлюють піки В і С, лежить елементарний процес переповзання дислокацій. Але у

випадку піка С він контролюється утворенням і рухом сходинок, а у випадку піка В – переміщенням сходинок по вакансійному механізму.

Характер одержаної залежності *E=f(N)* (рис.6) визначається зміною ступеня спотворення градки в місцях локалізації внутрішніх напруг, наприклад в голові скупчення дислокацій. Тоді

$$E = E_{fv} + E_{dv} + E_j - \sigma_n b^3, \qquad (6)$$

де σ_n - пружний стиск в зонах концентрацій внутрішніх напруг.

По мірі термоциклювання металу значення $\sigma_n b^3$ досягає максимуму, що відповідає мінімуму на кривій *E=f(N)*, а потім, в міру досягнення системою квазірівноважного стану, зменшується до нуля і починає виконуватися умова (4). В зв'язку з цим пік С повинен бути чутливий до кількості ТЦО.

Значення енергії активації піку А співпадає з даними енергії активації зернограничної дифузії [4]. Тому пік А слід розглядати як результат розсіювання енергії субмежами, тобто розсіювання внаслідок взаємодії дислокацій з дифундуючими по малокутовим межам точкових дефектів. Побічним підтвердженням цьому служить співпадання температур проявлення піка А і зернограничної релаксації типу вивченої в роботі [25].

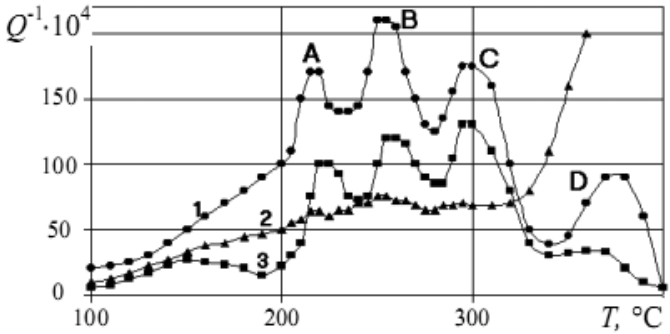


Рис. 7. ТЗВТ сплаву Al-4%Cu-3%Zn після ТЦО в ПЗН: 1 – 20 ТЦО; 2 – 0 ТЦО; 3 – 10 ТЦО

Таким чином вимірювання температурної залежності ВТ сплавів Al-Cu показали, що на них проявляється 8 ефектів при температурах 353 К, 393 К, 453 К, 493 К, 553 К, 593 К, 633 К і 693 К. Їх всебічне дослідження та порівняння з літературними даними [6, 26, 27] дозволяють стверджувати, що вони зв'язані з такими процесами: ефекти при 353 і 393 К визвані розчиненням зон ГП; ефект при 453 К

зумовлений релаксацією Зінера; ефекти при 493 К, 553 К та 593 К зумовлені процесами формування субструктури; ефекти при 633 і 693 К є зернограничний і домішково-зернограничний відповідно.

Термоциклювання сплавів Al-Cu-Zn, які знаходяться в навантаженому стані, дозволяє сформувати в них зміцнюючу субструктуру. Але слід відмітити, що для даних сплавів потрібно прикладати навантаження більше ніж для сплавів Al-Zn, Al-Cu та чистого алюмінію, яке повинне бути рівним $0,6\text{-}0,7\sigma_{0.2}$. Крім цього результати досліджень свідчать, що в сплавах Al-Cu-Zn для формування субструктури необхідно ввести програмне навантаження зразка в процесі його термоциклювання.

Таким чином, для сплавів Al -Cu-Zn формування субструктури можна здійснювати шляхом ВТЦО в ПЗН і вивчати з допомогою ВТ на великозернистих зразках. Режими запропонованої технології зміцнення конструкційних матеріалів, тобто, температурний інтервал термоциклювання, швидкості нагрівання і охолодження, кількості ТЦО і величини зовнішнього силового поля визначаються їх хімічним складом і процентним складом домішкових атомів.

Із збільшенням кількості термоциклів до 35 проходить зміна співвідношення інтенсивності проявлення субграничних ефектів. Зменшуються ефекти А і В, а ефект С при цьому збільшується, що свідчить про формування досконалої субструктури із збудованими малокутовими межами. Термоциклювання приводить до утворення дислокацій у внутрішніх об'ємах полігонів. Особливістю поведінки даних піків є той факт, що їх величина в залежності від кількості термоциклів змінюється періодично, тобто має осциляційний характер.

Пояснення такій поведінці досліджуваних ефектів можна дати на основі фізичної природи процесів, які їх обумовлюють. Зменшення ефектів А і В можна зв'язати із збільшенням доскона-лості сформованих субмеж і їх скупченнями. Осідання домішкових атомів на дислокаційних стінках звільняє внутрішні дислокації і їх скупченя від домішок. Вони стають більш рухливими і ефективно розсіюють пружну енергію. Це і супроводжується збільшенням піка С.

Про дальшу складну поведінку досліджуваних ефектів можна зробити наступні найбільш імовірні припущення. Збільшення кількості термоциклів зумовлює накопичення дефектів кристалічної будови. Ріст щільності дислокацій в дислокаційних стінках викликає їх поступове перетворення із малокутових меж в великокутові. На базі частини субмеж формуються великокутові межі зерен [20, 23, 28,29].

Проходить часткове подрібнення зерна. Наступне продовження термоциклювання викликає накопичення дефектів уже в нових зернах і починається формування нової більш легкої субструктури.

Результати досліджень свідчать, що атоми цинку і міді по різному впливають на кінетику формування зміцнюючої полігональної структури. Малі концентрації атомів цинку прискорюють початкові стадії формування субструктури. Субмежі при цьому утворюються більш досконалі і рівноважні. Навпаки, атоми міді значно утруднюють формування субструктури. Активація цих процесів потребує значного збільшення величини зовнішнього поля навантажень.

Висновки

На температурній залежності внутрішнього тертя в стопах і Al-4%Cu, Al-4%Cu-6%Zn виявлено три субструктурних ефекта: А (493 К), В (553 К), С (598 К). Показано, що ефекти мають таку природу: значення енергії активації піку А співпадає з даними енергії активації зернограничної дифузії [22], а відтак пік А слід розглядати як результат розсіювання енергії субмежами, тобто розсіювання внаслідок взаємодії дислокацій з дифундуючими по малокутовим межам точкових дефектів; енергія активації процесу, що відповідає піку С, відрізняється від енергії активації піка В на величину порядка 9.6 кДж/моль (0.1 еВ), що співпадає з енергією утворення сходинок [4]. Це дозволяє зробити висновок, що в основі релаксаційних ефектів, які обумовлюють піки В і С, лежить елементарний процес переповзання дислокацій. Але у випадку піка С він контролюється утворенням і рухом сходинок, а у випадку піка В - переміщенням сходинок по вакансійному механізму, тобто неконсервативним рухом дислокацій у субмежах.

Список використаних джерел

1. Гордиенко Л.К. Субструктурное упрочнение металлов и сплавов. - М.: Наука, 1973. -223с.

2. Зузяк П.М. Поглощение упругой энергии в метастабильных металлических системах: Автореф. дис. д-ра физ.-мат. наук: 01.04.07 / ИМФ АН УССР. - К., 1988.

3. Субструктурное упрочнение металлов и дифракционные методы исследования. Материалы конф. / Ред. кол.: Л.Н.Лариков, Л.В.Тихонов и др. - К.: Наукова думка, 1985. -280с.

4. Федюкин В.К., Смагоринский М.Е. Термоциклическая обработка деталей и машин. - Л.: Машиностроение, 1989. -255с.

5. Баранов А.А., Алимов В.И., Оноприенко В.Г. Влияние

термоцикличес-кой обработки на подвижность границ зерен // Известия ВУЗ. Черная металлургия. -1987. -N1. -С.153-154.

6. Васильева Л.А., Малашенко Л.М., Тофпенец Р.Л. Закономерности формирования структуры и свойств при высокотемпературной термоциклической обработке алюминиевых сплавов // МиТОМ. -1987. -N3. -С. 35-38.

7. Беллавин А.Д., Смагоринский М.Е., Монин В.И., Челноков В.А. Микропластическая деформация в порошковых силуминах и ее влияние на размерную стабильность // МиТОМ. -1987. -N4. -С. 31-37.

8. А.с. 1581755 СССР, МКИ С21 D1/78. Способ упрочнения стальных изделий / И.И.Усольцева, Г.А.Кулаков, В.В.Федоров (СССР). -N4490011/23-02; Заявлено 10.10.88; Опубл. 30.07.1990, Бюл. N28. -118с.

9. Гитгарц М.И., Толстой А.В. Эволюция структуры и кинетика выделения дисперсной фазы в сплаве медь-бериллий // ФММ. -1989. -Т.67. -Вып.3. -С. 547-556.

10. Механическая спектроскопия металлических материалов / Блантер М.С., Головин И.С., Головин С.А., и др. - М.: МИА, 1994. -256с.

11. Билюк А. И. Изменение параметров дислокационной структуры сплава Al-2%Cu-1%Zn/ А. И. Билюк, А.А. Токарчук, И.С. Харкун, А.А. Билюк// Международная научно-практическая конференция «Дни науки - 2013» 27.03-05.04. 2013. Чехия . –Praha, Publishing House “Education fnd Science” s.r.o., 2013. – Dil 35. – S.35-38.

12. Білюк А.І. Структурні зміни конструкційних матеріалів після термоциклювання / А. І. Білюк, А. А. Білюк, Ю.С. Чеховська, Г. В. Вітюк // Международная научно-практическая конференция «Новости научной мысли» 27.04-05.05. 2013. Чехия . –Praha, Publishing House “Education fnd Science” s.r.o., 2013. – Dil 39. – S.15-18.

13. Білюк А.І. Вплив термоциклювання на структурні зміни матеріалів на основі алюмінію і міді/ А. І. Білюк, С.М.Рибак, О.С.Саваренюк, А. А. Білюк// Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції:Сучасна Європейська наука: 30.06-07.07.2014. Великобританія.- Sheffield:SCIENCE AND EDUCATION LTD, 2014.-V.15.-P.72-74.

14. Білюк А.І. Характер зміни модуля зсуву в процесі еволюції субструктури/ А. І. Білюк, С.М.Рибак, О.С.Саваренюк, А. А. Білюк// Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції:Сучасна Європейська наука: 30.06-07.07.2014. Великобританія.-Sheffield:SCIENCE AND EDUCATION LTD, 2014.-V.15.-P.77-79.

15. Білюк А.І. Підвищення фізико-механічних властивостей алюмінієвих сплавів після термоциклювання / А. І. Білюк, В.П. Думенко, Ю.О. Черевчук, Л.О. Балухата// Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції:Сучасна Європейська наука: 30.06-07.07.2014. Великобританія.- Sheffield:SCIENCE AND EDUCATION LTD, 2014.-V.15.-P.75-77.

16. Білюк А.І. Дослідження субструктури алюмінієвих сплавів після термоциклювання методом механічної спектроскопії / А. І. Білюк, В.П. Думенко, Ю.О. Черевчук, Л.О. Балухата// Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції:Сучасна Європейська наука: 30.06-07.07.2014. Великобританія.- Sheffield:SCIENCE AND EDUCATION LTD, 2014.-V.15.-P.80-82.

17. Білюк А.І. Температурний спектр затухання механічних коливань конструкційних матеріалів / А. І. Білюк, В.П. Думенко, Ю.О. Черевчук, Л.О. Балухата// Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції: Научный прогресс на рубеже тисячолетий – 2014. 27.05-05.06.2014. - Прага,Education and Science. – Т.21.-С.63-66.

18. Білюк А.І. Дослідження субструктури конструкційних матеріалів методом механічної спектроскопії / А. І. Білюк, А.А. Білюк, К.Ю. Мисліцька // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції:Тенденції сучасної науки: 30.05-07.06.2014. Великобританія.- Sheffield:SCIENCE AND EDUCATION LTD, 2014.-V.23.-P.55-57.

19.Білюк А.І. Природа квантування вихрової системи в дислокаційній структурі матеріалів/ А.І. Білюк,. А.А Білюк// Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції:Структурна релаксація в твердих тілах (26-28 травня 2015р.).- Вінниця, 2015.

20.Білюк А.І. Вплив термоциклювання на підвищення фізичних властивостей алюмінієвих сплавів/ А.І. Білюк, О.В.Мозговий, А.Ф. НедибалюкЮ, А.А Білюк// Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції: Структурна релаксація в твердих тілах (26-28 травня 2015р.).- Вінниця, 2015.

21.Білюк А.І. Вплив термодинамічної обробки на розсіювання механічної енергії конструкційних матеріалів/ А.І. Білюк, В.П. Думенко, А.Б. Холод, А.М. Красна// Збірник наукових праць « Актуальні проблеми математики, фізики і технологічної освіти».- Вінниця, Україна. -2015.

22. Білюк А.І. Субструктурне зміцнення конструкційних матеріалів/ А.І. Білюк, Ю.О. Черевчук, А.А. Білюк // Збірник наукових праць « Актуальні проблеми математики, фізики і технологічної освіти».-

Вінниця, Україна.. -2015.

23.Білюк А.І. Енергія дефекта упаковки в алюмінієвих сплавах/ А.І. Білюк,А.А. Білюк, А.Б. Холод, А.М. Красна, А.В. Вітюк// Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції: Новини передової науки -2015. 17.08-25.05.2018. –Болгария. – София, Бял ГРАД-БГ ООД, 2015. – Т.5. – С.75-77.

24. Білюк А.І. Похибка експерименту при вимірювані спектрів розсіювання механічної енергії в метастабільних матеріалах/ А.І. Білюк,А.А. Білюк, А.Б. Холод, А.М. Красна, А.В. Вітюк// Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції: Динаміка сучасної науки -2015. 17.07-25.05.2015. –Болгария. – София, Бял ГРАД-БГ ООД, 2015. – Т.6. – С.69-71.

25.Билюк А.И. Структурообразование в дисперсионно-твердеющих сплавах после термоциклирования/ А.И. Билюк, В.В. Широков, А.А. Билюк//«Оралды гылым жаршысы» («уральский научный вестник») // Научно-теоретический и практический журнал. – 2015, г. Уральск, Республика Казахстан, ТОО «Уралнаучкнига». - № 19. – С. 34–37.

26. Білюк А.І. Дослідження метастабільних структур методом механічної спектроскопії / А.І. Білюк , Г.О. Чайка, В.М. Нечипорук // Актуальні проблеми математики, фізики і тезнологічної освіти. ВДПУ. - Вінниця:ТОВ фірма "Планер", 2016. - С.72-74.

27. Biliuk A.I. Impact of termocycling on aluminum alloy polygonal structure/ A.I. Biliuk, O.F. Karbivskii, M.V. Lysiy, V.I. Savulyak //Tehnomus.-2017, Romania. –S. 117-122(Copernicus)

28.Білюк А.І. Вплив термоциклічної обробки на субструктурне зміцнення композиційних матеріалів з алюмінієвою матрицею/А.І. Білюк, М.В. Лисий, А.Д. Слободяник// Проблеми трибології. -2017. - №1. – С.63-67.

29. Білюк А.І. Субструктурне зміцнення алюмінієвих сплавів після термоциклювання/А.І. Білюк, М.В. Лисий, А.Д. Слободяник// Наукові праці ВНТУ: Енергетика та електротехніка. -2016. - №4.

РОЗДІЛ 2. ФОРМУВАННЯ У СТУДЕНТІВ ОСНОВ ЗНАНЬ ПРО ПРИКЛАДНЕ ЗНАЧЕННЯ ФІЗИЧНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ.

Думенко В.П.,
кандидат технічних наук

Фізика є основою сучасного науково-технічного прогресу: механічний транспорт, електротехніка, радіоелектроніка, теплотехніка, автоматика і телемеханіка, будівельна техніка, сучасні технології, напівпровідникова і обчислювальна техніка, лазерна техніка та багато інших прикладних застосувань фізики. Досягнення фізики в значній мірі визначають зміст сучасної науково-технічної і технологічної революції. Тому при вивченні фізичних явищ і теорій студентами необхідно розглядати найважливіші застосування фізики на практиці. Елементи прикладного застосування можуть бути використані:

при проведенні лекцій з курсу загальної фізики;

написанні рефератів і повідомлень;

при вивченні навчальної дисципліни «Спецкурс з фізики»;

в науково-дослідній роботі студентів;

в тематиці курсових і дипломних робіт.

В цьому розділі розглянуто приклади практичного застосування фізичних методів дослідження.

Однією з найважливіших галузей застосування фізичних методів є медицина. Сьогодні в медицині широкого застосування набувають лазерні технології, які є основою багатьох методів діагностики і терапії.

Оптичні методи дослідження біологічних середовищ

Рис. 1. Мікроспетрометр

Оптичні методи дослідження - засновані на законах

випромінювання, поширення і взаємодії світла з речовиною. До них відносять методи прямого візуального спостереження і контролю медично-біологічних об'єктів з використанням лінз, мікроскопів, освітлювачів, фото- і кіноапаратури.

До найбільш широко розповсюджених в біології і медицині оптичних методів належить спектроскопія.

Розрізняють електронну спектроскопію (ультрафіолетову і видиму), коливальну і обертальну (інфрачервону, комбінаційного розсіювання, а також мікрохвильову і радіоспектроскопію). Областю застосування є визначення атомного і молекулярного складу речовини, її структури, концентрації й ін.

Рис. 2. Сучасна установка для ІЧ-спектроскопії

Спектральний аналіз за характером розв'язуваних задач можна поділити на елементний (визначення складу зразка по елементах), ізотопний (визначення складу зразка за ізотопами), молекулярний (визначення молекулярного складу зразка) і структурний (визначення структурних складових молекулярного з'єднання). Для проведення спектрального аналізу використовують спектроскопи, спектрографи, спектрометри і спектрофотометри. Поряд з останніми при аналізі складу, концентрації і структури речовин використовують колориметри і фотометри. Однією із задач спектрофотометричного методу є кількісне визначення величин, які характеризують поглинання даною речовиною монохроматичного випромінювання різних довжин хвиль. Ці величини можуть бути використані як для якісної характеристики речовини, так і для кількісного визначення в розчині чи в суміші з іншими речовинами. В зв’язку з поділом

електромагнітного спектра по довжині хвилі на певні області можна говорити про спектрофотометрію в інфрачервоній, видимій і ультрафіолетовій області. В ультрафіолетовій і видимій області проявляються електронні спектри молекул, в інфрачервоній області – коливальні спектри.

Різні види спектрального аналізу дозволяють одержати інформацію про структуру біологічно важливих молекул і про їх взаємодію з іншими компонентами.

Концентрація і властивості оптично активних молекул досліджуються спеціальним оптичним методом - поляриметрією, заснованою на вимірюванні за допомогою поляриметрів кута обертання площини поляризації світла, яке проходить через оптично активне середовище поляризованим. Метод поляриметрії використовується в медичній практиці для визначення концентрації цукру в сечі, вуглеводів у рослинній сировині, концентрації і стану білків і нуклеїнових кислот, для дослідження активності ферментів, що розщеплюють вуглеводи, і ін.

Рефрактометрія є одним з найбільш широко використовуваних аналітичних методів, що дозволяють визначити речовину, що знаходиться в рідкому стані, чи концентрацію двухкомпонентних розчинів. Рефрактометрія заснована на явищі заломлення світла при переході з одного середовища в інше, що називається рефракцією. Показником чи коефіцієнтом заломлення називають відношення синуса кута падіння променями світла до синуса кута його заломлення Якщо промінь світла переходить з вакууму чи повітря в інше середовище, то кут падіння завжди більше кута заломлення. При збільшенні кута падіння, змінюється співвідношення між величиною світлової енергії, що проходить в інше середовище, і відбитої від границі поділу. При кутах падіння вище критичного, світло повністю відбивається від поверхні поділу. Цей кут називається кутом повного внутрішнього відбивання. Знаючи кут повного внутрішнього відбивання α ', можна визначити показник заломлення n = 1/sin α'.

У зв'язку з тим, що показник заломлення залежить від довжини хвилі, існує безліч показників заломлення для тих самих речовин. Найбільш розповсюдженим є показник заломлення жовтої лінії натрію (589,3 нм), що позначається n.

Показник заломлення залежить від внутрішнього стану речовини, від її температури, тиску, концентрації, природи розчинника. Тому для систематизації отриманих результатів, приймається показник заломлення, визначений при температурі 20°С, у спектрі натрію (589,3

нм). При вимірюваннях в умовах іншої температури, вводять поправки на температуру за формулою:

$n' = n_{20} + k(20\text{-}t)$.

Принцип дії промислових рефрактометрів базується на використанні явища повного внутрішнього відбивання світла в оптичній призмі, що знаходиться в контакті з рідиною. Світло від джерела вводиться в оптичну призму і падає на її внутрішню поверхню, що контактує з досліджуваним розчином. Світлові промені попадають на границю роздільної призми і розчину під різними кутами. Частина променів, кут падіння яких більше критичного, цілком відбивається від внутрішньої поверхні призми і, виходячи з неї, формують світлу частину зображення на фотоприймачі. Частина променів, кут падіння яких менше критичного, частково заломлюється і проходять у розчин, а частково відбивається і формує темну частину зображення на фотоприймачі.

Положення границі розділу між світлом і тінню залежить від співвідношення коефіцієнтів заломлення матеріалу оптичної призми і досліджуваного розчину, а також довжини хвилі випромінювання джерела світла. Оскільки оптичні характеристики призми і довжина хвилі джерела постійні, то за положенням межі поділу світла і тіні на фотоприймачі можна однозначно визначити коефіцієнт заломлення чи оптичну густину досліджуваного розчину.

Рис. 3 Лазерний інтерференційний рефрактометр ЛАЗЕР - 2МК

Оскільки, оптична схема рефрактометрів побудована на використанні відбивання і проходження світла тільки всередині призми, то ні прозорість розчину, ні наявність у ньому нерозчинних включень, що розсіюють світло, газових пухирців не впливають на результат вимірювань.

Для компенсації впливу температури досліджуваної рідини на

результати вимірювання концентрації в промислових рефрактометрах використовуються теплові датчики.

У медицині цей метод застосовується для визначення чистоти дистильованої води, концентрації сахарози, вмісту білка в сироватці крові, аналізу розчинів для ін'єкцій, препаратів лікарських сумішей, для вимірювання концентрації спирту в настойках. За величиною показника заломлення можна визначити вологість різних харчових продуктів, вміст білка в молоці. Методи рефрактометрії використовуються при дослідженні рефракції ока.

Існують оптичні методи, що дають можливість виміряти величину розсіювання світла об'єктом (колоїдними розчинами, суспензіями, та ін.). Прилади, призначені для дослідження світлорозсіювання, одержали назву нефелометрів і турбідиметрів. За допомогою цих методів визначають молекулярну масу і розміри різних макромолекул (білків, нуклеїнових кислот) і частинок у колоїдних розчинах, суспензіях, а також одержують інформацію про характер міжмолекулярних взаємодій.

Метод колориметрії (лат. color – колір) – це фізико-хімічний метод дослідження складу біосередовищ за ступенем фарбування їх розчинів. Заснований на візуальних і фотометричних вимірюваннях. Відомо, що кількісною характеристикою кольору є концентрація барвної речовини в розчині. Для більшості біорідин (кров, сеча, жовч) розроблені методики приготування діагностичних розчинів. Кількісні співвідношення методу засновані на законі Бугера – Ламберта – Бера, відповідно до якого поглинання (абсорбція) світла розчином залежить від товщини шару і концентрації поглинаючої речовини в розчині. Цей закон справедливий тільки для монохроматичного випромінювання (λ=const), тому в якості випромінювача зручно використовувати лазер. Якщо прийняти, що I_0 і I інтенсивності випромінювання на вході в розчин і виході з нього, а L – довжина шляху випромінювання в досліджуваному розчині, то закону відповідає співвідношення

$$I = I_0 \cdot 10^{-\varepsilon c} , \qquad (1)$$

де ε - молярний коефіцієнт поглинання, c – концентрація речовини в розчині. При фотометричних вимірюваннях визначають оптичну густину розчину

$$D = \lg(I_0/I). \qquad (2)$$

Значення L є характеристикою конструкції фотометра. Виміривши оптичну густину розчину, знаходять шукану концентрацію речовини за формулою

$$c = D/\varepsilon L. \quad (3)$$

Для розчинів біологічних рідин інтервал вимірюваних концентрацій складає $10^{-8}…10^{-3}$моль/л. Для відносної оцінки вмісту речовини в розчині використовують також такі характеристики, як прозорість (пропускання) розчину

$$T = (I/I_0)100\% , \quad (4)$$

поглинання випромінювання в розчині

$$A = ((I - I_0)/I_0)100\%.$$

Для визначення ступеня насичення крові людини киснем при оцінюванні ефективності функції дихання застосовують метод оксигемометрії, який ґрунтується на розходженнях спектрів поглинання оксигемоглобіну і відновленого гемоглобіну.

Відновлений гемоглобін у розчинах поглинає червоне світло ($\lambda_{черв}$= 620…680 нм) у багато разів сильніше, ніж розчин оксигемоглобіну. В однаковому ступені поглинається цими формами гемоглобіну інфрачервоне випромінювання ($\lambda_{іч}$ = 810 нм).

Найбільш розповсюджений метод безперервної безкровної оксигемометрії. Фотосенсор оксигемометра встановлюють на вушну раковину (частіше – мочку вуха) пацієнта. У сенсорі є два фотоприймачі: один – селеновий, чуттєвий до червоного світла, інший – сірчасто-срібний, чуттєвий до інфрачервоного випромінювання. Перший служить для визначення оксигенації крові, другий – для компенсації спотворень, пов'язаних з пульсовими змінами кровонаповнення судин. Мініатюрне джерело світла, розташоване з іншого боку, просвічує і нагріває тканини вушної раковини до температури 40 °С, при цьому відбувається розширення судин і збільшення об'єм кровотоку через капіляри. Користуючись аналітичними співвідношеннями закону Бугера-Ламберта-Бера для концентрацій відновленого і сумарного гемоглобіну, можна записати такі співвідношення

$$C_в = \frac{D_k}{\varepsilon_k I(t)}, C = C_0 + C_в = \frac{D_{ік}}{\varepsilon_{ік} I(t)}, \quad (5)$$

де I(t) – товщина біотканин між лампочкою і фотоприймачами. Тоді концентрація оксигемоглобіну може бути представлена величиною

$$C_0 \sim (C_0 + C_в)\Big/ C_в = (D_{ік}\varepsilon_{ік})\Big/ (D_к \varepsilon_{ік}). \quad (6)$$

Одержуване значення оксигенації для цього методу є відносною величиною.

Визначення оксигемоглобіну по пробі крові (0,4 моль) виконують

кюветні оксигемометри (кюветна оксигемометрія), що мають оптимальну і незмінну довжину оптичного випромінювання в прозорій кюветі і датчик. Перевага цієї методики полягає в одержанні абсолютних значень концентрацій оксигемоглобіну, недолік – у короткочасній придатності взятих проб крові.

Метод активної оксигемометрії здійснюється введенням вимірювального катетера з мікрофотометричним датчиком безпосередньо в кровоносну судину. Вимірювання побудоване на розходженні коефіцієнтів відбивання оксигемоглобіну і сумарного гемоглобіну в червоній і інфрачервоній областях оптичного випромінювання.

У клінічній практиці знайшло застосування метод безперервної безкровної оксигемометрії для одержання кривої оксигенації при затримці дихання рис. 9. За даною кривою можна провести комплексне оцінювання дихальної, повітря обмінної і кровоносної систем.

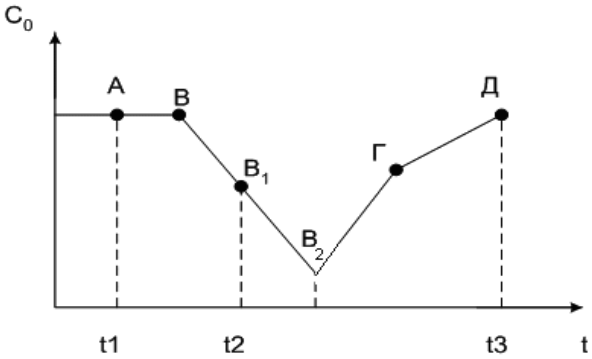


Рис. 4. Крива оксигенації при затримці дихання

Інтервал часу t_1-t_2 – затримка дихання пацієнтом; t_2 – момент початку вдоху; t_3 – момент відновлення вихідної оксигенації.

Тривалість фази АВ (норма 6...25…25 с після глибокого вдиху) залежить від запасу кисню в легенях і інтенсивності окисних процесів у тканинах. Протягом фази $ВВ_1$ відбувається зниження рівня оксигенації. Ця фаза відбиває окисні процеси в тканинах. Фаза $В_1В_2$ (норма 3...8…8 с) характеризує швидкість кровотоку на відстані легені – точка реєстрації і використовується для безкровного визначення швидкості кровотоку.

$В_2Г$ – фаза швидкого росту оксигенації – відбиває функціональні

можливості організму (норма 3...4…4 с для чоловіків і 5...6…6 с для жінок).

ГД – інтервал повільного росту оксигенації – характеризує адаптаційну реакцію організму.

Фотометричні вимірювання, подібні вище згаданим для безкровної оксигемометрії, знайшли застосування в оптичній плетизмографії – методі дослідження кровонаповнення м'яких тканин по зміні їхньої оптичної густини. Він заснований на властивості обох форм гемоглобіну однаково поглинати випромінювання інфрачервоного діапазону з довжиною хвилі близько 810 нм. Тоді зміни досліджуваного об'єму внаслідок кровонаповнення такі

$$V(t) \sim I(t) = \frac{D_{ik}}{\varepsilon_{ik} C}, \qquad (7)$$

де С – сумарна концентрація гемоглобіну. Метод оптичної плетизмографії доповнює методи механічної (об'ємної), імпедансної і ємнісної плетизмографій. Це метод визначення концентрації речовини за кутом повороту площини поляризації монохроматичного плоскополяризованого випромінювання оптичного діапазону при проходженні його через оптично активні середовища (рис. 5).

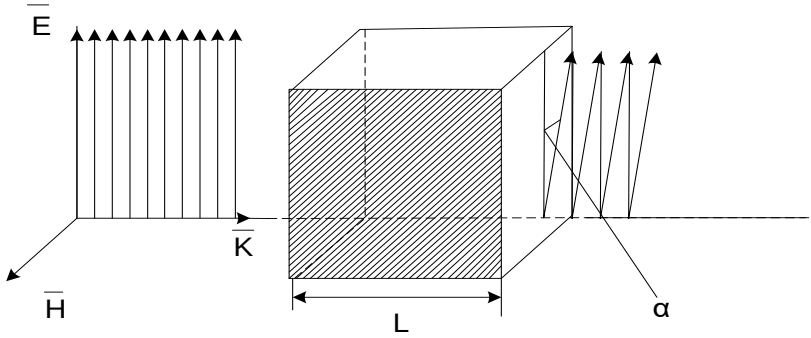


Рис.5. Поворот площини поляризації випромінювання

Концентрацію оптично активних речовин можна знайти, реєструючи обертання площини поляризації. На практиці звичайно використовують просте співвідношення

$$\alpha = \alpha_0 \cdot C \cdot L, \qquad (8)$$

де α_0 - питоме обертання площини поляризації речовиною при заданій довжині хвилі випромінювання λ, L – оптичний шлях випромінювання в розчині речовини, С – шукана концентрація речовини в розчині.

Поляриметрія знайшла застосування для визначення концентрації цукру (сахариметрія) у крові й інших розчинах біорідин. Частотна дисперсія кута повороту площини поляризації використовується в методі спектрополяриметрії. Цей метод по отриманій залежності $\alpha = \alpha(\lambda)$ дозволяє визначити концентрації декількох оптично активних речовин у розчині.

Нефелометрія (грец. nephele – хмара) – оптичні методи визначення концентрації, розмірів і форми часток у дисперсних середовищах. Однієї з важливих характеристик біосубстрактів є розмір частинок у розчині, для дослідження якого використовують інформацію про коефіцієнт розсіювання.

У загальному випадку коефіцієнт розсіювання σ складається із суми коефіцієнтів розсіювання: $\sigma = \sigma_м + \sigma_р + \sigma_а$, де $\sigma_м$, $\sigma_р$, $\sigma_а$ – молекулярне, резонансне й аерозольне розсіювання відповідно. Коефіцієнт молекулярного розсіювання однозначно пов'язаний з числом молекул в об'ємі речовини у випадку, коли розмір молекул менший довжини хвилі випромінювання, яке пропускається.

Резонансне розсіювання проявляється, коли довжина хвилі випромінювання збігається з довжиною хвилі електронного переходу атомів речовини, що знаходиться в середовищі. Реєстрація резонансного розсіювання дає можливість визначити наявність у середовищі дуже малих домішок, для яких відомі довжини хвиль резонансних переходів.

Аерозольне розсіювання відбувається на частинках, розмір яких приблизно дорівнює довжині хвилі випромінювання або більше неї. Особливістю аерозольного розсіювання є яскраво виражена залежність кутового розподілу розсіяного випромінювання від співвідношення довжини хвилі випромінювання і розміру частинки.

Для експериментального визначення середнього ефективного розміру частинок, що розсіюють, досить провести вимірювання коефіцієнта аерозольного розсіювання в декількох ділянках спектра довжин хвиль або вимірювання коефіцієнта розсіювання на одній довжині хвилі під різними кутами відносно випромінювання, яке пропускається.

Дифрактометрія заснована на залежності параметрів дифракційної картини (ДК) від параметрів об'єкта. Надалі дослідники неодноразово застосовували дифрактометрію для оцінки геометричних і фізичних параметрів біологічних об'єктів. Особливо зріс інтерес до дифрактометрії в останні роки в зв'язку з дослідженням деформованості еритроцитів.

Однак використання дифрактометрії дотепер викликає визначені труднощі, зв'язані з відсутністю прийнятних методів розв'язання прямої і зворотньої задачі дифракції на біологічному об'єкті довільної форми з невідомими електродинамічними параметрами.

Дослідження параметрів біотканин лазерними методами.

Представлено практичні результати експериментальних досліджень із застосуванням лазерних методів, які були отримані при виконанні наукових робіт разом зі студентами спеціальності «Фізика».

дослідження теплових характеристик біотканини (шкіри людини) під дією лазерного випромінювання.

Для дослідження теплової дії лазерного випромінювання, а саме точки больового відчуття, було використано установку зображену на рис.6.

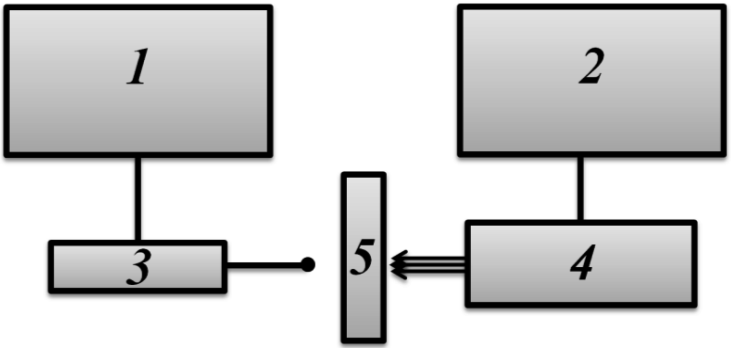


Рис.6. Схема установки дослідження характеристик біологічних тканин під дією лазерного випромінювання: 1) джерело живлення датчика температури, 2) джерело живлення лазера, 3)датчик температури, 4) лазер на основі DVD-RW дисковода, 5) об’єкт дослідження

В схему експериментальної установки також входить електронний датчик температури Т-0.56 DS побудований на основі термопари хромель-алюмель.

Технічні характеристики Т – 0,59 DS:

Діапазон вимірювальних температур – -50°С …+ 125°С

Крок вимірювання – 0,1°С

Похибка вимірювання – 0,02 °С

Напруга живлення – 12 В

Термопара провідників з різних матеріалів, сполучених на одному кінці і формуючих частину пристрою, що використовує термоелектричний ефект для виміру температури.

Для виміру різниці температур зон, ні в одній з яких не знаходиться

вторинний перетворювач (вимірник термо-ЕРС), зручно використовувати диференціальну термопару: дві однакові термопари, сполучених один назустріч одному (див. малюнок). Кожна з них вимірює перепад температур між своїм робочим спаєм і умовним спаєм, утвореним кінцями термопар, підключеними до клем вторинного перетворювача, але вторинний перетворювач вимірює різницю їх сигналів, таким чином, дві термопари разом вимірюють перепад температур між своїми робочими спаями.

Термопара хромель-алюмель ХА(К) має найбільш близьку до прямої термоелектричну характеристику. Термоелектроди виготовлені із сплавів на нікелевій основі. Хромель (НХ9, 5) містить 9..10% Cr; 0,6..1,2% Co; алюмель (НМцАК) - 1,6..2.4% Al, 0,85..1,5% Si, 1,8..2,7% Mn, 0.6..1.2% Co. Алюмель світліше і слабо притягується магнітом; цим він відрізняється від темнішого в стані абсолютно немагнітного хромеля, що відпалює. Завдяки високому вмісту нікелю хромель і алюмель краще за інші неблагородні метали по стійкості до окислення. Враховуючи майже лінійну залежність термо-ЕРС термопари хромель - алюмель від температури в діапазоні 0..1000°С, її часто застосовують в терморегуляторах.

Для підключення було використано джерело живлення ІЕПП-1.

Експеримент 1. Дослідження температури і порогу термо-больового відчуття шкіри.

Основною характеристикою, яка визначає результат лазерного впливу, є температура біотканини і характер її просторового розподілу.

При дії лазерного випромінювання на біотканину відбувається його поглинання всередині тканини. В залежності від потужності випромінювання, відбивання і величини показника заломлення, в одиниці об’єму біотканини поглинається деяка потужність. В залежності від тривалості впливу випромінювання, одиниці об’єму передається деяка визначена кількість енергії. Показник поглинання залежить від виду тканини і довжини хвилі лазерного випромінювання. Для застосування лазерного випромінювання необхідно враховувати температуру і поріг термо-больового відчуття шкіри.

Для визначення цих характеристик було вибрано три точки на шкірі руки людини:

1 – кисть, 2 – передпліччя, 3 – плече.

Результати експериментальних досліджень представлені в таблиці 1.

Таблиця 1.

Загальні результати експериментального дослідження.

Точка	$t_о$,°C	$t_к$,°C	Вік, р.	Стать	Час дії τ,с
1	32,8	33,0	21	Жін.	3,92
2	32,6	32,8			7,93
3	31,9	32,9			15,73
1	32,5	32,9	21	Жін.	3,21
2	32,4	33,1			6,45
3	32,3	32,6			16,46
1	32,2	32,9	20	Жін.	3,82
2	32,9	33,1			7,51
3	32,3	31,8			16,8
1	33,4	33,8	20	Чол.	4,57
2	33,3	34,1			7,27
3	33,1	33,6			16,74
1	33,3	33,4	20	Жін.	3,28
2	32,9	33,4			7,11
3	32,9	33,6			16,64
1	32,5	32,9	20	Чол.	4,11
2	32,6	33,1			7,90
3	33,4	33,8			17,31
1	32,1	32,8	40	Чол.	2,0
2	32,3	32,6			7,55
3	32,3	32,8			14,75
1	32,2	32,8	22	Чол.	4,84
2	33,6	34,3			7
3	34,7	34,9			16,79
1	32,2	32,6	37	Жін.	8,74
2	32,4	32,8			9,30
3	33,2	33,7			19,19
1	34,4	34,7	20	Жін.	3,89
2	33,2	33,5			6,98
3	33,3	33,7			16,67
1	33,1	33,6	46	Жін.	9,07
2	31,9	32,3			10,60
3	32,0	32,3			20,15
1	31,9	32,7	30	Жін.	5,94
2	32,4	33,6			7,98
3	33,6	33,7			18,80

1	32,4	32,9	30	Чол.	5,96
2	33,6	34,1			8,82
3	32,8	33,2			18,99

Після систематизації даних в залежності від віку отримано результати, які наведені в таблиці 2, також обрахований температурний коефіцієнт k_t. Цей коефіцієнт обраховується за формулою:

$$k_t = \frac{\Delta t}{\tau}.$$

Таблиця 2.

Зміна температури больового відчуття в залежності від віку.

Вік, р.	Середня зміна температури Δt, °C	Середній час дії τ, с	Температурний коефіцієнт k_t, °C/c	Точка
20	0,44	3,662	0,1475	1
	0,54	7,188	0,0751	2
	0,45	16,356	0,0275	3
30	0,65	5,98	0,1087	1
	0,85	8,4	0,1011	2
	0,25	18,90	0,0281	3
40	0,55	5,37	0,1024	1
	0,35	7,925	0,0441	2
	0,5	16,97	0,0295	3
50	0,5	9,07	0,0551	1
	0,7	10,60	0,0661	2
	0,3	20,15	0,0149	3

Таблиця 3.

Зміна температури больового відчуття в залежності від статі.

Стать	Середня різниця температур Δt, °C	Температурний коефіцієнт k_t, °C/c	Середній час дії τ, с	Точка
Жінки	0,37	0,0874	4,23	1
	0,42	0,0526	7,98	2
	0,53	0,0308	17,56	3
Чоловіки	0,525	0,0977	5,37	1
	0,575	0,0683	8,41	2
	0,590	0,0329	17,91	3

За результатами досліджень були побудовані такі графіки та діаграми:

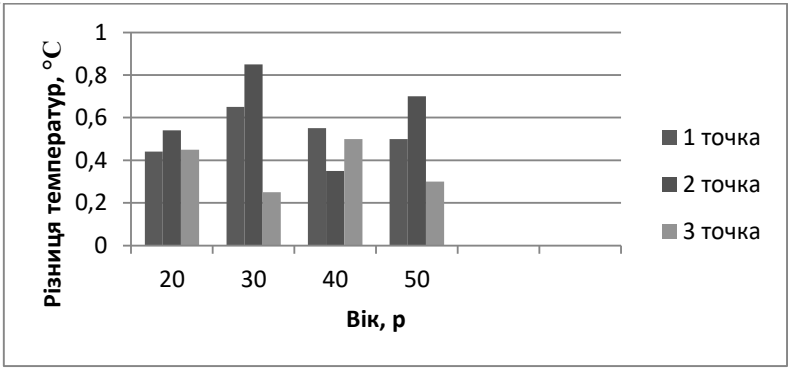


Рис. 7. Діаграма залежності зміни температури при дії лазерного випромінювання) від віку об'єкта дослідження.

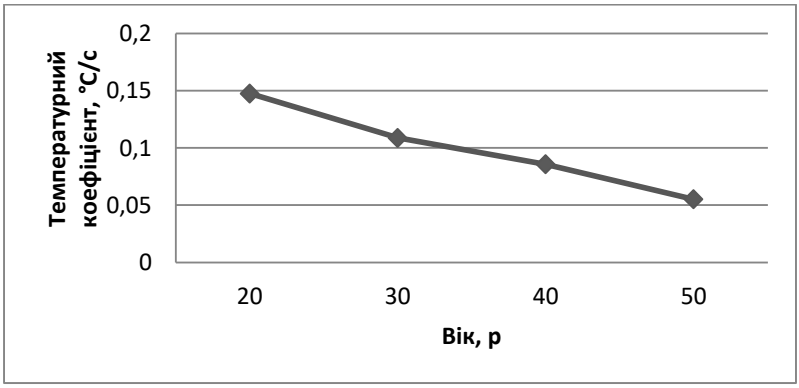


Рис.8 Залежність температурного коефіцієнту при нагріванні лазерним випромінюванням від віку об'єкта дослідження.

Провівши експериментальні дослідження було встановлено, що температура і поріг термо-больового відчуття при дії лазерного випромінювання на шкіру людини буде залежати від областей дії, від віку та статі людини. Характеристики шкіри, а саме вміст води, коефіцієнти поглинання та відбивання будуть змінюватися з віком і тому буде збільшуватись поріг термо-больового відчуття.

Отже, для використання лазерного випромінювання в медицині найкращими є лазери імпульсної дії, оскільки вони дозволяють скоротити час дії до найменшого значення.

Дослідження деформаційних і агрегаційних властивостей еритроцитів крові.

Для вимірювання деформаційних і агрегаційних властивостей еритроцитів використовувався метод лазерної дифрактометрії, заснований на дифракції лазерного випромінювання на суспензії еритроцитів.

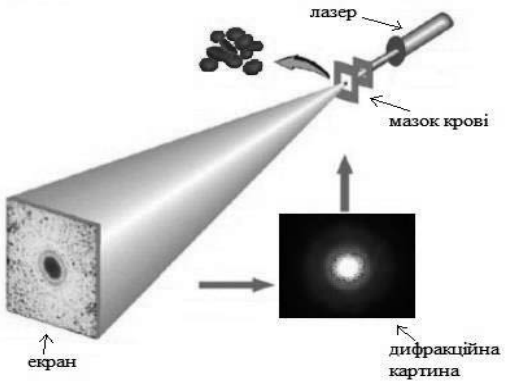


Рис. 9. Блок-схема експериментальної установки

В експерименті відбувається взаємодія лазерного випромінювання із суспензією еритроцитів і цільною кров'ю. Дані методи засновані на вимірюванні, дифузійного розсіювання і дифракції лазерного випромінювання. Перевагами лазерних дифракційних методів є простота і швидкість розрахунків характеристик частинок. Для діагностики еритроцитів використовувалося лазерне випромінювання, довжина хвилі якого 650 нм (випромінювання довгохвильової частини червоного й близького ІЧ діапазонів). Таке випромінювання є найоптимальнішим для дослідження, оскільки при проходженні лазерного променя структура крові не зазнає ушкоджень.

Для досліджень використовувалася експериментальна установка блок-схема якої представлена на рис. 9.

Для досліджень використовувалися такі зразки:

проби венозної крові здорової людини

проби венозної крові людини із онкологічним захворюванням, діагноз – хронічний мієлолейкоз;

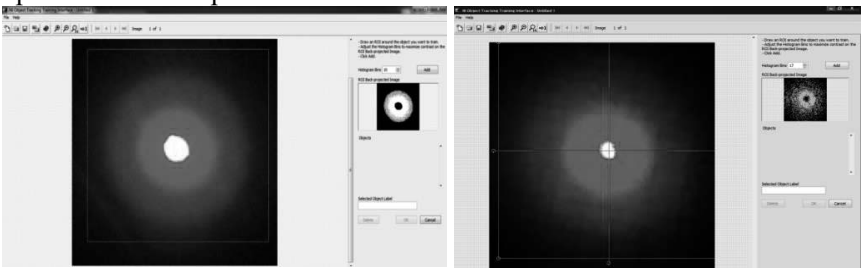
проби капілярної крові здорової людини;

проби капілярної крові людини із захворюванням, діагноз – нормобластна анемія.

Нормобластна (залізодефіцитна) анемія — це захворювання крові

коли продукуються нормальні зрілі еритроцити, проте у недостатній кількості і з пониженим вмістом гемоглобіну.

Мієлолейкоз - це хронічне пухлинне захворювання системи кровотворення, що відноситься до групи лейкозу, які характеризуються досить великою кількістю утворення в системі крові незрілих гранулоцитів. На рис. 10. представлені дифракційні картини краплі венозної крові:



а) б)

Рис. 10. Дифракційна картина клітин крові в програмі Vision Assistant
а) в нормі; б) при патологіях.

Взаємозв'язок форми еритроцита і вигляду ДК дає можливість визначити ступінь деформованості еритроцитів.

Деформованість еритроцитів характеризується параметром деформованості (ПД), який визначається, як

$$ПД = (a - b)/(a+b),$$

де a і b – велика і мала півосі еліпса, визначаються за рівнем однакової інтенсивності дифракційної картини.

Опрацювавши ДК зразків крові здорової людини та з захворюванням мієлолейкозу визначили параметри деформованості:

а) параметри деформованості еритроцитів здорової людини:

$ПД_1 = (37 – 35)/(37+35) = 0, 27;$

$ПД_2 = (49 - 38)/(49+38) = 0,12;$

$ПД_3 = (48-36)/(48+36) = 0,14;$

$ПД_{сер.} = 0,18.$

б) параметри деформованості еритроцитів людини із захворюванням:

$ПД_{1 =} (65-55)/(65+55) = 0,083;$

$ПД_2 = (29 – 27)/(29+27) = 0,036;$

$ПД_3 = (25 – 22)/(25+22) = 0,064;$

$ПД_{сер.} = 0,061.$

Порівнявши результати параметрів деформованості еритроцитів

здорової людини та із захворюванням крові, видно, що цей параметр суттєво зменшується при наявності змін у крові. В нормі ПД складає 0,16-0,35.

Фотоплетизмографічні методи дослідження біообєктів.

Фотоплетизмографічний метод, дозволяє вимірювати кровонаповнення та кровотік як в потужних венах і артеріях, так і в периферійних судинах і капілярах.

Метод фотоплетизмографії грунтується на реєстрації оптичної густини досліджуваної тканини. Він заснований на тому, що досліджувана тканина через спеціальний світловод і світлофільтри просвічується монохроматичним світлом, яке після розсіювання або відбиття потрапляє на фотоелектроперетворювач, викликаючи зміни фотоструму, що реєструються гальванометром.

Оптико-електронний прилад (рис.11) діагностики периферійного кровонаповнення визначає амплітудні, часові та амплітудно-часові характеристики пульсової хвилі.

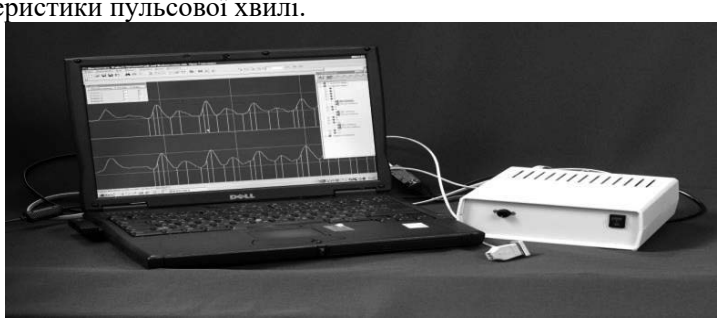


Рис. 11. Зовнішній вигляд оптико-електронного приладу

Інформацію про стан біотканини отримуємо у вигляді фотоплетизмограми (рис. 12-14).

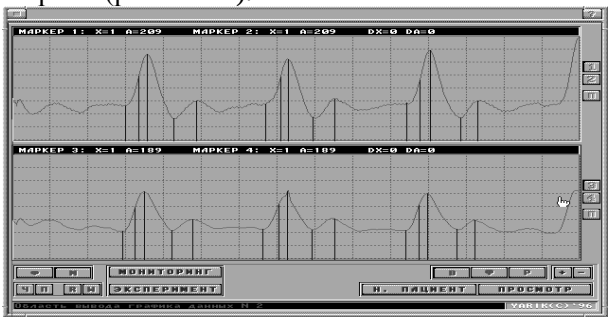


Рис. 12. Фотоплетизмограма з виділеними характерними точками.

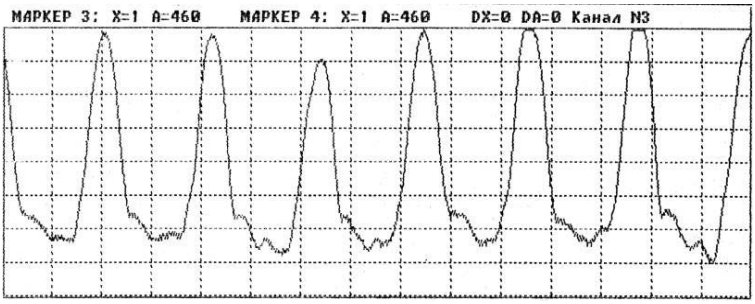


Рис.13. Контрольна фотоплетизмограма

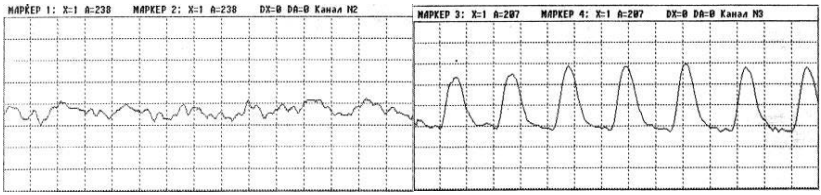


Рис. 14. Приклади отриманих фотоплетизмограм

Дослідження впливу лазерного випромінювання на клітини крові методом лазерної рефрактографії

Отримання рефракторами дає можливість здійснювати експериментальну діагностику середовища крові оскільки є температурний контроль, тому 2D лазерна рефрактографія дає можливість слідкувати за градієнтом температур. Блок-схема установки представлена на рис. 15.

Для експериментальних досліджень використовуються зразки капілярної і венозної крові. Отримано лазерні рефракторами досліджуваних зразків з використанням джерела лазерного випромінювання (λ=635 нм., потужністю W=5 мВт.)

Отримані рефракторами дають можливість виявити, що розподіл температури в шарі крові є нерівномірним, що пов’язано з поглинанням енергії еритроцитами кожного шару. Лазерна рефрактографія дає можливість здійснювати діагностику середовища і досліджувати інтерференційні ефекти, які несуть додаткову інформацію. Крім того, спостереження розсіяного малими частинками лазерного випромінювання дає можливість візуалізувати область дослідження (рис. 16).

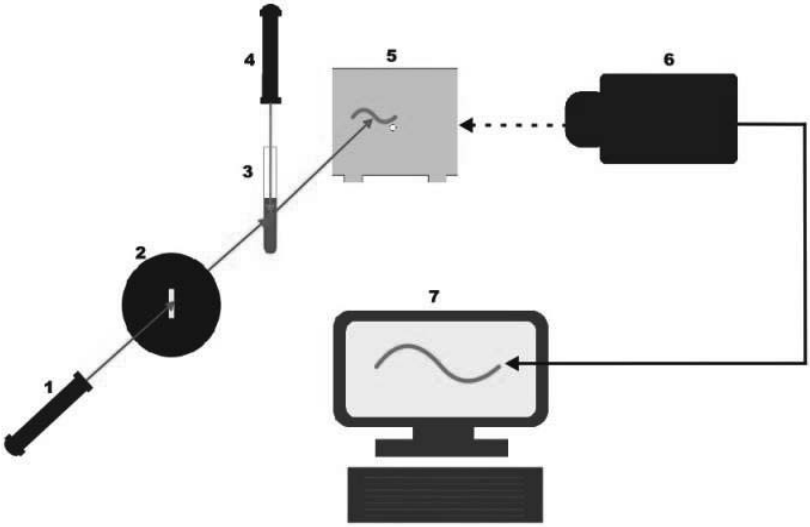


Рис. 15. Блок-схема експериментальної установки. 1 - лазерне джерело, в якості випромінювача використовувався діод ний лазер з довжиною хвилі λ=635 нм., потужністю W=5 мВт.; 2 – пристрій для створення плоско структурованого лазерного пучка.; 3 – досліджуваний зразок. ;4 – лазерне джерело для нагрівання досліджуваного зразка, напівпровідниковий лазер з довжиною хвилі λ=405 нм., потужністю W=10 мВт.; 5 – екран.; 6 – фотокамера.; 7 – комп'ютер з програмним забезпеченням.

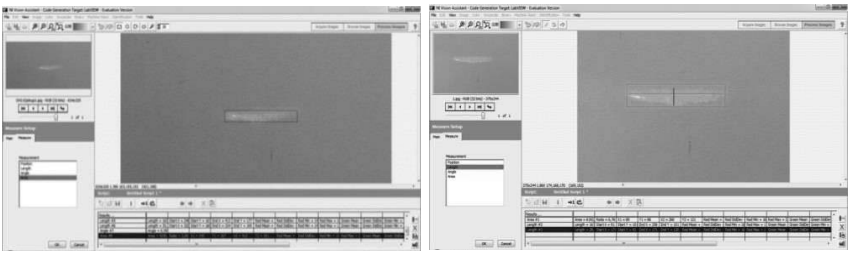


Рис. 16. Обробка лазерних рефрактограм зразка крові

Список використаних джерел

1. Думенко В.П. Аналіз методів взаємодії оптичного випромінювання з біотканинами і шляхи їх удосконалення / С.В.Павлов, В.П.Думенко, Т.І.Козловська та ін. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах.– 2008. – №2. – С. 129-135.

2. Павлов С.В. Фізичні основи біомедичної оптики / С.В. Павлов,

В.П. Кожем′яко, В.П. Думенко, П.Ф. Колісник. - Вінниця: ВНТУ, 2011.-152 с.

3. Тучин В.В. Оптика биологических тканей. Методы рассеяния света в медицинской диагностике / В.В. Тучин. – М.:ФИЗМАТЛИТ, 2013. – 812 с

4. Мартинин В.В. Лазерная техника сегодня и завтра / В.В.Мартинин. – М.: 2002. – 58 с.

5. Думенко В.П. Аналіз методів розповсюдження випромінювання в біологічних середовищах на основі застосування методу Монте-Карло / С.В.Павлов, Т.І.Козловська, В.П.Думенко // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2008. – №2 (16). – С.139-144.

6. Аксенов Е.Т. Модифицированный лазерный дифрактометр для исследования биологических микрообъектов / Е.Т. Аксенов, Д.В. Мокрова / Письма в ЖТФ, 2008, том 34, вып. 20. – С.38-43.

7. Цмуз Т.П. Дифракційні методи для дослідження біологічних обєктів/ Т.П. Цмуз. В.П. Думенко // Перспективи розвитку сучасної науки. Матеріали ІІІ Міжнародної науково-практичної конференції – У 2-х частинах. – Херсон : Видавничий дім «Гельветика», 2015.– Ч. ІІ. – С. 90 – 93.

8. Victoria P Dumenko Device to determine the level of peripheral blood circulation and saturation / Tetyana I Kozlovska, Sergii V Sander, Sergii M Zlepko, Valentina B Vasilenko, Volodymyr S Pavlov, Andrii Yu Klapouschak, Marcin Maciejewski, Róża Dzierżak, Wojciech Surtel // Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments . - International Society for Optics and Photonics. – 2016. - 100312Z-100312Z-6

9. Думенко В.П. Розробка дистрибутивної функції відбивної здатності поверхонь для відтворення біомедичних зображень / С. В. Павлов, С. О. Романюк, В.П. Думенко //Вісник Хмельницького національного університету. – 2016. - №2(235). – С. 80-84.

10.Думенко В.П. Оптико-електронний мультиспектральний пристрій для визначення стану периферичного кровообігу / С.В. Павлов, Т.І. Козловська, В.П. Думенко, О.О. Сидорук //Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2016. –№2 (30). – С. 50-54

11.Думенко В.П. Оцінювання метрологічних характеристик фотоплетизмографічного приладу діагностування стану периферичного кровообігу/ С.М. Злепко, Т.І. Козловська, В.А. Стасенко, В.С. Павлов, В. П. Думенко // Інформаційні технології та

комп'ютерна інженерія. - 2016. –№1 (35). – С. 4-12.

12.Цмуз Т.П., Думенко В.П. Дослідження деформаційних характеристик клітин крові лазерними дифракційними методами / Т.П. Цмуз, В.П. Думенко //Materials of the XII International scientific and practical conference, «Fundamental and applied science 2016», October 30 - November 7, 2016 on Physics, Mathematics . - Registered in ENGLAND & WALES .– P. 25 – 28.

13.Dr Dumenko Victoria P. Master Student (uczeń mistrza) Tatiana Tsmuz Fizyczne metody płynów biologicznych//Уральский научный весник т.11 №1. – Уральськ. – 2016. – С. 143 – 147.

14.Думенко В.П, Цмуз Т.П. Дослідження зміни агрегацій них властивостей крові при патологіях оптичними методами / В.П. Думенко, Т.П. Цмуз // Перспективные вопросы мировой науки. Матеріали XII міжнародної науково-практичної конференції. – София «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2016. – с. 57 - 65

15.Думенко В.П, Цмуз Т.П. Дослідження деформаційних характеристик клітин крові лазерними дифракційними методами / В.П. Думенко, Т.П. Цмуз // Fundamental and applied scinces. Materials XII International research and practice conference. – Sheffield: Science and educational LTD, 2016. – с. 25- 27

16.Думенко В.П., Цмуз Т.П. Дослідження біологічних рідин фізичними методами / В.П. Думенко, Т.П. Цмуз// Актуальные научные разработки. Материалы XI международной научной конференции. - София «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2017. – С. 44-50

17.Мищенко М. И. Электромагнитное рассеяние в случайных дисперсных средах: фундаментальная теория и приложения / М.И.Мищенко. - Киев - Нью-Йорк – 2007. – с. 32

18.Спасов А.А. Изучение агрегации эритроцитов на лазерном агрегометре / А.А. Спасов, О.В Островский., А.Н. Дегтярев, А.Ф. Кучерявенко // Коагулология – 2008. – Т.73, № 7. – С. 21-23.

19.Киричук В.Ф. Закономерности и механизмы биологического действия электромагнитных волн терагерцевого диапазона/ В.Ф. Киричук, А.А. Цымбал. – Саратов: Изд-во Сарат. гос. мед. ун-та, 2015. – 291 с.

20.Байбеков И.М. Влияние лазерного облучения донорской крови на форму эритроцитов / И.М. Байбеков, А.Ф. Ибрагимов, А.И. Байбеков. - Бюллетень экспериментальной биологии и медицины № 12. – 2011. — С. 703–707.

21.Рогаткин Д. А. Перспективы развития неинвазивной спекрофотометрической диагностики в медицине/ Д. А. Рогаткин,

Л. Г. Лапаева // Медицинская техника. – 2003. – № 4. – С. 31–36.

22.Jolliffe I.T. Principal Component Analysis, Series: Springer Series in Statistics, 2nd ed., Springer, NY, 2002, XXIX, 487 p. 28 illus. ISBN 978-0-387-95442-4.

23.Симоненко Г.В. Оптические свойства биологических тканей / В.Г. Симоненко, В.В. Тучин. – Учебно-методическое пособие, 2007. – 48 с.

24.Илларионов В.Е. Техника и методика процедур лазерной терапии / В.Е.Илларионов. – М.: 2001. – 72 с.

25.Думенко В.П., Цмуз Т.П. Фізичне моделювання і дослідження зміни реологічних властивостей крові //Материали за XIV международна научна практична конференция, Бъдещите изследвания - 2018 , 15-22 февруари 2018 г.: София.« Бял ГРАД-БГ » . – С. 82-85.

26.Думенко В.П., Франчук Т.П. Застосування лазерної рефрактографії для дослідженя крові //Materiály XIV Mezinárodní vědecko - praktická konference «Věda a technologie: krok do budoucnosti -2018», Volume 8 : Praha. Publishing House «Education and Science» . – С. 79-83.

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ІМПЕДАНСУ МДН-ТРАНЗИСТОРІВ

Кравчук Н.С.
кандидат технічних наук

3.1. Дослідження реактивних властивостей МДН-структур

1. Методи дослідження імпедансу напівпровідникових приладів

Розвиток різноманітних методів визначення імпедансу напівпровідникових приладів та створення на їх основі радіовимірювальних пристроїв різного призначення стало результатом дослідження напівпровідникових структур, зокрема їх реактивних властивостей [31].

Одним із відомих методів дослідження реактивних властивостей МДН-структур є метод заміщення. Метод ґрунтується на припущенні про те, що можна підібрати елемент напівпровідникового приладу, котрий має відоме значення вимірюваного параметра [5].

Приклад методу заміщення - вимірювання великого електричного активного опору шляхом почергового вимірювання сили струму, що протікає через контрольований і зразковий резистор. Живлення кола при вимірюванні повинно здійснюватися від одного джерела постійного струму. Вихідний опір джерела струму і вимірювального приладу - амперметра - повинен бути досить малим порівняно з вимірюваними опорами.

Даний метод вимірювання є достатньо простим та зручним, проте він передбачає знання характеру вимірюваного повного опору заздалегідь до проведення досліду, що не завжди можливо. Якщо характер досліджуваного опору змінюється протягом досліду, то вимірювання взагалі важко виконати. Точність вимірювання за цим методом невелика [32, 33].

На практиці широко застосовуються місткові методи вимірювання електричних параметрів напівпровідникових структур [32]. Ці методи принципово відрізняються від методу заміщення тим, що в них використовуються одночасно порівняння вимірюваної величини з мірою або з допоміжною величиною, яка відіграє роль проміжної міри. Як правило, використовують місткові схеми з повним зрівноваженням [32, 33].

Основна перевага місткових методів полягає в високій точності вимірювання, вимірювальний підсилювач виконує в цих схемах лише функцію індикаторного балансу. Тому на результаті вимірювання не відображаються похибки градуювання вихідного приладу, нелінійність детектора, нелінійність амплітудної характеристики

підсилювача та зміна коефіцієнта підсилення. Поряд із перевагами місткові методи вимірювання мають істотні недоліки. Їх чутливість низька, тому доводиться виконувати спеціальні каскади підсилення високої частоти, а далі каскади узгодження підсилювачів з містком. Крім того, високочастотні містки потребують спеціальних мір для компенсації паразитних індуктивностей та ємностей, що значно ускладнює вимірювальну установку.

Історично перший, найпростіший і найпоширеніший варіант мостових вимірювань був реалізований за допомогою чотириплечового зрівноваженого містка.

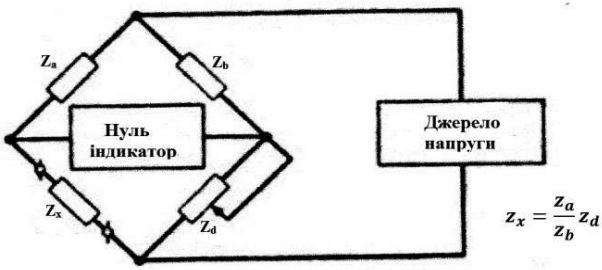


Рис. 1. Місткова схема (схема містка Уітстона)

Різновидом чотириплечого містка змінного струму є резонансні містки. Крім чотириплечових застосовуються більш складні місткові схеми - подвійні містки на постійному струмі і багатоплечові (шести- або семиплечові) - на змінному. Умови рівноваги для цих кіл, природно, відрізняються від наведених вище [34].

Методом, що враховує недоліки вищерозглянутих, є фазометричний метод, який широко застосовується для вимірювання повних опорів напівпровідникових приладів. До того ж, порівняно з іншими відомими методами, він має найбільшу чутливість, оскільки дія його ґрунтується на визначенні зсуву фаз [33, 35, 36].

2. Дослідження реактивних властивостей біполярних транзисторів

Дослідження імпедансу біполярного транзистора [5] показало, що робота транзистора в реальних умовах залежить від фізичних процесів, що відбуваються як в активній, так і в пасивній частинах базової області. Особливо зростає роль пасивної частини базової області при високих рівнях інжекції. У зв'язку з цим були проаналізовані теоретичні передумови, що дозволяють визначити

електричне поле базової області з врахуванням її пасивної частини. Знання напруженості електричного поля базової області транзистора дозволяє визначити падіння напруги на ній. В результаті вирішення рівняння переносу було отримано розподіл концентрації носіїв струму, які визначають струми через переходи та базу транзистора. Таким чином, знаючи змінні струми і напруги, можна визначити повні вхідні й вихідні опори, на основі яких знайдемо значення індуктивності і добротності транзистора.

Основи фізичних явищ

Виникнення індуктивних властивостей в транзисторних структурах пов'язане зі скінченною швидкістю руху носіїв струму в базі транзистора. Сигнал, прикладений до емітера, не може з'явитися в колекторі, доки носії струму дифундують через базу, результатом чого є запізнення в часі, що має назву часу переходу.

Розглянемо розподіл дірок в області бази при невисокому рівні інжекції (рис.1). Якщо тепер до емітера прикласти стрибок напруги, то відбудеться раптове зростання щільності дірок біля емітерного переходу, що викликає раптове проходження струму слідом за цим стрибком напруги. З графіка, поданого на рис.2, видно, що залежність напруги і струму емітера нагадує залежність струму і напруги в колі з паралельним з'єднанням опору та ємності.

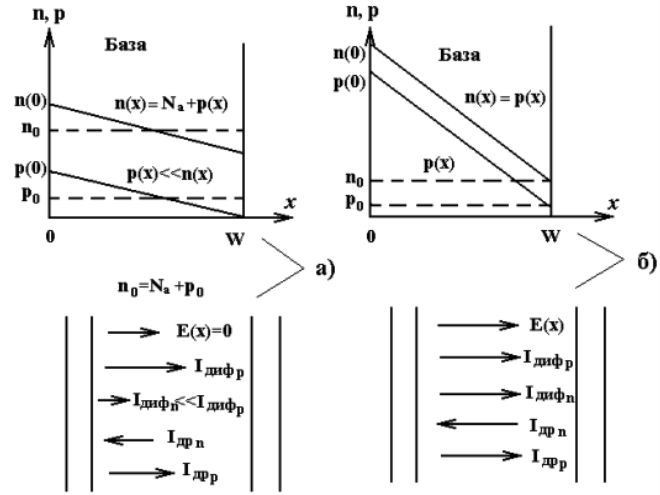


Рис. 2. Розподіл концентрації носіїв заряду і струмів в базовій області транзистора при низькому (а) і високому (б) рівнях інжекції.

З аналізу струму, що пересікає перехід база-колектор (див. рис.1)

видно, що після того, як імпульс подано до емітера, щільність дірок в колекторному переході зростає, безперервно наближаючись до свого рівноважного значення. Вигляд кривої колекторного діркового струму подано на рис.3, б. Згідно рисунка залежність струму колектора від напруги емітера нагадує залежність струму від напруги в послідовній ланці з опору й індуктивності.

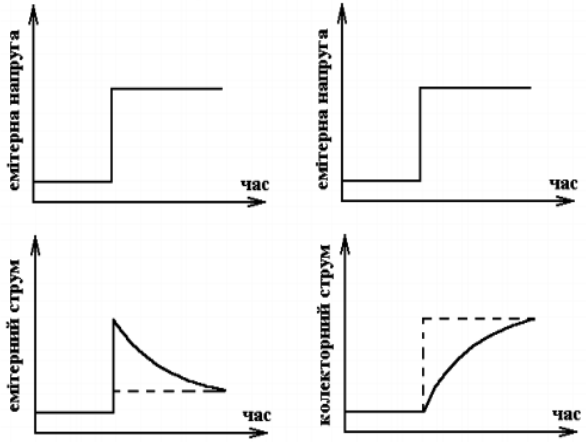


Рис. 3. Залежність від часу емітерної напруги і емітерного струму (а), емітерної напруги і колекторного струму (б).

Ця модель дає якісну картину виникнення індуктивності в транзисторі, але вона не враховує електричного поля в базовій області, що створене в результаті високого рівня інжекції, зарядних ємностей переходів, розподільного опору бази, зміни ширини колекторного переходу.

Для одержання кількісних співвідношень і більш точної моделі виникнення індуктивності в транзисторі необхідно розглянути процеси переносу носіїв струму в базовій області транзистора з врахуванням вище зазначеного.

Перш за все визначимо, при яких струмах треба враховувати ефект високого рівня інжекції. При W=10 мкм, D_p= 44 см^2/с, N_d=10^{14} см $^{-3}$ і q=1,6·10^{-19} Кл одержуємо густину струму j=0,7 А/см^2, а для площі емітеру S_e=10^{-3} см^2 емітерний струм I=0,7 мА. Цей приклад показує, що явища, пов’язані з високим рівнем інжекції, необхідно враховувати вже при порівняно малих струмах. Можна рекомендувати як умовну межу для низькочастотних слабопотужних бездрейфових транзисторів струм емітеру порядку 0,5...1 мА.

Найбільш важливими при високому рівні інжекції є ефекти, які зумовлені:

а) об'ємними опорами, особливо тими з них, які викликають витиснення струму;

б) об’ємним зарядом рухомих носіїв;

в) модуляцією провідності бази, яка спричиняє зменшення ефективності емітера;

г) виникненням індуктивних властивостей на електродах транзистора в динамічному режимі.

Одним з негативних явищ, які супроводжують ефект високого рівня інжекції, є відтиснення струму інжектованих неосновних носіїв до краю емітера. Це явище полягає в наступному. По мірі зростання струму в транзисторі базовий струм підвищується швидше, ніж струм емітера, тому що $h_{12б}$ знижується з ростом I_e, отже підсилюється падіння напруги на базі, зумовлене протіканням радіально направленого дрейфового електронного струму бази в конструкціях транзистора з кільцевою базою. Дрейфове електричне поле, направлене радіально від центральної осі структури, відтісняє струм неосновних носіїв, які рухаються до колектору в напрямку до зовнішнього краю емітера. В цих областях густина струму підвищується. При дуже високій густині струму практично тільки зовнішня кільцева область інжектує носії, площа якої значно менша, ніж дійсна площа емітера. Виникає як би самозапирання внутрішньої області емітера. Згідно аналізу, виконаному Флетчером, ефект відтиснення стає більш помітним з підвищенням густини струму, зменшенням ступеню легування, товщини бази і коефіцієнту передачі струму. Внаслідок ефекту відтиснення в області підвищених густин струмів високий рівень інжекції наступає раніше. Для ослаблення ефекту відтиснення необхідно при заданій загальній поверхні емітера одержати як можна більшу поверхню емітуючої області і як можна меншу відстань від емітера до електрода бази. Ці умови можна виконати, створюючи спеціальні структури транзисторів, а саме: смужкові й кільцеві, в яких концентричні кільця емітера й бази чергуються, та гребінкові для режимів роботи при дуже великих струмах.

Ефекти витиснення супроводжуються цілим рядом інших додаткових явищ: підсиленням поверхневої рекомбінації, що приводить до зменшення коефіцієнту переносу; підсиленням ефекту відтиснення підвищенням струму носіїв, які рухаються в напрямку до поверхні через відтиснення лінії струму до зовнішніх областей емітера;

підвищенням в 1,5 ...3 рази дифузійної ємності емітера в порівнянні із значенням, що витікає з одномірної моделі транзистора; частковим зниженням граничних частот при високих густинах струму через те, що носії заряду повинні проходити великий дифузійний шлях від краю емітера до краю колектора, та, накінець, по мірі підвищення частоти сигналу базовий струм зростає і, отже, підсилюється тенденція до відтиснення струму та в умовах протікання змінного струму при малих постійних струмах бази.

При високих рівнях інжекції ефекти, зумовлені об'ємним зарядом, виникають всередині й біля збідненого шару переходу база - колектор, де рівень легування стає найнижчим. Потік рухомих носіїв через збіднений шар колекторного переходу підвищує густину об'ємного заряду з боку бази і зменшує її з боку колектора. Отже, існує тенденція зміщення збідненого шару в напрямку до колектора, що веде до розширення бази і збідненого шару колекторного переходу.

Хоча в транзисторі, створеному за допомогою подвійної дифузії, рівні легування бази перевищують відповідні рівні легування колектора, концентрації рухомих носіїв в базі також перевищують відповідні величини в колекторі. Отже, значні нелінійності в цій області можуть бути приблизно при тих же струмах, при яких відбувається розширення бази й збідненого шару. В цьому випадку розподіл поля, довгодія неосновних носіїв і провідність базової області стають залежними від струму. Таким чином, навіть у старанно сконструйованому і виготовленому транзисторі умови є настільки невизначеними, що неможливо розрахунковим способом із будь-якою прийнятою точністю оцінити вказані ефекти. Ці ефекти піддаються тільки якісному аналізу і в цьому плані поведінка транзистора відповідає наведеному вище опису .

Теоретичні передумови визначення електричного поля в базовій області

Наближення Вебстера [37-39] неможливо використовувати для визначення електричного поля в базовій області транзистора. Дійсно, в транзисторі типу *p-n-p* струм проходить через обидва переходи і переноситься в основному дірками, отже $j_n \ll j_p$ в повздовжньому напрямку, що цілком припустимо. Але вздовж поперечного шляху, для якого j_p також мале, немає ніяких умов вважати, що $j_n = 0$. Окрім того, це наближення не може бути повністю поширене на режим по змінному струму, тому що дві складові струму, що визначають j_n (дифузія і провідність) , розрізняються за фазою.

Ідею визначення електричного поля в базовій області транзистора з того факту, що $div\, j = 0$ і база квазінейтральна, висловили Ебнер та Грей [39]. Ці два припущення є основою біполярної теорії. Для одномірного випадку $div\, j = 0$, а це означає постійність струму $j = j_n + j_p = const$.

Головні риси теорії Ебнера-Грея можна сформулювати наступним чином:

а) при високому рівні інжекції струм подвоюється. Електронним струмом знехтуємо тільки поблизу емітерного переходу:

$$I_e = -qS_E D_P \left(1 + \frac{p_E}{n_E}\right) dp/dx|E = -2qS_E D_P dp/dx|_E \quad (1)$$

Якщо емітер легований достатньо сильно (10^{19} 1/см^3), то знехтування електронним струмом буде справедливим аж до високих рівнів інжекції;

б) падіння напруги в базовій області визначається лінійним інтегралом $\int Edl$. Напруга на ділянці бази від емітерного переходу до базового контакту [39]:

$$U_{ES} = \frac{\left(\frac{kT}{q}\right)(b-1)}{(b+1)ln\left[\frac{p_e + k'(n_0 - p_0)}{p_k + k'(n_0 - p_0)}\right]} = \frac{b-1}{b+1} U_E. \quad (2)$$

де $k' = \frac{b}{b+1}$;V_E- напруга на емітерному переході. Для транзистора *n-p-n* величину b замінимо на 1/b. Отже, використовуючи параметр m Ебнера-Грея, можна записати:

$$p - n - p \qquad \frac{b-1}{b+1} = m, \quad k' = \frac{b}{b+1} = \frac{1}{2}(1+m), \quad (3)$$

$$n - p - n \qquad \frac{b-1}{b+1} \to \frac{\frac{1}{b}-1}{\frac{1}{b}+1} = -m, \quad k' \to \frac{1}{2}(1-m). \quad (4)$$

в) падіння напруги на ділянці бази від емітера до колектора [39]

$$U_{EK} = \int_{1_e}^{1_k} \frac{I(1)d1}{S(1)q[\mu p(1) + \mu n(1)]} + \frac{kT(b-1)}{q(b+1)} ln\left[\frac{p_e + k'(n_0 - p_0)}{p_k + k'(n_0 - p_0)}\right]. \quad (5)$$

Цей вираз має дві складові, одна з яких - омічне падіння напруги, а друга - об'ємна напруга.

Суттєвим недоліком біполярної теорії Ебнера-Грея по визначенню напруженості електричного поля в базовій області є відмова від розгляду базового струму, що призводить до непридатності одержаних результатів для реальних транзисторів. Проте робота транзистора в реальних умовах залежить від фізичних процесів, що відбуваються як в активній, так і в пасивній частинах базової області. Особливо зростає роль пасивної частини базової області при високих рівнях інжекції. Отже, біполярну теорію по визначенню електричного поля необхідно

поширити на всю базову область транзистора. В цьому випадку необхідно розв'язувати трьохмірну задачу, що досить складно. Без розв'язання цієї задачі проблема полегшується використанням важливої властивості, яка справедлива для будь-якого замкнутого контура в базовій області [39]:

$$\oint (J/б) dl = 0, \tag{6}$$

і це є прямим наслідком умови квазінейтральності бази. Квазінейтральність бази підтримується в кожний момент часу, коли його інтервал більше часу діелектричної релаксації.

Рівняння (6) дозволяє визначити падіння напруги в базовій області транзистора. Асиметрія для *p-n-p* і *n-p-n* транзисторів залишається в силі і параметр m, що характеризує високий рівень інжекції, присутній в результатах.

Визначення повного опору базової області

Розгляд фізичних процесів в базовій області транзистора в динамічному режимі при високих рівнях інжекції пов'язано з визначенням фізичного механізму виникнення індуктивних якостей і кількісної оцінки індуктивності. Для цього необхідно визначити повний опір вхідного кола транзистора, що складається з повного опору емітерного переходу і повного базового опору на основі рішення спільних рівнянь, що характеризують поведінку носіїв в базі транзистора. Такими рівняннями є біполярне рівняння переносу і рівняння поля.

Запишемо рівняння переносу носіїв струму в базовій області:

$$\frac{d[p(r,t)]}{dt} = G' - R' - \left(\frac{\mu_a J}{б}\right)\frac{dp}{dr} + \frac{d}{dr}\left(D_a \frac{dp}{dr}\right), \tag{7}$$

де G′ і R′- складові, що визначають генерацію і рекомбінацію носіїв струму в базовій області, $\mu_a = \frac{\mu_n \mu_p (n-p)}{\mu_n n + \mu_p p}$ – коефіцієнт рухливості носіїв струму при біполярному дрейфі, J – густина загального струму дифузії при біполярному дрейфі; n, p - концентрація відповідно нерівноважних електронів і дірок в базовій області,

$$D_a = \frac{D_n D_p}{D_p p + D_n n} = \frac{2b}{b+1} D_p.$$

Для рішення використаємо функцію Гріна [39]. За її допомогою в інтегральній формі записується рішення диференціального рівняння (7). Структура планарного транзистора типу *p-n-p* з напрямком струмових шляхів наведена на рис. 4.

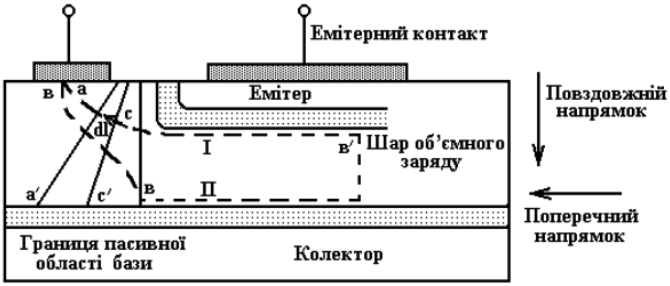


Рис. 4. Структура транзистора з напрямком струмових шляхів.

Будемо вважати, що прикладена напруга складається з постійної складової, на яку накладається мала змінна складова $qU_{e1}/kT \ll 1$. Отже,

$$p(r,t) = p_0(r) + p_1(r,\omega)exp(i\omega t), \quad (8)$$

де $p_0(r), p_1(r,\omega)$ - концентрація дірок, що визначається відповідно постійною і змінною напругами.

Після підстановки (8) в рівняння (7) для змінного струму запишемо так [38]:

$$\frac{d}{dt}[p_1(r,\omega)] = i\omega p_1(r,\omega) + \frac{p_1(r,\omega)}{\tau(r)} + \\ + \frac{\mu_a(r)}{б_a(r)} I_0(r) \frac{d}{dr}[p_1(r,\omega)] - \frac{d}{dr}\left[D_a(r)\frac{dp_1(r,\omega)}{dr}\right] \quad (9)$$

Рішення (9) з врахуванням густин змінних струмів на кордоні емітера і колектора має вигляд:

$$p_1(r,\omega) = \frac{b}{(b+1)q} I_{e1}(\omega) G_0(r, l_e, i\omega) + (\frac{1}{q}) I_{k1}(\omega) G^0(r, I_k, i\omega). \quad (10)$$

Залежність напруженості електричного поля в базовій області від координат і часу визначається з рівняння для густин струмів, що складається з дифузійної й дрейфової складових:

$$I = q\left[\left(D_n\frac{dn}{dr}\right) - \left(D_p\frac{dp}{dr}\right)\right] + q\left(\mu_n n + \mu_p p\right)E \quad (11)$$

Отже, напруженість електричного поля після підстановки відповідних значень в (11):

$$E(r,\omega) = \frac{kT}{q}\left\langle\frac{b-1}{b+1} \times \frac{d}{dr}\left[\frac{p_1(r,\omega)}{p_0(r)+k\prime(n_0-p_0)}\right] + \frac{1}{qD_p(b+1)}\left[\frac{I_1(r,\omega)}{p_0(r)+k\prime(n_0-p_0}\right] - \\ \frac{I_0(r)}{qD_p(b+1)} \times \frac{p_1(r,\omega)}{[p_0(r)+k\prime(n_0-p_0)]}\right\rangle \quad (12)$$

На підставі (10) і (12) одержимо повний опір активної частини базової області [39]:

$$Z_б = \frac{kT}{q^2 D_p(b+1)} \int_e^k \frac{dl}{S(l)[p_0(l)+k'(n_0-p_0)]} - \frac{I_e kTb}{q^3 D_p(b+1)^2 G^0(l_k,l_k,\omega)} \times$$
$$\int_e^k \frac{G^0(l,l_e,i\omega)G^0(l_k,l_k,i\omega) - G^0(l_k,l_k,i\omega)G^0(l_k,l_k,i\omega)}{[p_0(l)+k'(n_0-p_0)]^2 S(l)} dl. \qquad (13)$$

В (13) перший член визначає опір активної області бази по постійному струму, а другий – опір цієї ж області, промодульований змінним струмом. Таким чином, спільне рішення рівняння переносу і рівняння поля при високому рівні інжекції дозволило визначити в загальному вигляді повний опір активної частини базової області транзистора, визначений через функцію Гріна.

Визначення індуктивності базової області

Для одержання кількісних співвідношень які визначають зв'язок індуктивності базової області з іншими параметрами транзистора, скористаємось з одномірної функції Гріна для високого рівна інжекції [39]:

$$G^0(l,l',i\omega) = \frac{ch\left[\frac{W-l}{L'_a}\right] ch\left(\frac{l}{L'_a}\right)}{S\left(\frac{D_a}{L_a}\right) sh\left(\frac{W}{L'_a}\right)}, \quad (l > l'), \qquad (14)$$

$$G^0(l,l',i\omega) = \frac{ch\left[\frac{W-l'}{L'_a}\right] ch\left(\frac{l}{L'_a}\right)}{S\left(\frac{D_a}{L_a}\right) sh\left(\frac{W}{L'_a}\right)}, \quad (l < l'), \qquad (15)$$

де $L'_a = \frac{L_a}{1+i\omega\tau}, L_a = (D_a\tau)^{1/2}, S = S_e,$ τ – час життя носіїв струму. Чотири функції Гріна в (13) можна замінити однією гібридною функцією Гріна $sh[h(W-1)]/S(D_a hch(hW)$.

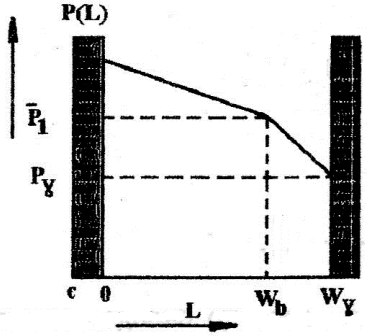


Рис. 5. Розподіл концентрації носіїв струму в базовій області транзистора.

З врахуванням цього значення (13) перетвориться до вигляду [39]:

$$Z_б = \frac{2kT}{qI_e(b+1)} \times$$

$$\times \langle \frac{1}{W}\int_0^W \frac{p_{e0}-p_{k0}}{p(l)+k'(n_0-p_0)}dl - \frac{1}{W^2 hch(Wh)}\int_0^W \frac{sh[(W-1)(p_{e0}-p_{k0})]^2}{[p(l)+k\prime(n_0-p_0)]^2}dl\rangle, \quad (16)$$

де $h = \frac{1}{L_a'} = \frac{(1+i\omega\tau)^{1/2}}{(D_a\tau)^{1/2}}$.

Значення концентрації дірок, зумовленої постійною напругою, $p_0(l)$ можна записати у вигляді лінійного розкладання (рис.5):

$$p_0(l) = (p_{e0} - p_{k0})\left[\frac{W-1}{W}\right] + p_{k0}. \quad (17)$$

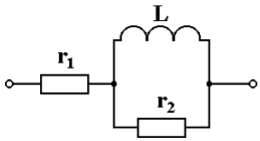


Рис. 6. Еквівалентна схема індуктивного опору бази.

Підставивши (17) в (16) і розклавши гіперболічні функції в ряд із збереженням перших членів розкладання, запишемо (16) наступним чином:

$$Z_б = \frac{2kT}{qI_e(b+1)}\langle \frac{1}{W}\int_0^W \frac{p_{e0}-p_{k0}}{(p_{e0}-p_{k0})(W-1)/W+p_{k0}+k'(n_0-p_0)}dl - \frac{1}{W^2(1+0{,}5h^2W^2)}\int_0^W \frac{h(W-1)(p_{e0}-p_{k0})^2}{[(p_{e0}-p_{k0})(W-1)/W+p_{k0}+k\prime(n_0-p_0)]^2}dl\rangle. \quad (18)$$

При умові ωτ≫ 1 і рішенні інтегралів в (18) отримаємо:

$$Z_б = \frac{2kT}{qI_e(b+1)}\left[1 + \frac{i\omega L_б/r_1}{1+i\omega(\frac{L_б}{r_2})}\right], \quad (19)$$

де

$$L_б = r_1(\frac{W^2}{2D_a})\left[ln\frac{p_{e0}+k\prime(n_0-p_0)}{p_{k0}+k\prime(n_0-p_0)} - 1\right], \quad (20)$$

$$r_1 = \frac{2kT}{qI_e(b+1)}, \quad (21)$$

$$r_2 = r_1\left[ln\frac{p_{e0}+k\prime(n_0-p_0)}{p_{k0}+k\prime(n_0-p_0)} - 1\right]. \quad (22)$$

Отже (18) описує електричне коло, що складається з паралельного з'єднання індуктивності $L_б$ і опору r_2 (рис.6). Моделювання фізичних процесів в базовій області за допомогою такої конфігурації електричного кола p-n структури описано в [37]. Але в цьому випадку значення елементів описується іншими формулами через те, що розглядаються процеси в p-n- p структурах.

Формула індуктивності для дрейфового транзистора визначається з (20) з врахуванням впливу вбудованого електричного поля на

коефіцієнт D_a, отже

$$L_{бдр} = \frac{W^2 kT}{2qI_e bD_p}(1 + a_м a_е L_p{}^2)\left[ln\frac{p_{e0}+k\prime(n_0-p_0)}{p_{k0}+k\prime(n_0-p_0)} - 1\right], \quad (23)$$

де $a_м = \frac{1}{W} ln\frac{D_{pk}}{D_{pe}}$ – фактор рухливості носіїв, $a_е = \frac{1}{W} ln\frac{N_{de}}{N_{dk}}$ – фактор електричного поля в базі.

Аналіз фізичних процесів

Проаналізуємо одержані вирази (20) і (23). Повний опір базової області матиме індуктивний характер в тому випадку, якщо

$ln\frac{p_{e0}+k\prime(n_0-p_0)}{p_{k0}+k\prime(n_0-p_0)} > 1.$

Критичне значення концентрації неосновних носіїв (дірки) по відношенню до основних (електрони) буде визначатися наступним чином:

$$p_{e0} = 2{,}56n_0. \quad (24)$$

Рівняння () можна спростити :

$$L_б = r_1 \frac{W^2}{2D_a}\left[\frac{qU_s}{kT} - 1\right], \quad (25)$$

де $ln\frac{p_{e0}+k\prime(n_0-p_0)}{p_{k0}+k\prime(n_0-p_0)} = \frac{qU_s}{kT}$.

Величина $L_б$ матиме позитивне значення при умові $\frac{qU_s}{kT} > 1$.

Таким чином, падіння постійної напруги U_s на базовій області буде рівнятися температурному потенціалу $\frac{kT}{q}$, який при кімнатній температурі може досягти 0,026В. Зростання струму емітера, який суттєво перевищує значення струму інверсії (струм, при якому ємнісний характер повного опору стає індуктивним), сприяє зменшенню індуктивності 1 ККД пристрою. Аналіз (24) дозволяє сформулювати вимоги до напівпровідникового матеріалу, який повинен мати великий питомий опір. Це призводить до низьких значень струму інверсії. Отже, існує можливість керування індуктивністю транзисторів як електричним, так і технологічним шляхом. Введення додаткового інжектуючого *p-n* переходу створює умови для керування електричним полем в базовій області транзистора.

Розглянемо, як це відбувається. Інжектовані дірки створюють зайвий позитивний заряд біля емітера, який підвищує напруженість електричного поля між емітером та колектором. В свою чергу це поле викликає дрейфовий струм основних носіїв - електронів в напрямку до емітера. Отже, відбувається зростання густини електронів біля емітера, який намагається компенсувати заряд інжектованих дірок і

електричне поле. Стійкий стан досягається тоді, коли приріст густини заряду стає достатнім для того, щоб утворити електричне поле такого значення, щоб воно було здатне зробити розподіл електронів за формою майже однаковим з розподілом дірок. Але це ще не все. Завдяки наявності в базі градієнта густини електронів то стає можливим потік електронів від емітера до колектора в результаті дифузії. Щоб одержати розподіл електронів в стійкому стані, можливість дифузії повинна компенсуватися можливістю дрейфу в протилежному напрямку внаслідок наявності електричного поля.

Отже, не дивлячись на те, що електронний струм в базі скрізь дорівнює нулю, електричне поле в базі створює дірковий дрейфовий струм, який сприяє дірковому дифузійному струму. Тому загальний дірковий струм виявляється більшим, ніж вичислений тільки один дифузійний струм.

Прикладення змінного сигналу в цих умовах приводить до зміни в часі кількості носіїв заряду в кожній локальній області бази, що, в свою чергу, приводить до перебудови електричного поля в базі. Безумовно, ці процеси інерційні по відношенню до процесу зміни напруги на емітерному *p-n* переході. Падіння напруги на ньому встановлюється за інтервал часу набагато менший часу життя дірок в базі (як мінімум на порядок) [40]. Тривалість процесу зміни опору бази, зумовленого перерозподілом носіїв заряду, також менше часу життя τ, але воно значно менше часу встановлення напруги на p-n переході . Відставання зміни заряду в базі від напруги сприймається на зовнішніх електродах як індуктивна реакція.

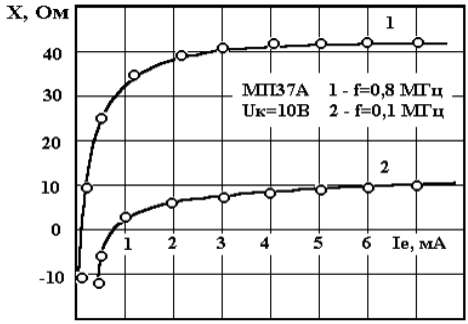


Рис. 7. Експериментальна залежність реактивної складової повного опору від струму емітера.

Індуктивний опір в залежності від частоти буде зростати до тих пір,

поки час проходження бази неосновними носіями стане сумісним з періодом прикладених коливань. Подальше підвищення частоти приводить до того, що концентрація неосновних носіїв в базі не встигає йти за зміною граничних значень змінного струму, що викликає зменшення індуктивності.

Отже, індуктивні властивості транзистора виявляються в певному діапазоні частот, коли виконується умова $\omega\tau > 1$. З підвищенням частоти напруга, при якій ємнісні властивості транзистора переходять на індуктивні, зміщується в бік менших значень (рис.7).

Аналогічна картина спостерігається при підвищенні температури (рис.8).

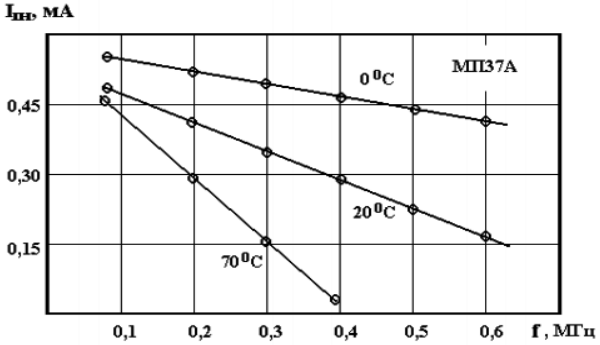


Рис. 8. Експериментальна залежність струму інверсії від частоти.

При більших частотах прикладеного сигналу в області бази відбувається зростання об'ємного позитивного заряду, створеного дірками, які за період прикладених коливань не встигають дійти до колекторного переходу. В цьому випадку інжекцію неосновних носіїв необхідно зменшити на величину концентрації дірок, затриманих в базі, для збереження умов електричної нейтральності бази. Це можна зробити за рахунок зменшення прямого струму емітерного переходу, що викликає зменшення значень напруги, при якій ємністні властивості транзистора переходять в індуктивні. З підвищенням температури від негативних до позитивних значень зростає концентрація неосновних носіїв заряду в базі. Це є наче додатковий інжектуючий механізм. Отже, для підтримання електричної нейтральності бази необхідно зменшити інжекцію носіїв з емітерного переходу, що сприяє зниженню значень інверсної напруги.

Індуктивність зменшується за експоненціальним законом з під-

вищенням прикладеної до переходу емітер-база постійної напруги. Це зумовлено тим, що електричне поле в базі, яке виникає при високому рівні інжекції, впливає на струм дірок, що рухаються від емітера до колектора аналогічно тому, як це спостерігається у дрейфовому транзисторі. Але між інжекційним полем і вбудованим полем дрейфового транзистора є суттєва різниця. При високому рівні інжекції електричне поле в базі і компенсуючий дрейфовий струм також виникають внаслідок неоднорідного розподілу концентрації основних носіїв, але причиною зміни концентрації основних носіїв є сильна інжекція неосновних носіїв. Інжекційне поле прискорює рух неосновних носіїв від емітера до колектора, що приводить до зменшення індуктивності.

З підвищенням товщини бази дифузійна довжина неосновних носіїв стає порівняльною з товщиною бази, що сприяє підсиленню процесів рекомбінації й підвищенню часу проходження бази, а це зумовлює зростання індуктивності. Підвищення напруженості вбудованого електричного поля дрейфового транзистора призводить до більш швидкого пересування носіїв заряду від емітера до колектора, що зменшує індуктивність. Залежність індуктивності від температури має більш складний характер. В області низьких температур (- 40 - +40°С) її значення пропорційно $1/T^4 exp(aT)$, а в області високих температур (40-100^{oC}) – $T^2 exp(aT)$.

Існує інша можливість керування значенням індуктивності. Це введення другого електрода в базову область. Зміна постійної напруги, прикладеної до базових виводів, або гальмуватиме або прискорюватиме рух носіїв струму через цю область, а це спричиняє зміну значень індуктивності.

Ця теоретична модель виникнення індуктивності в транзисторі не враховує впливу зовнішніх параметрів, не пов’язаних безпосередньо з процесами переносу носіїв. До них відносяться бар'єрні ємності емітерного й колекторного переходів, індуктивності дотичок ємності. Безумовно, зовнішні параметри викликають суттєвий вплив на індуктивність, яка виникає в результаті переносу носіїв в області бази,і цей фактор необхідно враховувати. Це можна зробити на підставі розрахунку індуктивності, виходячи з нової еквівалентної схеми транзистора.

Отже, фізичний механізм виникнення індуктивних властивостей в динамічному режимі пов’язаний з запізненням в часі зміни концентрації неосновних носіїв струму по відношенню до змінної напруги, що викликає їх інжекцію в базову область, в результаті ди-

фузійного механізму і впливу на них інжекційного електричного поля.

Теоретичний аналіз індуктивного ефекту, дозволив встановити аналітичну залежність індуктивності від параметрів транзистора, напівпровідникового матеріалу, який показав лінійну залежність від товщини бази і падіння напруги на ній, і зворотну від струму емітера та коефіцієнта двухполярної дифузії.

На основі теоретичного аналізу сформульовані наступні вимоги до конструкції індуктивних елементів з оптимальними параметрами:

а) необхідно вибирати високоомний базовий матеріал для забезпечення малих струмів, при яких виявляються індуктивні властивості:

б) в якості неосновних носіїв використовувати дірки:

в) товщина бази має бути достатньо великою ($W \geq L_P$) [41].

3. Дослідження реактивних властивостей польових транзисторів

Як відомо, за певних умов польові транзистори можуть служити аналогом індуктивності, величина якої може змінюватися під дією параметрів навколишнього середовища. На основі індуктивного ефекту в напівпровідниках можна створити нові елементи та пристрої мікроелектроніки, параметри яких можуть змінюватись в широкому діапазоні частот. Конструктивна простота, можливість виготовлення у вигляді інтегральних схем, відсутність впливу на сусідні вузли і елементи, підкреслюють перспективу їх застосування в різноманітних галузях науки і техніки [29, с.108].

Вважається, що індуктивний характер пристроїв обумовлений інерційними властивостями «електронно - діркової плазми» в каналі транзистора. Які, в свою чергу, істотно залежать від параметрів навколишнього середовища [28, с. 82].

Схематичне зображення двозатворного МДН - транзистора показано на рис.9. Такий транзистор можна розглядати як два однозатворних транзистора.

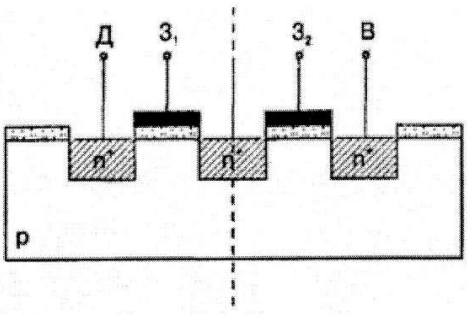


Рис. 9. Схематичне зображення структури

Так, дійсно, з незмінною напругою на затворі кожен з них представляє собою структуру n^+ - p - n^+ -типу. Тоді представлена

структура опишеться рівнянням для малого сигнального змінного струму

$$J = \rho_1 \upsilon_0 + \rho_0 \upsilon_1 + j\omega \in E_1, \quad (26)$$

$$\in \frac{dE_1}{dx} = \rho_1, \quad (27)$$

де ρ_1- об'ємна густина заряду, якщо є змінне електричне поле, ρ_0 - об'ємна густина заряду без змінного електричного поля, υ_1 - швидкість носіїв, якщо є змінне електричне поле, υ_0- швидкість носіїв заряду без змінного електричного поля, $\in = \varepsilon_0 \varepsilon$ (ε_0 - діелектрична стала, ε - діелектрична проникність речовини).

У виразі (26) перша компонента - модуляція густини заряду. Цей механізм створює хвилі просторового заряду, які поширюються через структуру разом з потоком носіїв заряду. Ці хвилі можуть розсіюватись чи генерувати енергію в залежності від того знаходяться вони у фазі чи протифазі з локальним змінним електричним полем.

Друга компонента є відповідно модуляцією швидкості заряду, вона представляє струм, який завжди перебуває у фазі з локальним електричним полем, а, отже, призводить до розсіювання енергії. Третя компонента відповідає струму зміщення, який не розсіює і не генерує енергію. Ясно, що генерована енергія перевищує розсіяну - структура являє собою високочастотний від'ємний опір. Реактивні властивості на *p-n* - переході давно привертали увагу. Встановлено, якщо є великі густини струму в пропускному напрямку, реактивний опір діода з *p-n*-переходом має індуктивний характер. Границю між областями ємнісного та індуктивного характеру реактивної складової імпедансу можна встановити зі співставлення концентрації основних та неосновних носіїв за напругою інверсії знаку реактивності.

Ефект інверсії знаку реактивності спостерігається на частотах ωτ > 1 (τ- час життя носіїв в базі). Це пов'язано із зміною рухливості носіїв заряду.

Фізично механізм індуктивного ефекту полягає в тому, що зі змінним сигналом відбувається зміна в часі кількості заряду в кожній локальні області, що призводить до перестройки локального поля. Цей процес є інерційним по відношенню до зміни електричного поля змінного сигналу [29, с.111].

Залежність точки інверсії знаку реактивності від зміщення показані на рис.10.

Оскільки точка інверсії знаку реактивності відповідає частоті змінного сигналу, коли ємнісна та індуктивна складові рівні, то на частотах змінного сигналу, що перевищують частоти „ точки інверсії",

зміни локального електричного поля в базі будуть відставати від поля змінного електричного сигналу. Це поводить себе як індуктивність. Наближено було розраховано значення цієї індуктивності.

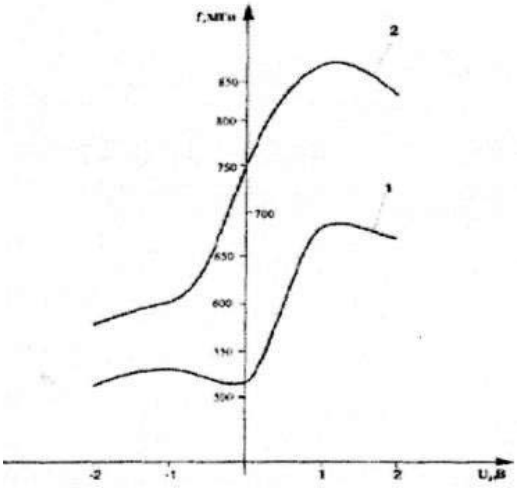


Рис.10. Залежність точки інверсії знаку реактивності від зміщення на затворах 1- T_1=293R, 2- T_2=373 К.

На частоті, більшій частоти точки інверсії знаку реактивності (від'ємне зміщення на затворах) величину індуктивної складової було оцінено аналогічно як коефіцієнт пропорційності між прикладеною до *p-n*-переходу та швидкістю зміни струму $U = \mathrm{L}(\frac{\mathrm{dI}}{\mathrm{dt}})$

$$\Delta L = l^2[2D_n\left(\frac{I_{\text{нас}}R_0}{U}exp\frac{qU}{kT} - 1\right)]^{-1}, \qquad (28)$$

де R_0- опір каналу, D_n - коефіцієнт дифузії, ΔL - приріст індуктивності. $I_{\text{нас}}$ - струм насичення *p-n* – переходу [28, с.111].

3.2. Експериментальні дослідження МДН–транзисторів

1. МДН – транзистор: типи, характеристики

МДН - структура (метал-діелектрик-напівпровідник) - структура, утворена пластиною напівпровідника Н, шаром діелектрика Д на одній з її поверхонь і металевим електродом (затвором М), (рис. 11). При подачі на структуру напруги V в напівпровіднику поблизу межі з діелектриком виникає електричне поле. Воно розподіляє заряди в напівпровіднику, змінюючи концентрацію носіїв заряду поблизу поверхні, і, відповідно, змінює електропровідність приповерхневого шару напівпровідникової пластини.

Схематично МДН - структура наведена на рис.11, де d - товщина шару діелектрика, V - напруга, прикладена до металевого польового електрода.

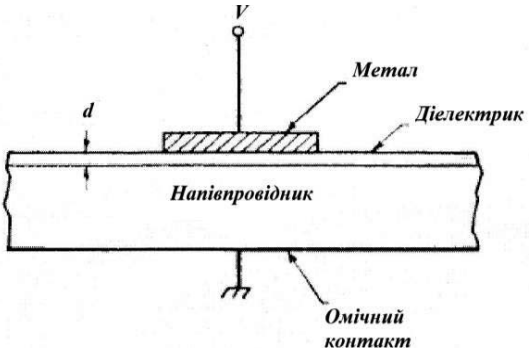


Рис. 11. МДН – структура

Зонні діаграми ідеальних МДН-структур для V=0 наведені на рис.12.

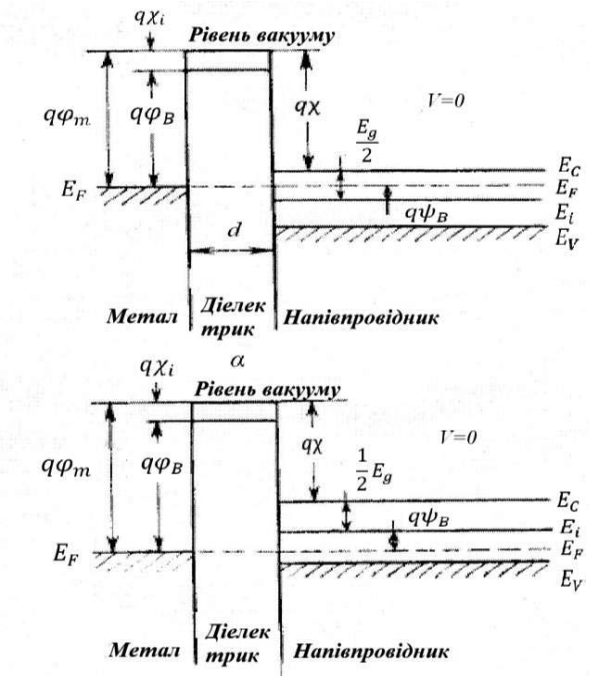


Рис. 12. Зонні діаграми ідеальних МДН – структур при V = 0,
а – напівпровідник *n*-типу, б – напівпровідник *p*-типу.

Поняття «ідеальна МДН–структура» визначене наступним чином:

Роботи виходу електронів з метала і напівпровідника однакові, чи різниця робіт виходу металу і напівпровідника φ_{ms} рівна нулю:

$$\varphi_{ms} \equiv \varphi_m - \left(\chi + \frac{E_g}{2q} - \psi_B\right) = 0 \text{ для n-типу,} \qquad (29, а)$$

$$\varphi_{ms} \equiv \varphi_m - \left(\chi + \frac{E_g}{2q} + \psi_B\right) = 0 \text{ для p-типу.} \qquad (29, б)$$

Тут φ_m- робота виходу металу, E_g - ширина забороненої зони, $\psi_в$ - різниця між рівнем Фермі E_f і положенням рівня Фермі у власному напівпровіднику E_i. Умови (1) означають, що при відсутності зовнішньої напруги V = 0 енергетичні зони напівпровідника не вгнуті.

При будь-яких зміщеннях в структурі можуть існувати лише заряд в її напівпровідниковій частині і рівний йому заряд протилежного знаку на металевому електроді, відділеному від напівпровідника шаром діелектрика.

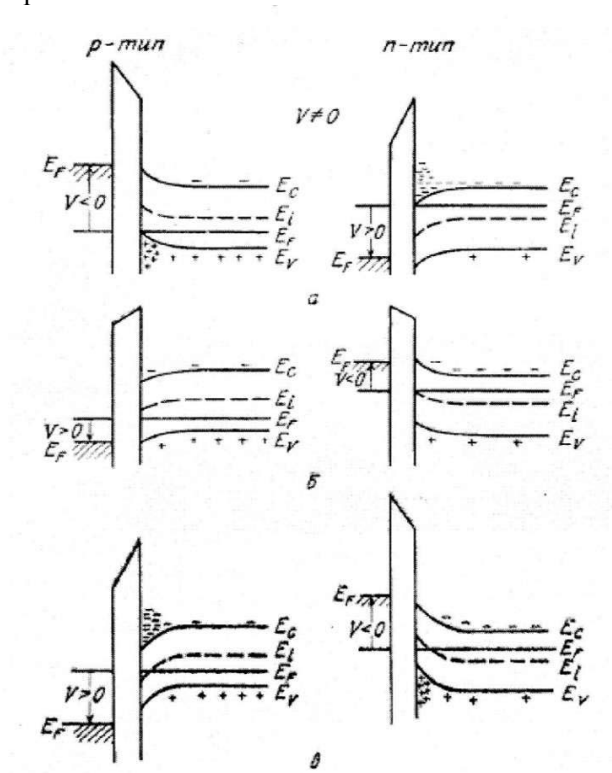


Рис. 13. Зонна діаграма ідеальної МДН – структури.
а – режим акумуляції; б – режим збіднення; в – режим інверсії.

При постійній напрузі зміщення відсутнє перенесення носіїв струму крізь діелектрик, опір діелектрика вважається нескінченним.

Розглянемо їх спочатку для МДН - структури з напівпровідником р-типу. Якщо до металевого електрода структури прикладена від'ємна напруга (V<0), край валентної зони на межі з діелектриком згинається вверх і наближається до рівня Фермі (рис.13, а). Так як концентрація дірок експоненціально залежить від різниці енергій (E_f - E_V), такий згин зон призводить до збільшення числа основних носіїв (дірок) на поверхні напівпровідника. Цей режим називається режимом збагачення (акумуляції). Якщо до МДН - структури прикладена не дуже велика додатна напруга (V>0), зони згинаються в зворотному напрямку і приповерхнева область напівпровідника збіднюється основними носіями (рис.13,б). Цей режим називають режимом збіднення поверхні [42].

При великих додатних напругах зони згинаються вниз настільки сильно, що поблизу поверхні відбувається пересікання рівня Фермі E_f з власним рівнем E_i. В цьому випадку (рис.13, в) концентрація неосновних носіїв (електронів) біля поверхні перевищує концентрацію основних носіїв (дірок). Ця ситуація називається режимом інверсії. Аналогічно це можна розглянути і для МДН-структури *n*-типу. Вказані режими виконуються при напрузі протилежної полярності.

На рис.14 наведена зонна діаграма ідеальної МДН - структури. На рис.14, б наведений розподіл заряду в структурі. Зрозуміло, що для забезпечення електронейтральності структури заряд на її металевому електроді Q_m повинен бути рівний сумі електронного заряду в інверсійному шарі Q_n і заряду іонізованих акцепторів в області збіднення напівпровідника:

$$Q_m = Q_n + qN_aW = Q_s \qquad (30)$$

де W – товщина збідненого шару, Q_s – повна поверхнева густина заряду в напівпровіднику.

Зрозуміло, що при відсутності різниці робіт виходу прикладена напруга ділиться між напівпровідником і ізолятором

$$V = V_i + \psi_S, \qquad (31)$$

де V_i - спад напруги на шарі діелектрика, рівний

$$V_i = E_l d = \frac{(Q_s d)}{\varepsilon_l}. \qquad (32)$$

Повна ємність структури

$$C = \frac{C_i C_D}{C_D} + C_D \quad [Ф/см^2], \qquad (33)$$

що відповідає послідовному з'єднанню ємності напівпровідника C_D

і ємності шару діелектрика $C_i = \frac{\varepsilon_i}{d}$. Остання визначається товщиною діелектрика і являє собою максимально можливу ємність всієї структури.

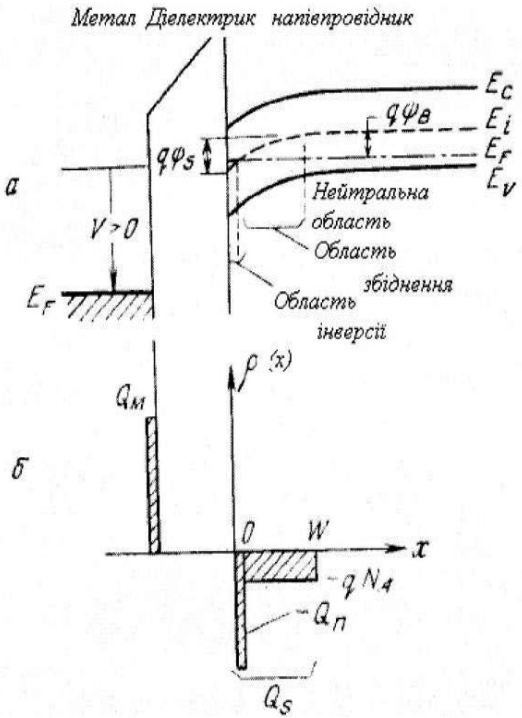


Рис. 14. Зонна діаграма ідеальної МДН – структури (а) і розподілення зарядів (в умовах інверсії) (б).

Ємність напівпровідника змінюється при зміні напруги на структурі. Використовуючи формули 31–33, можна визначити залежність повної ємності ідеальної МДН - структури від прикладеної напруги. Залежність ємності ідеальної МДН - структури від напруги при від'ємних значеннях останньої відповідає акумуляції дірок на межі поділу. В цьому режимі диференціальна ємність напівпровідника більша ємності діелектрика, тому повна ємність структури близька до величини C_i. Коли напруга, прикладена до МДН - структури, стає більше 0, в приповерхневому шарі напівпровідника утворюється збіднена область, яка діє як додатковий шар діелектрика. Це призводить до зменшення повної ємності МДН - структури. Потім,

проходячи через мінімум, повна диференціальна ємність структури різко збільшується, знову наближаючись до величини C_i. Останнє зумовлене тим, що в даній області напруга на межі поділу з діелектриком утворюється електронний інверсійний шар, диференціальна ємність якого також значно перевищує ємність діелектрика [43].

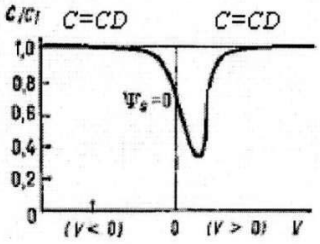


Рис.15. Вольт–фарадна характеристика МДН – структури.

Класифікація МДН – транзисторів

Польовий транзистор з ізольованим затвором складається з МДН - структури і двох n^+-p - чи p^+-n - переходів, розташованих з діаметрально протилежних сторін металевого електрода до діелектрика (рис.16). Один з n^+-p - переходів (у випадку p-напівпровідника) грає роль витоку, а другий - стоку. Шар діелектрика з металевим електродом називається затвором. В якості каналу в більшості пристроїв такого типу використовується перевідний інверсійний шар, розташований біля межі поділу діелектрик-напівпровідник і з'єднуючий витік і стік. Він може бути створений за рахунок подачі на електрод затвора напруги певної полярності і величини. В нашому випадку (напівпровідник p-типу) на затвор необхідно подати додатний потенціал. Це викличе притік електронів в поверхневий шар напівпровідника під діелектриком і інверсію його провідності при визначеному значенні напруги на затворі.

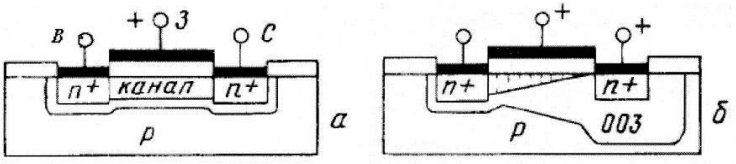


Рис.16. МДН–транзистор з індукованим каналом при V = 0 (*а*) і при V>0 (*б*).

Пристрої, в яких канал створюється описаним вище способом, називаються польовими транзисторами з індукованим каналом, чи МДН - транзистори з індукованим каналом. Існують також МДН - транзистори із вбудованим каналом. В них канал між стоком і витоком утворюється за рахунок дифузії мілкої домішки чи за рахунок відповідної термічної обробки напівпровідника, яка викликає зміну типу провідності його приповерхневого шару.

Як правило, МДН - транзистори виготовляються з кремнію і в якості затворного діелектрика використовується SiO_2, тому такі пристрої називаються ще і МОН-транзисторами. Якщо в затворі використовується двошаровий діелектрик (нітрид кремнію Si_3N_4і SiO_2, то пристрій називають МНОН-транзистором. Товщина шару окису під контактом складає 0.15 - 0.2 мкм, а довжина каналу може бути менша 10мкм.

Вихідні характеристики:

Розглянемо механізми роботи МОН - транзистора з індукованим каналом. Перш за все відмітимо, що включення МОН - транзистора в коло відбувається так само , як і польового транзистора з *p-n*-переходом. При відсутності напруги на затворі струм між стоком і витоком малий, так як він задається струмом зворотно зміщеного переходу струму.

Після подачі на затвор додатної напруги визначеної величини під ним виникає канал n - типу провідності (рис.16, а), опір якого залежить від напруги на стоці. Якщо на стік подати додатній потенціал відносно заземленого витоку, то електрони почнуть рухатись від витоку до стоку по інверсному шарі. Через наявність падіння напруги вздовж каналу нормальна складова поля затвора і відповідно концентрація електронів зменшуються в напрямку від витоку до стоку.

При визначеній напрузі на стоці $V_{свн}$ відбувається перекриття каналу біля стоку (рис.16, б) , його диференційний опір стає великим, струм через пристрій намагається йти до насичення. По мірі подальшого збільшення напруги на стоці точка перекриття каналу поступово здвигається в сторону витоку, канал стає коротшим. В результаті цього ефекту диференціальний опір каналу при $V_{си} > V_{свн}$ залишається кінцевим і буде спостерігатись повільний приріст $I_с$ при збільшенні напруги на стоці. В області достатньо великих значень $V_{си}$ може виникнути лавинне розмноження носіїв заряду в каналі за рахунок розвитку ударної іонізації. При цьому струм стоку буде плавно наростати зі збільшенням $V_{си}$ («м'який» пробій). Якщо канал перекритий ($V_З = 0$), то в області великих значень $V_{си}$ спостерігається

великий ріст I_c. Збільшення додатної напруги на затворі призводить до росту провідності інверсного шару і , відповідно, струму стоку.

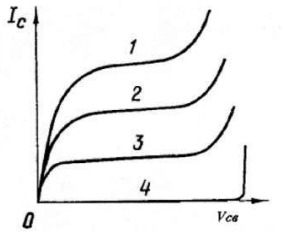


Рис. 17. Вихідні статистичні характеристики МОН – транзисторів:
1 – $V_{31}>0$; 2- $V_3 = 0$; 3- $V_{32}<0$; 4- $V_{33}<0$.

При обговоренні виду вольт-амперних характеристик необхідно враховувати, що в реальних МОН-транзисторах шар SiO_2 містить об'ємний позитивний заряд, який може бути зумовлений наявністю кисневих вакансій чи іонами натрію. З врахуванням сказаного вище вихідні статичні характеристики МОН- транзисторів на *p*-підложці можна зобразити так, як це зроблено на рис.17. По суті це транзистор із вбудованим каналом. Для знищення каналу провідності на затвор такого транзистора необхідно подати від'ємну напругу певної величини. При цьому струм в колі стоку буде близький до нуля.

У МОН-транзисторах на основі кремнію *n*-типу позитивний заряд в окисі викличе утворення приповерхневого шару з підвищеною концентрацією основних носіїв заряду (збагачений шар), тобто при $V_3 = 0$ канал провідності між p^+-*n*-переходами витоку і стоку буде відсутнім. Для подавлення збагаченого шару і створення каналу *p*-типу необхідно до затвору прикласти визначену за величиною додатну напругу. Таким чином МОН - транзистор на основі кремнію n - типу є пристроєм з індукованим каналом.

Вхідні характеристики

В МОН-транзисторі вхідна характеристика являє собою залежність струму через аморфний шар окису від напруги на затворі. Типовий вигляд вольт-амперної характеристики затвору при відсутності напруги на стоці наведений на рис.18. До деякого значення V_3 вольт-амперна характеристика підпорядковується закону Ома, а потім спостерігається різкий приріст струму при повільній зміні напруги. На нелінійній ділянці вольт-амперної характеристики затвора збільшення струму з напругою може бути зумовлене рядом ефектів сильного електричного поля.

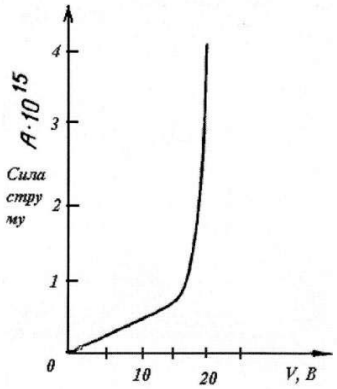


Рис. 18. Вольт-амперна характеристика МОН- транзистора при $V_{си}$=0.

Еквівалентна схема МОН-транзистора відрізняється від відповідної схеми польового транзистора з *p-n*-переходом тим, що в неї добавляються ємності n^+-*p*-переходів стік - підложка ($C_{сп}$) і витік - підложка ($C_{вп}$) (рис.19). Крім того, в схему включається конденсатор $C_{зп}$, враховуючи ємність виводу затвору і ємність, зумовлену впливом напруги затвору на заряд збідненої області підложки (під каналом).

Оскільки контакт затвору перекривається з n^+-областю витоку, то не існує опору витоку, ввімкненого між каналом n^+-областю, тобто $R_н$ = 0. Для МОН- транзисторів з індукованим каналом і $R_с$ = 0, так як контакт затвору перекривається з n^+-областю стоку. В протилежному випадку канал обірветься, не доходячи до стоку, виникає розрив кола. Однак для транзисторів із вбудованим каналом може складати декілька сотень Ом, так як в цьому випадку для зменшення ємності затвор-стік затвор розміщується так, щоб він не перекривався зі стоком. В результаті цього провідність малої частини каналу поблизу стоку не модулюється напругою затвора, що і призводить до появи $R_с$.

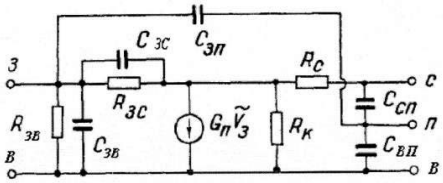


Рис. 19. Еквівалентна схема МОН-транзистора.

Як і для польового транзистора з *p-n*–переходом, частотні

властивості МОН-транзистора можна характеризувати частотою відсічки.

2. Двозатворний МДН-транзистор та його експериментальні дослідження

Комплекс параметрів, які описують активні елементи кіл, залежить від опису моделей даного елемента. Прийнято дві моделі: в вигляді еквівалентної схеми і дво - або чотириполюсника. Параметри еквівалентної схеми, побудованої, виходячи з аналізів фізичних процесів в напівпровідниках повністю описують пристрої, які включені в схему. Представлення активних елементів еквівалентної схеми, не дивлячись на вказані переваги, має вагомі недоліки. Вимірювання параметрів схеми ускладнене, а іноді - неможливе. Найбільш доцільним з точки зору вирішення вимірювальних задач є представити транзистор у вигляді дво - або чотириполюсника. За виміряними, або обрахованими параметрами елементів повних опорів можна скласти еквівалентну схему, зручну для розрахунку методом контурних струмів.

Майже всі параметри елементів кола визначаються відношенням вхідних та вихідних сигналів [44]. Призначенням вимірювальної апаратури є розподілення цих сигналів та вимірювання їх відношень.

Для проведення досліджень були використані безкорпусні польові транзистори з двома ізольованими затворами, *n*-типу, КП327А.

Вимірювання всіх досліджуваних параметрів проводились в діапазоні частот до 1250 МГц в температурному інтервалі від 20˚С до 100 ˚С для різних значень від'ємних зміщень на затворі. Для дослідження використовувались кремнієві МДН – транзистори з двома затворами, технологічна структура яких зображено на рис.20.

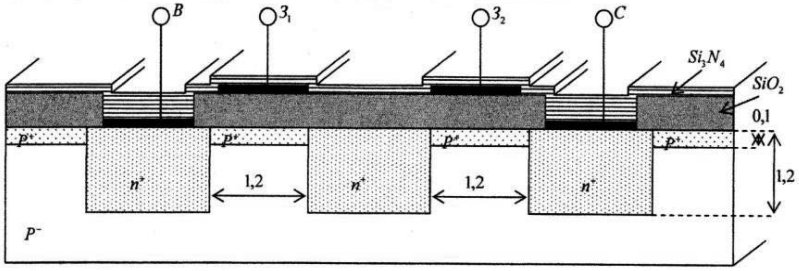


Рис. 20. Технологічна структура КП327А.

Досліджуваний транзистор виготовлено з кремнію р- типу марки

КДБ-5, легованого бором ($N_a=10^{17}$ см$^{-3}$) з питомим опором ρ=5÷10 Ом·см. Області n^+ - типу створено методом дифузії фосфору з концентрацією домішки $N_d=10^{20}$см$^{-3}$.

Фазометричний метод з усіх радіотехнічних методів – найбільш чутливий, крім того, дозволяє працювати на частотах до 10^9 Гц при малих змінних сигналах і низькій добротності досліджуваних приладів. Зміна їх характеристик не впливає на точність вимірювання [45].

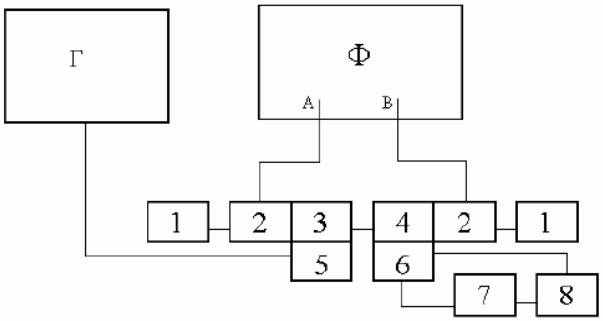


Рис. 21. Структурна схема експериментальної установки на базі фазометра ФК2-12 (Г- генератор; 1- коаксіальне навантаження; 2- трійник ТП-1; 3- трійник ТП-1; 4- досліджуваний чотириполюсник; 5- трійник ТС; 6 – піч; 7- Б5-50; 8 – термостабілізуючий пристрій).

Фазові вимірювання, що застосовуються в різноманітних приладах, детально розглянуті в [36, 46]. Наші вимірювання проводились за допомогою вимірювача різниці фаз комбінованого ФК2-12. Блок – схема вимірювальної установки представлена на рис.21.

Для дослідження температурної залежності імпедансу МДН-структури була використана піч, виготовлена із спеціальної кераміки, між зовнішніми та внутрішніми стінками якої вмонтована спіраль.

Внутрішній діаметр печі мав розміри одного порядку з досліджуваним транзистором, що зумовлено необхідністю локалізації температурного поля [44] в об'ємі досліджуваного приладу та відсутністю його впливу на коаксіальну лінію та пробники фазометра. Контроль температури вівся візуально за мідноконстантановою термопарою з використанням вольтметра В7-21. Регулювання меж вимірювання температури та її стабілізація здійснювались за допомогою електронного потенціометра КСП-4 з можливістю самозапису. Джерелом гармонічної напруги служив генератор типу Г4-116.

Вимірюванню підлягали: напруга на виході генератора – U, напруга на виході чотириполюсника - U_z та фазовий кут – φ, що служили вихідними параметрами для розрахунку досліджуваного чотириполюсника.

Розрахунки активної та реактивної складових повного опору проводились за формулами [5]:

$$R = \frac{R_0\left(\frac{U}{U_z}cos\varphi - 1\right)}{\left(\frac{U}{U_z}cos\varphi - 1\right)^2 + \left(\frac{U}{U_z}\right)^2 sin^2\varphi}, \quad (34)$$

$$X = \frac{R_0\frac{U}{U_z}sin\varphi}{\left(\frac{U}{U_z}cos\varphi - 1\right)^2 + \left(\frac{U}{U_z}\right)^2 sin^2\varphi}, \quad (35)$$

де R_0- зовнішній опір, ввімкнутий послідовно з повним вхідним опором, який чисельно рівний 68 Ом.

Вище приведені формули справедливі для випадку, коли вхідний опір має індуктивний характер і його можна представити у вигляді послідовно з'єднаних активного опору та індуктивності.

При дослідженні залежності X (U) та R(U)джерело стабілізованої постійної напруги під'єднувалось до досліджуваного чотириполюсника через індуктивність. При попередній установці індикатора зсуву фаз, досліджуваний чотириполюсник виключався зі структурної схеми. Таким чином, вимірювались прирости ΔL та ΔC. З врахуванням початкових параметрів чотириполюсника установка нульового фазового зсуву здійснювалась на еталонному опорі, що вмикався замість чотириполюсника.

Вимірювання X та R проводились завдяки визначенню різниці фаз ФК2-12. Напруга в каналах А і В вимірювалась одним і тим же вольтметром, основна похибка якого в вимірювальному діапазоні не перевищувала 10% від усієї шкали. Похибка вимірювання різниці фаз не перевищувала ± 1-3%, R_0 вимірювалось з похибкою, що не перевищувала 10%.

3. Результати дослідження та їх аналіз

Результати дослідження представлені графіками залежності реактивної складової імпедансу від частоти для різних значень температури наведені на рис. 22.

Дослідження впливу температури на реактивну складову імпедансу МДН-транзистора виявили високу чутливість еквівалентної реактивності до теплового випромінювання. За відсутності зміщення на затворі інверсія знаку реактивності проявляється практично на

одній і тій самій частоті змінного сигналу для різних значень температури. Причому з підвищенням температури точка інверсії зсувається в область більш високих частот.

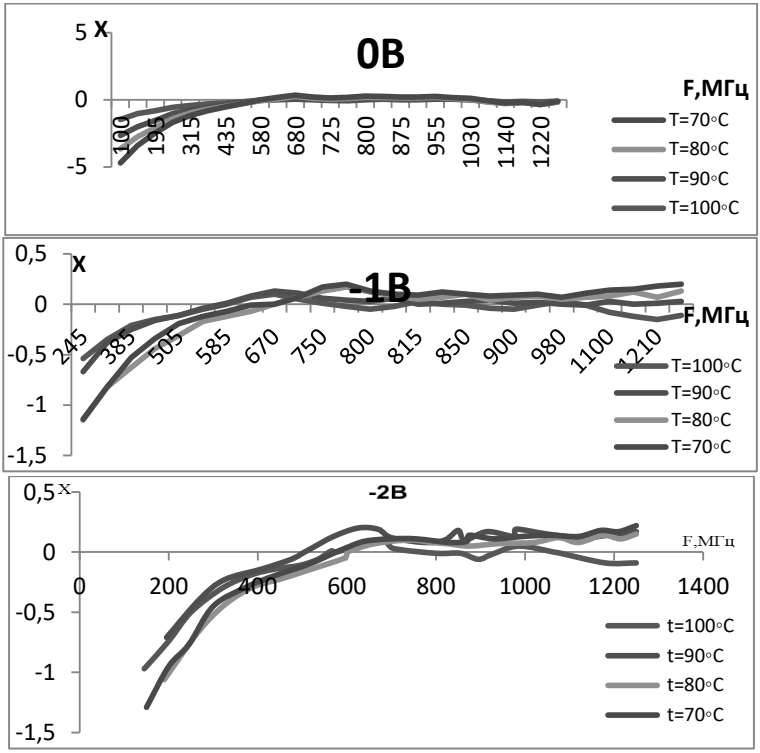


Рис. 22. Графіки залежності реактивної складової імпедансу від частоти для різних значень температури

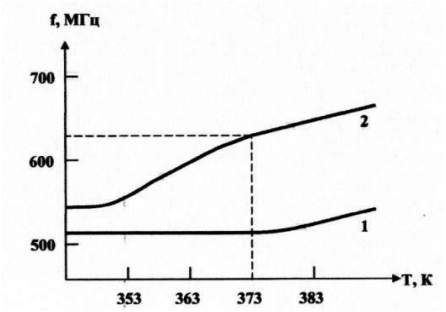


Рис. 23. Залежність точки інверсії знаку реактивності від температури при різних зміщеннях на затворах.

Як видно з графіків, для всіх значень температури має місце інверсія знаку реактивності імпедансу, що пов'язано з інерційними властивостями «електронно–діркової плазми» в каналі транзистора. На підставі графіків (рис.23) було побудовано температурну залежність точки інверсії.

Отримані результати підтверджують можливість використання досліджуваних структур для побудови датчиків температури автогенераторного типу, коливний контур яких реалізовано з використанням досліджуваної МДН структури.

Список використаних джерел

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. — 9-е изд. — М.: Высшая школа, 1996.- 638 с.
2. Графов Б.М. Электрохимические цепи переменного тока / Б.М. Графов, Е. А. Укше. — М.: Наука, 1983. – 128 с.
3. Электрический імпеданс [Електронний ресурс].– Режим доступу: http://tel-spb.ru/impedance/
4. Берман Л.С. Введение в физику варикапов / Л. С. Берман, А.А. Лебедев - Л.: Наука, 1968.- 180 с.
5. Осадчук В.С. Индуктивный эффект в полупроводниковых приборах. - К.: Вища школа, 1987. - 155 с.
6. Осадчук В.С. Реактивні властивості транзисторів та транзисторних схем / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук. - Вінниця: Універсум-Вінниця, 1999. - 276 с.
7. Викулин И.М. Полупроводниковые датчики / И. М. Викулин, В.И. Стафеев. - М.: Сов. Радио, 1975. - 104 с.
8. Овсюк В.Н. Электронные процессы в полупроводниках с областями пространственного заряда. - Новосибирск: Наука, 1984. - 154 с.
9. Горбань А.П. Об использовании фотоэффектов в МДН - системам с нестационарным слоем истощения в детекторах ионизированного излучения/Полупр. Техника и микроэлектроника. - К., 1973. - Вып. 11.- С. 27-37.
10. Одобецкий С.И. Современное состояние и перспективы развития полупроводниковых частотных датчиков неэлектрических величин. Часть 1. Теоретические предпосылки использования реактивных свойств полупроводниковых структур в контрольно - измерительной технике/ Винницкий политехнический институт / С. И. Одобецкий, В.С. Осадчук. - Винница, 1988, - 20 с.
11. Баранов Л.И. К вопросу об инерционности диода с переходами в

пропускном направлении при больших плотностях токов.// Радиотехника и электроника. 1962. - т. 7. - вып.4. - С. 963-968.

12.Баранов Л.И. К вопросу об индуктивном характере сопротивления диодов с р - п - переходами в пропускном направлении при больших токах.// Радиотехника и электроника. - 1960. - т.5. - вып. 6. - 1002 с.

13.Синицын С.П. Исследования индуктивных свойств полупроводниковых диодов// Радиотехника и электроника. - 1962. - т.7.- вып.8.- С. 1427-1433.

14.Абдуллаев Г.Б. О реактивных свойствах кремниевых диффузионных р - п – переходов / Г. Б. Абдуллаев, 3. А. Искандерзаде, Э. А. Джафаров // Радиотехника и электроника. - 1965. - т.10. - вып4. - С. 778-780.

15.Абдуллаев Г.Б. Некоторые вопросы электронно - дырочных переходов / Г. Б. Абдуллаев, 3. А. Искандерзаде. - Баку, 1977. - 224 с.

16.Викулин И.М. Исследование индуктивных свойств одноперехoдного транзистора// Радиотехника и электроника. - 1979. - т. 24,-вып. 12. - С. 2552-2557.

17.Абдуллаев Г.Б. Об индуктивности кремниевых диффузионных диодов с различной длиной базы // ФТП - 1966. - т. 3. - вып. 5. - С. 778-781.

18.Авакьянц Г.М. К примесной теории активних свойств электронно - дырочных переходов в полупроводниках// Радиотехника и электроника. - 1965. -т. 10, вып. 4. - С. 696-703.

19.Некрасов М.М. Двухбазовий диод как элемент индуктивности / М. М. Некрасов, В.С. Осадчук // Вестник Киевского политехнического института. Серия Радиотехника. - 1965. - №, С. 165 - 178.

20.Алфеев В.Н. Полупроводники, сверхпроводники и параэлектрики в криоэлектронике: Свойства и применение в криоэлектронных интегральных схемах и приборах структур на основе контактов полупроводников, сверхпроводников и параэлектриков. - М.: сов. Радио, 1979. - 408 с.

21.Носолюк В.Н. Физические обоснование индуктивных свойств p-n структур / В.Н. Носолюк, В.С. Осадчук, В.Ф. Яремчук // Научные труды вузов Лит. ССР. Радиоэлектроника. – 1987. т.23. - №3. – С. 115-129.

22.Gucnel Henry, Demirkol Adnon The forwaid biosed, ubrupt p-n - junction// Solid - State Electron.-1982.-V25.-No.2.-P. 105-109.

23.Викулин В.М. Физика полупроводниковых приборов / В.М. Викулин, В. И. Стафеев. - М.: Сов. радио, 1980. - 296 с.

24.Осадчук В.С. Исследование оптических управляемых индуктивных свойств некоторых транзисторов // Кинетика электронных процес сов в примесных полупроводниковых приборах / В. С. Осадчук, В. Н. Носолюк, В. Ф. Яремчук, Л.В. Черныш, А.Ф. Сергиенко. – Кишинёв, Штиинца. – 1987. – С. 51-64.

25.Осадчук В.С. Реактивные свойства униполярных транзисторов / В.С. Осадчук, Ю.А. Скрипник, С.И. Одобецкий // Функциональная оптоэл. В выч. технике и устройства управления. Матер. Всесоюзной конф.- Тбилиси, 1986.- С. 125-127.

26.Осадчук В.С. Исследование электрических и оптических параметров индуктивных оптронов / В.С. Осадчук, В.Н. Носолюк, В.Ф. Яремчук, А.Ф. Сергиенко // Сборник Всесоюзной конференции «Функциональная оптоэлектроника в вычислительной технике и устройствах управления». – Тбилиси, 1986, - С. 461-464.

27.Осадчук В.С. Дослідження температурної залежності імпедансу польових транзисторів / В.С. Осадчук, В.Ф. Яремчук, Н.С. Кравчук, В.М. Носолюк // Вісник ВПІ. -1996. -№4.- С. 65-68.

28.Осадчук В.С. Дослідження впливу температури на інерційні властивості "електронно-діркової плазми" в каналі МДН-структури / В.С. Осадчук, В.Ф. Яремчук, Н.С. Кравчук // Вісник ВПІ. - 1998. - №4. – С. 82-85.

29.Осадчук В.С. Дослідження реактивних властивостей польового транзистора / В.С. Осадчук, В.Ф. Яремчук, Н.С. Кравчук, В.М. Шит // Вісник ВПІ. - 1999. - №5.- С.108-112.

30.Осадчук В.С. Напівпровідникові прилади з від'ємним опором / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук. Навчальний посібник. — Вінниця: ВНТУ, 2006. - 162 с.

31.Осадчук В.С. Мікроелектронні сенсори температури з частотним виходом / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, Н.С. Кравчук. Монографія. — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. - 162 с.

32.Аронов В.Л. Испытание и исследование полупроводниковых приборов / В.Л. Аронов, Я.А. Федотов. - М.: Высш. школа, 1975. - 325 с.

33.Валитов Р.А. Радиотехнические измерения / Р.А. Валитов, В.Н. Сретенский. - М.: Сов. Радио, 1970. - 712 с.

34.Місткові методи [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://electricalschool.info/spravochnik/izmeren/1436-mostovye-izmerenija.html

35.Адирович Э.И. Измерение малых времён жизни по фазовой характеристике коэффициента передачи напряжения в цепи с p-n

переходом // Физика твёрдого тела. - 1962. - Т. 4, Вып. 7. - С. 1853-1862.

36.Бова П.Т. Измерения разности фаз в радиотехнике / П.Т. Бова, В.А. Гойжевский, С.М. Маевский, В.В. Молебный. - К.: Вища школа, 1972. - 231 с.

37.Саченко А.В. Квантові розмірні ефекти в напівпровідниках / А.В. Саченко, О.Г. Кундзич. - К.: Знання, 1977. – 47с.

38.Долманов И.Н., Толстихин В.И., Еленский В.Г. Полупроводниковые приборы с резонансным туннеллированием електронов / И.Н. Долманов, В.И. Толстихин, В.Г. Еленский. Зарубежная радиоэлектроника. - М.:Радио и связь, 1990. - С. 66-89.

39.Nakagawa N et al. Jap. J. Appl. Phys., 1987, v. 26, №6, p.1980 – 1982.

40.Lakhani A.A. et al. El. Lett., 1988, v. 24, №11, p.681 - 683.

41.Осадчук В.С. Основи функціональної мікроелектроніки. Навчальний посібник. / В.:ВДПУ,1998 – 245 с.

42.Зи С. Физика полупроводниковых приборов. - М.: Мир, 1984. - 456 с.

43.Физическая энциклопедия Под ред. Прохорова А.М. - М.: Советская энциклопедия, 1988 – 687 с.

44.Осадчук В.С. Реактивные свойства униполярных фототранзисторов / В.С. Осадчук, Ю.А. Скрипник, С.И. Одобецкий // Функциональная оптоэл. В выч. технике и устройства управления. Матер. Всесоюзной конф. - Тбилиси, 1986.- С. 125-127.

45.Яремчук В.Ф. Измерительные преобразователи светового потока и температуры на основе фотоиндуктивного эффекта в полупроводниковых приборах: Дис... канд. техн. наук: 05.11.13. - Винница, 1990. – 95 с.

46.Трутко А.Ф. Методы расчёта транзисторов. - М.: Энергия, 1971. – 272с.

47.Бедрій Я.І. Безпека життєдіяльності / Я.І. Бедрій, В.С. Джиграєв, А.І. Кидисюк. – Львів: «Афіша», 1997. – 275 с.

48.Гандзюк М.П. Охорона праці / М.П. Гандзюк. – К.: Каравела. – 2003. – 408с.

49.Гандзюк М.П. Основи охорони праці / М.П. Гандзюк, Є.П. Желібо, М.О. Халімовський. – Львів: Новий Світ. – 2000. – 408 с.

50.Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Підручник, Львів: Афіша, 2002 – 320 с.

РОЗДІЛ 4. РОЗСІЮВАННЯ МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ВОЛОКНИСТИМИ КОМПОЗИЦІЙНИМИ МАТЕРІАЛАМИ

Мозговий О.В.,
кандидат технічних наук, доцент

4.1. Класифікація і використання композиційних матеріалів

Композиційними матеріалами (КМ) або композитами є штучно створювані матеріали, які поєднують у собі два або більше хімічно різних компонентів, які нерозчинні або малорозчинні один в одному і мають властивості, що сильно відрізняються.

У такому матеріалі розрізняють матрицю, що безперервна по всьому об'ємі матеріалу і компонента, яка періодично розміщена в матриці і зміцнює матеріал.

Як правило, матриця є порівняно пластичним матеріалом, вона надає готовому виробові потрібну форму й захищає зміцнювальний компонент від можливих пошкоджень. Водночас матриця передає зовнішні навантаження на зміцнювальний компонент, тому вона повинна надійно бути з'єднаною із зміцнювальним компонентом.

Зміцнювальний компонент або армуючий повинен відзначатись високими міцністю та жорсткістю, малою густиною, доброю хімічною й температурною витривалістю, а також максимально досяжною технологічністю. Для армування композиційних матеріалів застосовують порошкові компоненти, волокна, сітки і пластини. Порошкові зміцнювальні компоненти – це звичайно тверді тугоплавкі дрібні частинки карбідів, оксидів, нітридів, що не розчиняються у матриці в усьому інтервалі температур експлуатації КМ. Зі зменшенням їх розмірів і відстаней між ними підвищується міцність композиційного матеріалу. До волокнистих компонентів належать безперервні та короткі волокна неорганічного й органічного походження, металевий дріт і сітки на їх основі. У таких матеріалах волокна, нитки, стрічки просочені матеріалом матриці, що їх поєднує, і укладаються паралельно один одному в площині укладання. Плоскі шари збираються в пластини, властивості виходять анізотропними. Для роботи матеріалу у виробі важливо враховувати напрям навантажень, що діють. Можна створити матеріали як з ізотропними, так і з анізотропними властивостями. Можна укладати волокна під різними кутами, варіюючи властивості композиційних матеріалів .

Композиційні матеріали відрізняються високим опором розповсюдження тріщин, оскільки при їх утворення, наприклад, через руйнування волокна тріщина «в'язне» в м'якій матриці. Крім того,

композиційні матеріали, що використовують високоміцні й високомодульні волокна і легку матрицю, можуть володіти високими питомою міцністю і жорсткістю [1-3].

Тому сучасний науково-технічний прогрес неможливий без створення нових спеціальних матеріалів, що мають специфічні властивості, які, на перший погляд, навіть немислимі. Це жорсткість й еластичність, твердість і надтекучість, розчинність у воді й нерозчинність, газопроникність та газонепроникність тощо. Тому дослідження та вивчення композиційних матеріалів має велике наукове і практичне значення для розвитку всіх галузей виробництва. Результати багатьох експериментальних досліджень структури та властивостей композитів свідчать про перспективність застосування їх у промисловості і побуті та необхідність досліджень експлуатаційних властивостей цих матеріалів.

Металоматричні композиційні матеріали завдяки вищим фізико-механічним та фізико-хімічним характеристикам ніж у металічних матеріалах все ширше використовуються у більшості галузей машинобудування, що визначає рівень удосконалення і ефективність виробів із КМ. Досконалість структури матеріалу в цілому і його складових впливає на експлуатаційні властивості КМ.

Висока корозійна стійкість, здатність до сприйняття ударних навантажень, відмінна якість поверхні, гарний зовнішній вигляд зумовили широке застосування композиційних матеріалів практично у всіх галузях промисловості [4].

Рис. 1. Композиційні матеріали в автомобілебудуванні

Чільне місце займають ці матеріали у виробництві виробів для автомобільного і міського транспорту для полегшення кузовів, ресор, рам, панелей кузовів, бамперів та інше. З них виготовляють корпуси

легкових автомобілів, автобусів, деталі внутрішнього інтер'єру, кабіни вантажівок, баки для пального, цистерни для перевезення рідких і сипучих вантажів, корпуси і деталі внутрішнього інтер'єру трамваїв і автобусів (рис.1).

Широке застосування знайшли композиційні матеріали в авіаційній для високонавантажених деталей літаків (обшивки, лонжерони, нервюри, панелі і т. д.) та двигунів (лопатки компресора і турбіни і т. д.) і ракетно-космічній техніці для вузлів силових апаратів, що піддаються нагріву, для елементів жорсткості, панелей, де використовуються такі їхні властивості, як висока питома міцність і стійкість до впливу високих температур, стійкість до вібраційних навантажень, мала питома вага (рис. 2).

Рис. 2. Композиційні матеріали в авіаційній і ракетно-космічній техніці

Дуже широко композиційні матеріали застосовуються в галузі суднобудування. Унікальні властивості композиційних матеріалів дозволяють виготовляти високоміцні, легкі корпуси катерів, яхт, шлюпок.

З композиційних матеріалів також виготовляються рятувальні шлюпки для танкерів, що перевозять нафтопродукти. Такі шлюпки здатні винести екіпаж судна із зони де розлилася палаюча нафта в разі аварії. Цієї можливості дозволили досягти унікальні властивості застосовуваних матеріалів, їх висока теплоізоляція і вогнестійкість.

Сфери застосування композиційних матеріалів не обмежені. Широко застосовуються вони в промисловості (буровий інструмент, деталі комбайнів і т. д.), в цивільному будівництві (прольоти мостів, елементи збірних конструкцій висотних споруд і т. д.). У галузі залізничного транспорту композиційні матеріали поступово займають лідируюче місце завдяки своїм чудовим властивостям. З кожним роком все більше компаній переходять на виготовлення з композиційних матеріалів не тільки окремих деталей, але і кузовів в цілому.Наприклад, розвиток промисловості композитів в районі Перської затоки відбувається надзвичайно швидко. Композиційні матеріали застосовані в одному з найбільш престижних проектів в регіоні - будівництво готелю Jumeirah Reach Tower. Готель Jumeirah Reach Tower, будівництво якого вже закінчено в Дубаї, як оголошують, є найвищою будівлею готелю в світі. Його висота 321 метр, це вище, ніж Ейфелева вежа в Парижі. Приблизно 33 000 квадратних метрів сендвічевим панелей з'єднують готельні номери. Панелі зроблені з композиційних матеріалів. Вогнестійка смола і гелькоут були спроектовані і повністю перевірені для використання в цьому проекті. Рекомендація і досвід цього проекту, як очікувалось, викликав значний інтерес в будівельній промисловості.

Справжній переворот зробили композиційні матеріали в галузі сільського господарства. Антикорозійні властивості цих матеріалів дозволяють застосовувати їх там, де не витримують інші матеріали. Це елементи тваринницьких ферм, ємності для зберігання мінеральних добрив, відходів, сільськогосподарських заготовок. Композиційні матеріали використовуються для виготовлення кузовів сільськогосподарської техніки. Це дозволяє значно заощадити кошти не тільки при виробництві, а й у процесі експлуатації, так як в міжсезоння трактори, збиральні машини не вимагають витрат на обслуговування кузовних деталей, а термін служби цих деталей набагато більше.

Однією з областей, яка розширюється, де застосовують композиційні матеріали є мостобудування [4].

В оборонній промисловості композиційні матеріали зіграли важливу роль в стратегії і напрямку новітніх розробок. Так захисні каски, бронежилети, традиційно виготовляються у всіх країнах багато років з металу, в даний час також виготовляються з композиційних матеріалів. Швидкісні судна, транспортні кораблі, літаки невидимки, все це створено тільки завдяки використанню композиційних матеріалів, постійного пошуку нових матеріалів і технологій

Композиційні матеріали неметалічною матрицею знайшли широке застосування. У дуже великій кількості композиційні матеріали використовуються в нафтопереробній промисловості. В даний час з цих матеріалів виготовляють елементи нафтових платформ, труби для нафто- і газопроводів. У цьому році закінчується будівництво заводу в Узбекистані з виробництва труб для нафто- і газопроводів. Потужність підприємства визначається виходячи з обсягу споживання тільки вогнестійкого поліефіру в кількості 6,5 тис. тон на рік. Як неметалічні матриці використовують полімерні, вуглецеві і керамічні матеріали [6].

Лопаті і корпуси вітряних електростанцій, трейлера, рефрежератори, предмети побутового призначення, сантехніка, штучний мармур, полімербетон, гідроізоляція тунелів метрополітенів, ізолюючі накладки, сидіння для транспорту і громадських місць, малі архітектурні форми, меблі, все це і багато іншого в даний час проводиться з композиційних матеріалів.

Класифікацію КМ проводять за рядом ознак*:*

- за формою зміцнювального компонента (волокнисті, дисперсно-зміцнені, шаруваті). Волокна можуть бути безперервними і дискретними;
- за видом матеріалу матриці: металеві, керамічні, полімерні, вуглецеві;
- за схемою армування (для волокнистих матеріалів) - з одноосьовим, двохосьовим, трьохосьовим, багато осьовим армуванням;
- за видом матеріалу зміцнювача (металеві частинки, металеві волокна і шари, вуглецеві, борні, скляні, базальтові, органічні, керамічні волокна тощо).

Залежно від технології введення армувальних волокон у матрицю застосовують різні форми армувальних елементів - нитки, джгути, стрічки, сітки, тканини.

Для класифікації КМ можуть бути вибрані інші критерії. Наприклад, геометрія, розміщення чи природа компонентів.

За геометричним критерієм КМ розрізнять три основних групи:

- КМ з нуль-мірними компонентами, які мають всі три розміри одного і того ж порядку, і не мають ні одного розміру рівного характерному розміру елементарного зразка КМ;
- КМ з одномірними компонентами, один із розмірів яких, значно перевищує два інші, і рівний характерному розміру елементарного зразка;

- КМ з двомірними компонентами, два розміри яких значно перевищують третій, і однакові з характерним розміром елементарного зразка.

За розміщенням компонентів КМ розділяють на дві групи:

- композиції з одномісним (лінійним) розміщенням армуючого компоненту;
- КМ з двомісним (площинним) розміщенням армуючого компоненту.

За природою компонентів розрізняють три групи:

- КМ з металів та сплавів;
- КМ з неметалічних елементів;
- КМ з неорганічних з'єднань.

У КМ на основі полімерних матриць як полімер використовують епоксидні, фенольні, поліуретанові, поліамідні смоли. Ці смоли мають низьку густину, невисоку температуру полімеризації, високу міцність і жорсткість, достатню адгезійну міцність з основними видами армувальних волокон, гарні технологічні властивості [7].

Як матеріали зміцнювачів застосовують високоміцні і високожорсткі (з високим модулем пружності Е) волокна всіх перелічених вище типів, залежно від умов роботи виробу. Ними можуть бути тонкий дріт, спеціально виготовлені волокна, вуса. Діаметр волокон змінюється від одиниць до декількох десятків мікрометрів.

У КМ з металевою матрицею основним матеріалом для матриць є сплави на основі Al, Mg, Ti, іноді нікелеві сплави. Як зміцнювач використовують борні, вуглецеві волокна, нитки з карбіду кремнію, оксиди алюмінію, тонкі дроти металів і сітки на їх основі. У КМ керамічного типу матрицею служать оксиди, нітриди, карбіди, інтерметаліди.

При виготовленні композитів, у більшості випадків, моно шари матеріалу матриці і окремо армуючі елементи накладають один на одного, потім піддають високому тиску і температурі. Тому структуру більшості композиційних матеріалів можна розглядати як таку, що складається з окремих шарів. Кожний шар може бути армований великим числом паралельних безперервних волокон, мати як армуючий елемент безперервні волокна, що виткані в тканину, яка є початковою формою, по ширині і довжині відповідну кінцевому матеріалу. Нерідко волокна сплітають в тривимірні структури [7-11].

Розглянувши попередні відомості про композити та їх дослідження зрозуміло, що вивчення зразків даного матеріалу потребують нових

більш ґрунтовних досліджень як будови, так і фізико-механічних властивостей. Тому, як однією із важливих властивостей конструкційних матеріалів є розсіювання ними механічної енергії, дослідження таких властивостей є актуальним і важливим з питань подальшого поліпшення експлуатаційних характеристик композиційних матеріалів.

Механічний спектр композитів з металевими і полімерними матрицями.

Матеріали, що становлять основу конструкцій, як правило, експлуатуються в змінних полях різної природи (механічних, температурних і т. д.) та інтенсивності і саме тому безперервно змінюють свої властивості. У зв'язку з цим прогрес в області матеріалознавства не може бути досягнутий без повного знання реальної структури матеріалів, без глибокого розуміння мікропроцесів, що протікають в матеріалах при їх обробці і експлуатації.

Цей процес забезпечується працею багатьох вчених, які для отримання вищезазначеної інформації застосовують різні методи.

Актуальним є всебічні випробування КМ в реальних умовах експлуатації, розробка нових принципів в конструюванні виробів і підвищення їх технологічності. Висока структурна чутливість і універсальність методу внутрішнього тертя (ВТ) дозволяє вивчати явища, властивості і характеристики твердих тіл на мікроскопічному рівні. Він допомагає при рішенні багатьох конкретних задач в матеріалознавстві.

Відомо, що коливання, викликані в твердому тілі, порівняно швидко затухають навіть при відсутності зовнішнього опору. Проте до середини минулого століття цьому явищу дослідники не приділяли уваги. Мабуть, Кельвін (1865 р.) був першим, хто звернув на це важливе явище належну увагу. Його дослідження не залишилися непоміченими і були продовжені працями Максвелла (1868 р.), Фойгта (1892 р.). Вейнберга (1904 р.), Кузнєцова (1913 р.), Кімбелла (1925 р.) та іншими. У ці роки (до 1930 р.) йшло в основному накопичення експериментальних даних про характер розсіювання енергії коливань в залежності від умов експерименту, потроху створювалася макроскопічна теорія. Фізична природа явища залишалася багато в чому неясною, про механізми розсіювання енергії при коливаннях майже нічого не говорили, проте основа для серйозних досліджень була створена.

Тридцяті і сорокові роки характеризуються різким збільшенням

кількості експериментальних (Кестер, Сноек, Рід тощо) і теоретичних (Зінер, Ландау, Ахіезер, та інші) досліджень, спрямованих на з'ясування суті явища, на практичному його використання для вирішення задач фізики твердого тіла. З'являється необхідність в аналізі накопиченого матеріалу. Перший, важливий для подальшого розвитку проблеми внутрішнього тертя, огляд зробив Г. Зінер (1940 р.). Цей огляд в значній мірі сприяв розвитку проблеми розсіювання енергії коливань в матеріалі [12].

За останні десятки років виконано величезне число досліджень різного роду. Настільки великий інтерес до проблеми не може бути випадковим. Він продиктований міркуваннями пізнавального і практичного характеру. Всім відомо, що надійність конструкцій в космічний вік - найбільш важлива проблема. Вона не може бути успішно вирішена без застосування матеріалів з високими стабільними фізико-механічними, хімічними та іншими властивостями. Забезпечити стабільність властивостей існуючих матеріалів, створити нові, що володіють потрібними для техніки властивостями, - нелегке завдання.

Внутрішнім тертям прийнято називати здатність твердого тіла перетворювати частину енергії механічного коливання в теплову енергію. Фізичною причиною внутрішнього тертя є перебудова в твердому тілі, що відбувається під впливом механічної напруги і протікає з кінцевою швидкістю. Висока чутливість механічної релаксації до структурних змін зумовила створення методу внутрішнього тертя.

За допомогою методу внутрішнього тертя вивчають структурні зміни, внутрішньомолекулярні і міжмолекулярні взаємодії, фіксують збільшення або зменшення рухливості не лише макромолекули, але і її сегментів, бічних груп.

У роботах В. В. Хільчевського, В. Г. Дубенця, А. П. Яковлева, О. В. Савченко [13-15] наведені методи розрахунку вільних і вимушених коливань листових і волокнистих композиційних конструкцій. Розсіювання механічної енергії досліджуваними композиційними матеріалами можна проводити як конструкції з трьома чи багатьма шарами. У роботах О. В. Мозгового, В. А Тітова, Б. М. Сінайського, В. П Мороз розглядаються властивості композиційних матеріалів розсіювати механічну енергію під впливом механічних і теплових факторів [16-22].

У роботі для дослідження композитів з металевими і полімерними матрицями використано метод внутрішнього тертя та металографії.

Внутрішнє тертя досліджуваних у роботі композитів вимірювали оберненим крутильним маятником (частота близько 1 Гц) при збільшенні та зменшенні амплітуди деформації і температури [12,23-26]. Амплітуда деформації змінювалась в межах $2 \cdot 10^{-6}$ – $1{,}5 \cdot 10^{-3}$. Температура вимірювань лежала в межах від 15 °С до 600 °С. Зразки виготовляли електроіскровим різанням пластин КМ вздовж напряму волокон. Мікротвердість вимірювали приладом ПМТ-3.

У роботі досліджували такі композиційні матеріали.

1. Волокнисті композиційні матеріали (ВКМ) алюміній - бор, які виготовлені методом гарячої прокатки вздовж збірних пакетних заготовок із плазмовонапилених монострічок. Об'ємний вміст волокон у ВКМ АМг6-В становить – 50%, М40-В – 35%. Армуючі борні волокна мають діаметр 100 мкм. Напрям армування – однонаправлені неперервні волокна вздовж осі зразків.

2. ВКМ алюміній-сталь, армований некрихким металічним волокном. Він механічно обробляється і згинається вздовж і поперек волокна. ВКМ отримували методом гарячого вальцювання при 580 °С. Матрицею є технічний алюміній АД1. Армували одно напрямленими неперервними волокнами високоміцної сталі ЄП322 діаметром 100 мкм. Об'ємна частка зміцнюючих волокон 15%. Цей матеріал термодинамічно несумісний. Проте варіюючи технологічними параметрами можна домогтися кінетичної сумісності [27,28].

3. Гібридний композит алюміній-бор-сталь, отриманий методом гарячого пресування і прокатки. Режими гарячого пресування були такі: температура 540 °С, час витримки – 20 хвилин, тиск 50 МПа. Прокатка проводилась вздовж борних волокон при 550 °С. Матрицею є алюмінієвий сплав АМг6. Механічні характеристики визначали на установці УМЭ-10Т: міцність – 504 МПа, модуль пружності – 226 ГПа. Досліджували КМ алюміній-бор-сталь з однією і двома металевими сітками. Конструктивна схема композиції з однією металевою сіткою представлена нижче на схемі:

- - - - - - - - - -	- - - - - - - - - монолист алюмінію;
o o o o o o o o o	o o o o o o - монолисти із алюмінію, армовані
- - - - - - - - - -	борними волокнами;
x x x x x x x x x	x x x x x x - сітка із п'яти стальних дротин
- - - - - - - - - -	діаметром 0,032 мм, трикотажна структура –
o o o o o o o o o	ластик.
- - - - - - - - - -	

У випадку двох стальних сіток композит містить шість моношарів

алюміній-бор і двох шарів стальної сітки (діаметр дротин 0,032 мкм в 3 складання).

4. Металічний композиційний матеріал (МКМ) алюміній-карбід кремнію (Al-SiC) двох типів: гаряче пресований та виготовлений по ливарній технології.

Зразки МКМ першого типу складаються із однонаправлених моношарів карбідо-кремнієвих волокон, діаметром 100 мкм з плазменним покриттям алюмінієвим порошком марки ПА-4. Матеріал виготовляли методом гарячого пресування при температурі 570 ^{o}C та тиску 65 МПа.

Зразки композиційного матеріалу другого типу були отримані по ливарній технології з подальшою гомогенізацією, пресуванням та термообробкою по режиму матричного сплаву Д16.

Основні фізико-механічні властивості досліджених матеріалів надані у таблиці 1.

Таблиця 1.

Фізико-механічні властивості МКМ (Al-SiC)

Матеріал	Вміст SiC об., %	Густина, г/см^3	Механічні властивості	
			$\sigma_в$, МПа	Е, МПа
Волокнистий МКМ Al-SiC (волокна)	6 – 7	3,0	200 – 250	60 – 70
Литий МКМ Al-SiC (частки)	15 – 20	2,9	500 – 550	95 – 100

МКМ Al-SiC мають густину на рівні алюмінієвих сплавів та більшу міцність і жорсткість у порівнянні з традиційними алюмінієвими сплавами і зберігають ці властивості при підвищених температурах [29]. Властивості МКМ, в значній мірі, залежать від характеристик складових та технологічних режимів їх виготовлення.

5. Волокнисті композиційні матеріали з полімерною матрицею (ПКМ), які виготовляли вакуумно-автоклавним пресуванням препрегів, що були отримані просочуванням армуючих компонентів. У якості матеріалу, який зв'язує волокна, використано епоксидну смолу ЭДТ-69Н, температура тверднення якої 125 ± 5 ^{o}C. Для збільшення поперечної міцності і модуля пружності у частині композиційних матеріалів в епоксидну смолу були введені мілко дисперсні добавки частинок муліту ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$). Модуль пружності таких частинок складає $E=187 \pm 1{,}1$ ГПа, а твердість – $H=18{,}7 \pm 2{,}1$ ГПа.

Полімерні композиційні матеріали в останні роки широко використовуються в промисловості і народному господарстві. Висока питома міцність, поліпшені технологічні і експлуатаційні параметри ПКМ, при порівняно не високих енергетичних і трудових витратах, дають змогу розширювати їх використання у різних галузях сучасної техніки [30,31].

Енергетична криза вимагає відмовлятися від традиційних джерел енергії і шукати альтернативні шляхи. Одним із таких напрямів є вітроенергетика. Сучасна промисловість надає великий вибір вітряних двигунів від міні турбін з діаметром ротора 0,5÷1,25 м до промислових і комунальних з діаметром ротора 30÷90 м, відповідно. Потужність становить від 20÷300 Вт до 100 кВт ÷ 4 МВт [32]. Важливим елементом таких двигунів є лопаті, які виготовляють із композиційних матеріалів, що армовані вуглецевими, скляними і базальтовими волокнами.

Використання вуглепластиків забезпечує більш високі міцність і модуль пружності у порівнянні із склопластиками, але при цьому їхня вартість на порядок вище [31]. Зменшити вартість вітродвигунів можна використовуючи для виготовлення лопатей гібридні композиційні матеріали. При цьому вуглецеві волокна замінюються на більш дешеві базальтові волокна. Введення яких у композиційний матеріал із збереженням експлуатаційних характеристик композиту (незважаючи на дещо менші модулі пружності і міцності у базальтових волокон ніж у вуглецевих та враховуючи значно меншу ціну базальтових волокон за вуглецеві в 5 – 10 разів (базальтові волокна – 2 – 7 $/кг, вуглецеві волокна – 25 – 35 $/кг [6,31-35])), економічно вигідно. Збереження пружних і міцностних властивостей композиту забезпечується за рахунок виготовлення поліпшених армуючих структур, кращої адгезії матриці з волокнами і використання мінеральних добавок у матрицю, які її зміцнюють [36-42].

Прикладом може служити оболонка лопаті вітряної турбіни малої (до 100 kW) і великої (до 4 MW) потужностей. При їх виготовленні використовують гібридний ПКМ, який армовано скляними і вуглецевими волокнами. Автори в роботі [40] пропонують використовувати при армуванні і базальтові волокна, які виготовляють із гірських порід по технологіях виготовлення скляних волокон. Модуль пружності базальтового волокна (70 – 90 ГПа), міцність (1,9 ГПа), діаметр 10 – 18 мкм наближаються до характеристик середньомодульного вуглецевого волокна. Якщо діаметр зменшити до

8 мкм то міцність базальтового волокна зростає до 2,6 ГПа, що відповідає міцності високомодульних вуглецевих волокон (таблиця 2).

Таблиця 2.

Характеристики вуглецевих і базальтових волокон [31]

Тип волокна	ρ, г/см^3	Е, ГПа	σ, ГПа	ε, %
Вуглецеві волокна				
Карбонізовані	1,5-1,6	20-50	0,4-1,0	2,0-2,5
Графітизовані:				
низькомодульні	1,4-1,6	30-70	0,5-1,0	1,5-2,0
середньомодульні	1,4-1,8	70-80	1,0-2,5	1,0-1,8
високомодульні	1,6-2,0	300-700	2,5-4,0	0,5-0,7
високоміцні	1,7-1,9	200-300	3,0-5,0	0,6-1,0
Базальтові волокна	2,7-2,9	70-90	1,9	-

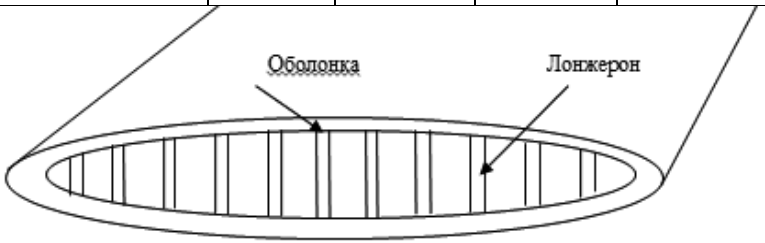


Рис. 3. Схема лопаті вітротурбіни

У роботі досліджувались зразки полімерного композиційного матеріалу із наповнювачем з вуглецевих, базальтових і скляних волокон. Конструкція лопаті складається із оболонки і лонжерона (рис.3). Це враховувалось при розробці композиційних матеріалів, з яких виготовляються лопаті.

Гібридний композит для оболонки містить вуглецеві і скляні волокна, які знаходяться, відповідно, під кутами 20 і 70 градусів до поздовжньої осі лопаті. Лонжерон виготовляють із однонаправленого композиту, у якому вуглецеві і базальтові волокна розміщені вздовж поздовжньої осі (рис. 4).

Збільшити поперечну міцність, а також модуль пружності вдалось введенням у епоксидну смолу дрібнодисперсної добавки із частинок мулліта ($3Al_2O_3{\cdot}2SiO_2$) [36]. Зразки виготовлялись методом вакуумного просочування у автоклавах по стандартному режиму.

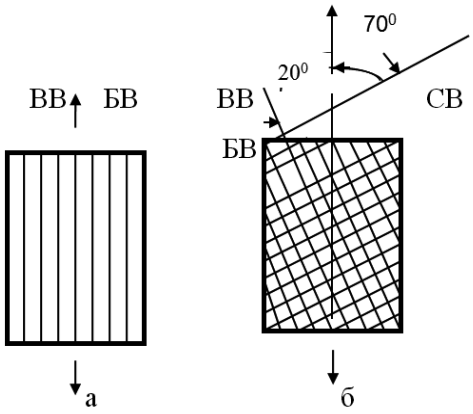


Рис. 4. Схема армування вуглецевими, скляними і базальтовими волокнами гібридних полімерних композитів, з яких виготовляють лопаті вітряних двигунів (а – для лонжерона, б – для оболонки) ВВ – вуглецеві волокна, СВ – скляні волокна і БВ – базальтові волокна

Склад і механічні властивості (модуль пружності, межа міцності при розтягуванні вздовж і поперек поздовжньої осі) досліджуваних ПКМ представлені в таблиці 3.

Таблиця 3.

Механічні властивості досліджуваних ПКМ

№	Тип матеріалу	вздовж осі		поперек осі	
		E_X, ГПа	$\sigma_{ВХ}$, МПа	$E_У$, ГПа	$\sigma_{ВУ}$, МПа
1	Однонаправлений 100%ВВ	165	1259	9,3	10,3
2	Однонаправлений 80%ВВ + 20%БВ	162	1598	10,4	12,0
3	Армування під кутом до осі (70%УВ)-20^0 + (30%СВ) 70^0	34	161	17,6	108
4	Армування під кутом до осі (70%(УВ+20%БВ))-20^0 + (30%СВ) 70^0	34,6	100	10,9	65,6
5	Армування під кутом до осі (70%(УВ+40%БВ))-20^0 + (30%СВ) 70^0	26,9	98,0	12,7	72,0

4.2. Дослідження розсіювання механічної енергії волокнистими композиційними матеріалами

Розсіювання механічної енергії волокнистими композитами з алюмінієвою матрицею.

Композиційні матеріали з металевими матрицями завдяки вищим фізико-механічним та фізико-хімічним характеристикам ніж у металічних матеріалах все ширше використовуються у більшості галузей машинобудування, що визначає рівень удосконалення і ефективність виробів із КМ. Досконалість структури матеріалу в цілому і його складових впливає на експлуатаційні властивості КМ.

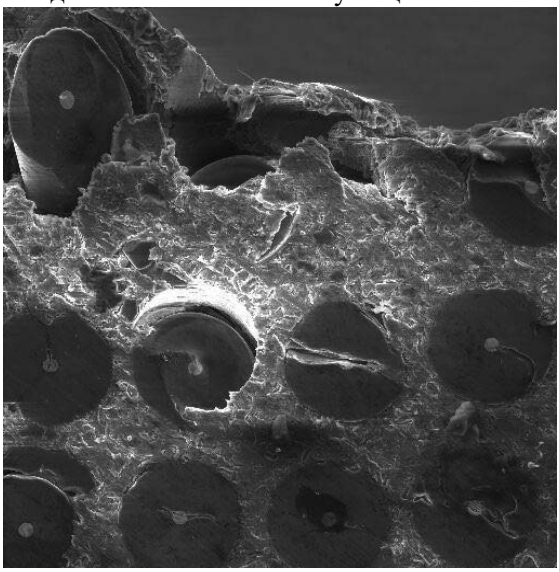


Рис. 5. Поперечний переріз композиційного матеріалу алюміній-бор, матриця АМг6, борні волокна мають діаметр 100 мкм, серцевина борного волокна – WB_4

Для прикладу на рис. 5 наведено поперечний переріз КМ алюміній-бор.

Дослідження втрат механічної енергії композиційними матеріалами з алюмінієвою матрицею з різних сплавів та армованих у різній кількості борними волокнами виявило, що для досліджуваних КМ не спостерігається амплітуднонезалежної ділянки I і ділянок II та III, які вказані на схемі (рис. 6а, I) [23-25]. Ділянка II зв'язана з рухом дислокацій, так як перша критична амплітуда відповідає початку відриву дислокацій від домішкових атомів. Третя ділянка відповідає

появі мікропластичної деформації.

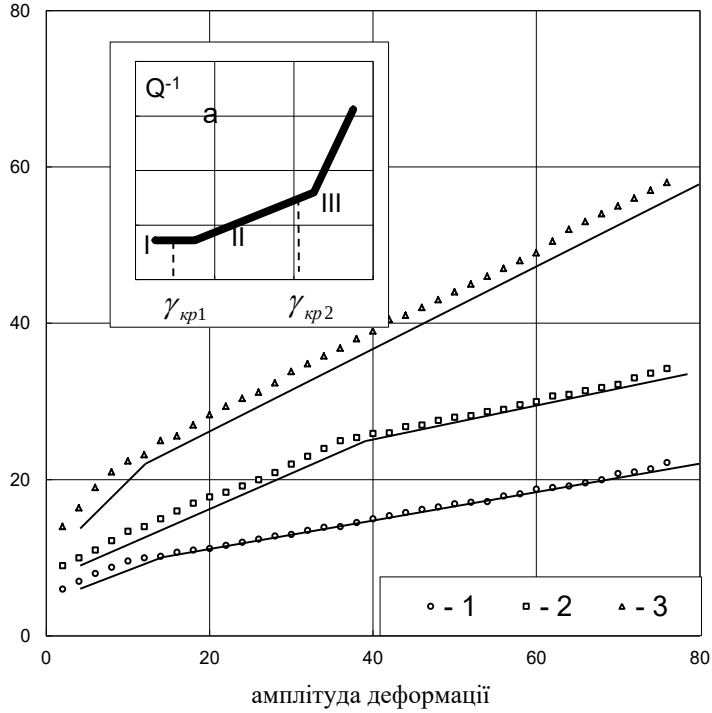


Рис. 6. Амплітудна залежність внутрішнього тертя ВКМ АД1-ЭП322 (1), АМг6-В (2), М40-В (3); а – схематична залежність внутрішнього тертя від амплітуди деформації

На кривих амплітудної залежності внутрішнього тертя спостерігається згин, до якого кут їх нахилу до осі абсцис більший. Тому амплітуда деформації ($\gamma_{кр}$), при якій спостерігається згин, визначає зміну механізмів розсіювання енергії, а АЗВТ тим сильніше проявляється (більший ріст Q^{-1} від γ), чим більше дислокацій бере участь у розсіюванні механічної енергії. Як правило, згину переважає розсіювання енергії на дислокаціях, які відриваються від домішкових атомів.

Композит М40-В має найбільші властивості розсіювати механічну енергію, найменше розсіювання спостерігається для композиту АД1-ЭП32.

Для всіх трьох композитів при збільшенні амплітуди на початку вимірювання АЗВТ нахил кривої до осі абсцис більший за нахил її після критичної амплітуди, тобто зміни механізму розсіювання механічної енергії. Після критичної амплітуди відбувається перезакріплення дислокацій між собою в полі залишкових напружень, які виникають за наявності армуючих волокон. Тому нахил кривої АЗВТ після критичної амплітуди зменшується.

Значення критичної амплітуди найменше для ВКМ М40-В, трохи більше для композиту АД1-ЭП322, для ВКМ АМг6-В її значення найбільше. Це означає, що менший відсоток армуючих волокон дозволяє дислокаціям у матриці вільніше рухатись. У ВКМ АМг6-В об'ємний вміст волокон становить 50%, тому і перезакріплення дислокацій тут спостерігається при більших амплітудах деформації.

Автори [40-45] методом амплітуднозалежного внутрішнього тертя провели оцінку зміни термічних напружень в матриці КМ алюміній-бор в режимі нагрівання-охолодження. Встановлено, що до 200 ^{o}C – 220 ^{o}C матриця знаходиться в розтягнутому стані, а при вищих температурах в ній виникають стискуючі напруги, величина яких може викликати її пластичну плинність.

У процесі виготовлення КМ нагрівається до високих температур і при охолодженні матриця перебуває в розтягнутому стані із-за різних коефіцієнтів лінійного розширення матриці і волокон. Тому в матриці народжується велика кількість лінійних і точкових дефектів. Густина дислокацій і концентрація гартувальних вакансій підвищується біля волокон. Вимірювання мікротвердості матриці між волокнами підтвердило це. Так мікротвердість матриці становить 3,7 ГПа посередині між волокнами і 4,7 ГПа біля волокон.

На рис. 7 показано хід кривих амплітудних залежностей ВТ ВКМ алюміній-бор-сталь при збільшенні і зменшенні амплітуди деформації. Криві при невеликих амплітудах деформацій мають найбільшу, у порівнянні з наступними ділянками кривої декремента згасань, інтенсивність росту ВТ.

Наявність перегинів, характерних для кривих АЗВТ при даних дослідженнях, можна пояснити так: збільшення амплітуди деформації після першої критичної амплітуди [23-25] (рис. 7, $\gamma_{кр} = 8 \cdot 10^{-5}$) викликає звільнення дислокацій від стопорів і народження нових дислокацій. Це підтверджується збільшенням значення внутрішнього тертя Q^{-1} до другої критичної амплітуди $\gamma_{кр} = 39 \cdot 10^{-5}$.

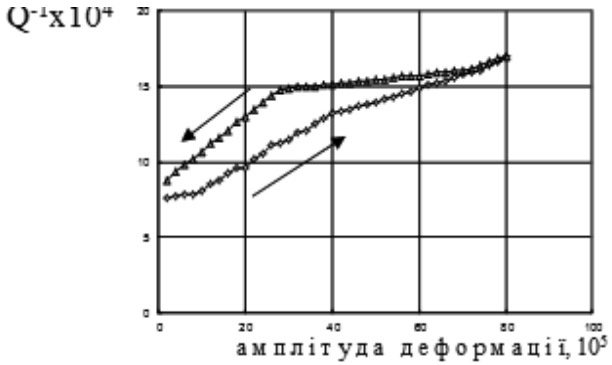


Рис. 7. Амплітудна залежність внутрішнього тертя ВКМ алюміній-бор-сталь

Після перегину нахил кривої АЗВТ до осі амплітуд деформації (параметр $tg\alpha$) зменшується (рис.7) через перезакріплення дислокацій в полі залишкових напружень, викликаних наявністю армуючих волокон бору і сталевої сітки. При цьому повинна зменшуватися довжина дислокаційних петель. Результати обрахунку їх довжини підтверджують це.

На рис. 8 показано поперечний переріз ВКМ алюміній-бор-сталь. Видно, що формування композиту відбувалось пошарово: два шари борних волокон і між ними шар із стальної сітки. Біля волокон матриця містить продукти взаємодії матеріалу волокна і матриці. Біля стальних волокон шар міжфазної взаємодії має більшу ширину ніж біля борних волокон. В результаті у матриці існують різні поля залишкових напружень, які при накладанні знакозмінних навантажень при вимірюванні внутрішнього тертя викликають появу великої кількості дислокацій, що викликає збільшення розсіювання механічної енергії (рис. 7).

Величина гістерезису ходу кривих залежить від залишкових напружень і складу композиту.

Вплив пошкоджень, які накопичені при термічній дії на композит алюміній-бор, на розсіювання ними механічної енергії.

Анізотропність і недосконалості будови ВКМ обумовлюють різку неоднорідність поглинання енергії їх компонентами при механічному навантаженні, особливо в напрямках, відмінних від орієнтації волокон. В першу чергу відбувається накопичення точкових і лінійних дефектів в матриці на кордоні з інтерметалевим прошарком або з волокном при її відсутності (рис. 8). Це місця з найбільш спотвореною кристалічною

решіткою. При подальшому навантаженні ці локальні мікрооб'ємах стають місцями подальшого інтенсивного поглинання енергії до граничного спотворення решітки і порушення цілісності на кордоні матриця-інтерметалевий прошарок або матриця-волокно. Механічні зусилля в цих місцях передаються волокнам, що може привести до руйнування композиту.

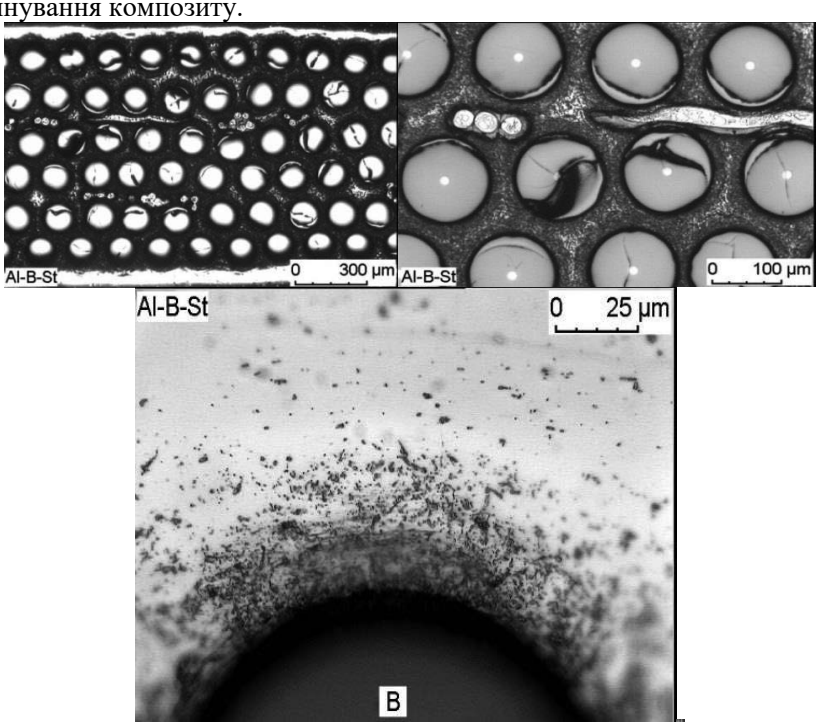


Рис. 8. Поперечний переріз ВКМ алюміній-бор-сталь

У роботах Постнікова В. С., Шоршорова М. Х., Максимовича Г. Г., Зузяка П.М., Мозгового О.В., Філіповського О.В., Лаврентьєва В.І. динамічним методом оцінені затухання коливань при різних температурах ВКМ алюміній-бор і алюміній-сталь. Встановлені механізми внутрішнього тертя в матеріалах з некогерентними міжфазними границями.

У роботах [46-48] досліджена кінетика хімічної взаємодії борних і стальних волокон з алюмінієм. Виявлено три стадії хімічної взаємодії, тривалість яких можна визначати внутрішнім тертям. На основі отриманих даних побудована залежність температурно-часових умов експлуатації волокнистого композиційного матеріалу М40+35об.% В.

Використовуючи метод внутрішнього тертя, раніше було встановлено [49], що для системи алюміній-бор при температурах вище 450 ^{o}C між волокнами і матрицею відбувається активна фізико-хімічна взаємодія, яка супроводжується утворенням і зростанням на кордоні розділу крихких інтерметалевих фаз. Автори робіт [50,51] показали, що взаємодія волокон з матрицею починається на границі зерен матриці, а на більш пізніх стадіях відбувається на міжзеренних границях бору.

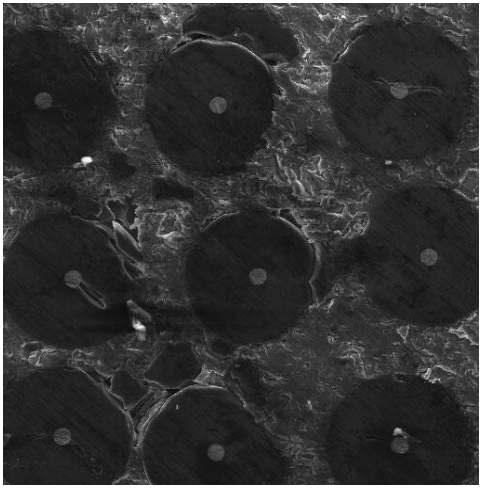


Рис. 9. Поперечний переріз ВКМ М40-В. В центрі борного волокна спостерігається серцевина із WB_4, яка утворюється в процесі виготовлення волокон

Хімічна взаємодія між бором і алюмінієм більш активно відбувається на границі зерен бору, так як атомам поблизу міжзеренних границь властива статична і динамічна нестійкість.

Проведені металографічні дослідження поперечного перерізу ВКМ Al-B перпендикулярно до борних волокон виявили незначні тріщини у волокнах, а також не для всіх волокон є безпосередній контакт з матрицею (рис. 9).

Невелика кількість новоутвореної фази поліпшує зв’язок матриці з борними волокнами. Підтвердженням цього є металографічне дослідження поверхні борного волокна, яке виділене з композиту алюміній-бор після виготовлення композиту (рис. 10).

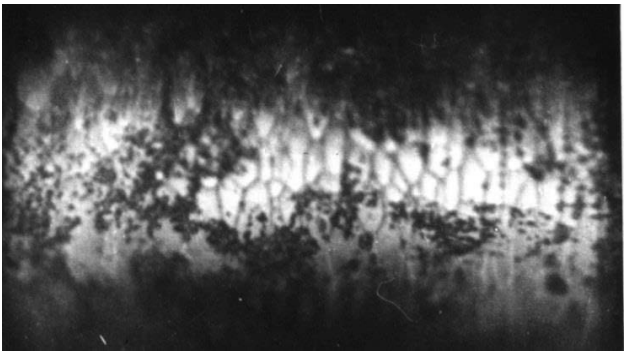


Рис. 10. Поверхня борного волокна, яке виділене із композиційного матеріалу Al-B у 20% водному розчині NaOH

Поверхня волокна бору має структуру «кукурудзяного качану». Інтерметалеві фази AlB_2 і AlB_{12} на рисунку спостерігаються як темні утворення на поверхні волокна. Дослідженням було встановлено, що чим довше перебуває матеріал при високих температурах, тим більше утворюється інтерметалевої фази, яка поширюється по всій поверхні борного волокна. Крихка інтерметалева зона порушує зв'язок волокна і матриці. Внутрішні напруги, які при цьому виникають, викликають тріщини у волокнах і їх локальні розриви. При цьому механічні властивості композиту зменшуються і погіршуються експлуатаційні властивості в цілому.

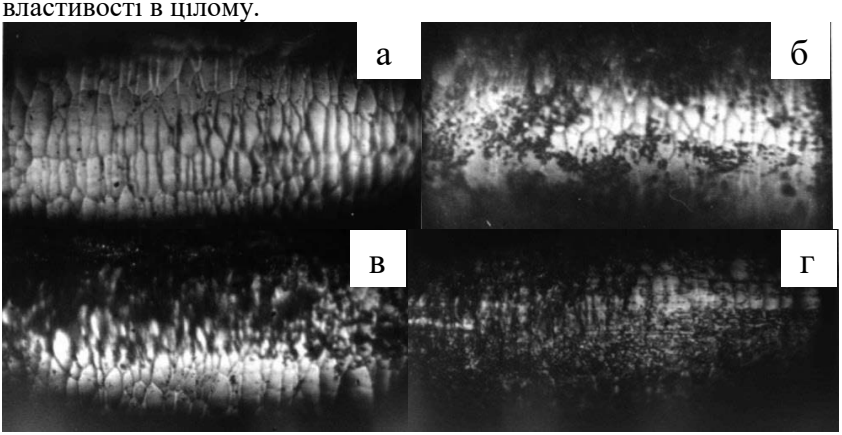


Рис. 11. Поверхня борних волокон, які виділені з композиційного матеріалу АД1-В в 20% водному розчині NaOH після відпалу при 550 ^{o}C: а) 0, 5 год, б) 2 години, в) 3 години, г) 5 годин

Так, на рис. 11 показана поверхня борних волокон ВКМ АД1-В після видалення алюмінієвого покриття в 20% водному розчині NaOH. Залежно від часу відпалу при 550 °С інтерметалева фаза поширюється по поверхні борних волокон.

Залежність площі її поширення на поверхні борних волокон від часу відпалу показана на рис. 12,а.

На рис. 12 представлені криві амплітудних залежностей внутрішнього тертя ВКМ АД1-В після виготовлення зразків, а також після 2 годин відпалу при температурі 550 °С.

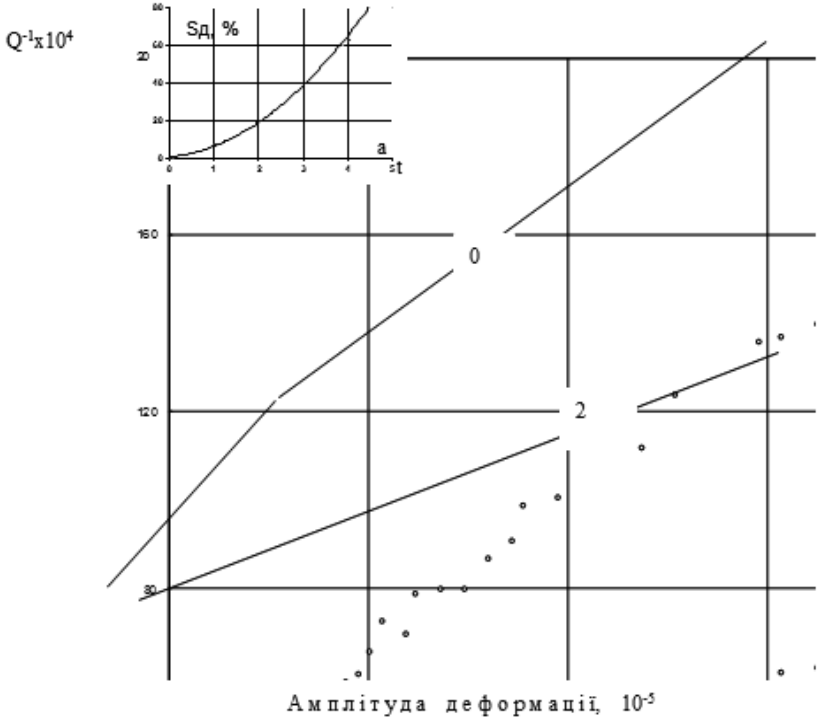


Рис. 12. Амплітудна залежність внутрішнього тертя АД1-В без термічної обробки (1) та після відпалу 2 години при 550 °С (2); а) - залежність кількості інтерметалевої фази на поверхні борних волокон від

Це призвело до зростання густини дислокацій в об'ємі структурних утворень при нетривалому відпалі (2 години). При відпалі 5 і більше годин густина дислокацій зменшується. Такий результат, очевидно, обумовлений підстроюванням дислокацій в межі субзерен в полі значних залишкових напружень, які викликані утворенням

інтерметалевої фази.

У композиційних матеріалах наявна неоднорідність поглинання енергії, яка викликана, в першу чергу, різними за структурою компонентами: матрицею і армуючими елементами. Композиційні матеріали – анізотропні. По друге – необхідною умовою існування композиту є перехідна зона між компонентами, яка забезпечує необхідний зв'язок між ними і також потребує енергетичних затрат. І, по третє, наявністю різного роду внутрішніх напружень, величина і знак яких залежить від коефіцієнтів лінійного розширення волокон, матриці і інтерметалевої зони на їх межі, а також термічних навантажень.

Одним із шляхів збільшення енергоємності композиційного матеріалу є зміцнення матриці, так як решта компонент мало змінюють свої міцністні характеристики під впливом зовнішніх факторів без зменшення міцності композиту в цілому. Зміцнена матриця повинна розподіляти існуючі напруження рівномірно по всьому об'єму, зменшуючи при цьому можливість порушення зв'язку на границі волокно-матриця.

У процесі виготовлення ВКМ нагрівається до високих температур і при охолодженні матриця перебуває в розтягнутому стані із-за різних коефіцієнтів лінійного розширення матриці і волокон. Тому в матриці народжується велика кількість лінійних і точкових дефектів, які під дією внутрішніх напружень перерозподіляються, що призводить до збільшення міцності матеріалу. Густина дефектів збільшується на межі розділу фаз, тобто найбільше дислокацій повинно бути біля армуючих волокон. Експериментальні дослідження мікротвердості матриці між волокнами підтверджують цей висновок. У роботі [52] також показано, для ВКМ алюміній-сталь біля волокон мікротвердість більша ніж між ними посередині. Тому можна стверджувати, що в алюмінієвій матриці волокнистого композиційного матеріалу дислокації зазнають перерозподілу і їхня густина найбільша поблизу волокон.

Але традиційними методами механіко-термічної обробки сформувати зміцнюючу субструктуру в матриці композиту практично неможливо. Накопичити необхідну кількість дислокацій, перерозподілити їх у субграниці вдалось використавши термоциклічну активацію в полях залишкових напруг, що підтверджується даними роботи [53]. Окремо в алюмінії при аналогічних режимах отримати таке субструктурне зміцнення важко.

Досягти необхідних експлуатаційних характеристик

композиційного матеріалу можна шляхом використання таких структурних елементів, які забезпечать характеристики міцності, жаростійкості і розсіювання механічної енергії при різних температурах. На рис. 13. представлені результати визначення втрат механічної енергії досліджуваними композитами в залежності від температури.

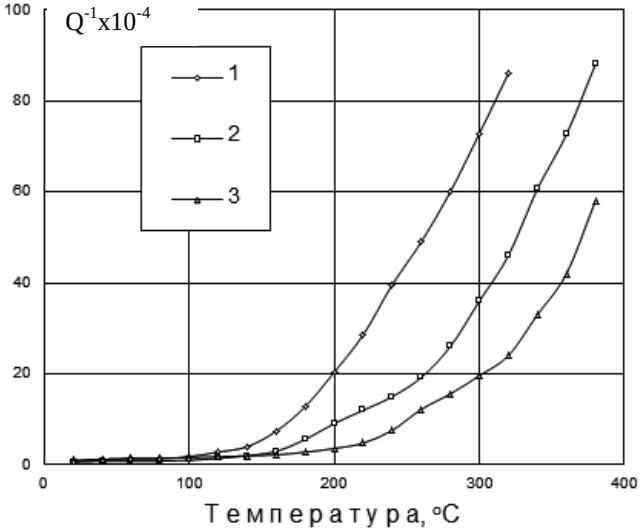


Рис. 13. Температурна залежність внутрішнього тертя ВКМ АД1-ЭП322(1), АМг6-В (2), М40-В (3) в початковому стані після виготовлення зразків

Характерним для температурних залежностей внутрішнього тертя досліджуваних матеріалів є різке зростання його значень після температури 150 °С. Величина нахилу високотемпературної частини вітки кривої $Q^{-1}(T)$ до осі температур залежить від складових композиційного матеріалу і об'ємного вмісту волокон.

Отже, забезпечення механіко-термічних характеристик композиційних матеріалів на основі алюмінію, армуючими елементами яких є борні і стальні волокна, можливе з використанням відповідного матеріалу, задання об'ємної долі компонентів композиту, можливої фізико-хімічної взаємодії на границі волокно-матриця, субструктурним зміцненням матриці. Визначення структурних змін у композитах після виготовлення і у процесі експлуатації та визначення розсіювання ними механічної енергії можна за допомогою методу внутрішнього тертя [57].

Розсіювання механічної енергії в композитах Al-SiC.

Створення нових машин і механізмів, які успішно працюють в екстремальних умовах, неможливо без нових матеріалів. Змінюючи структуру композиту, можна отримувати необхідні фізико-механічні характеристики майбутніх деталей машин і механізмів. Металічні композиційні матеріали алюміній-карбід кремнію (Al-SiC) використовують де потрібна більша міцність і жорсткість у порівняння з традиційними алюмінієвими сплавами і є підвищені температури [55]. Структуру композиту представлено на рис. 14.

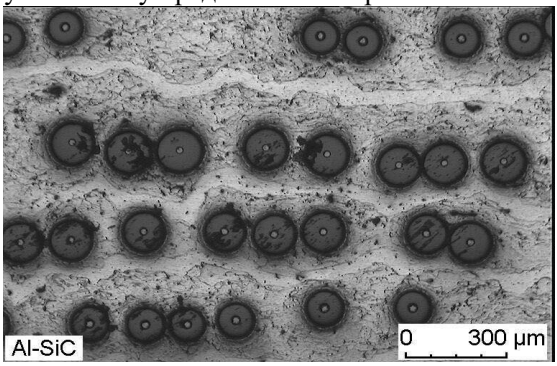


Рис. 14. Поперечний переріз композиту Al-SiC

На рис. 15 представлені амплітудні і температурні залежності внутрішнього тертя композиту обох технологій виготовлення. Розсіяння механічної енергії матеріалом, що армований волокнами, більше, ніж матеріалом, який армований частками карбіду кремнію.

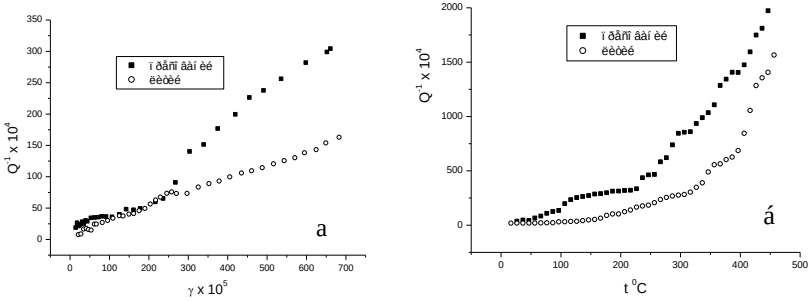


Рис. 15. Амплітудні (а) і температурні (б) залежності внутрішнього тертя композиту Al-SiC: верхні криві композиту, який виготовлений гарячим пресуванням, нижні криві – по ливарній технології

Для амплітудних залежностей внутрішнього тертя значне збільшення втрат механічної енергії волокнистих композитів спостерігається для амплітуд деформації більших за $2{,}5 \cdot 10^{-7}$. Кут нахилу до осі абсцис кривої АЗВТ композита, який армований частками SiC, із збільшенням амплітуди не змінюється. При збільшенні температури (рис. 15б) волокна SiC викликають ріст величини демпфуючих властивостей при менших температурах, ніж для композиту, що армований частками SiC.

Меша величина внутрішнього тертя при високих температурах свідчить про вищу жароміцність останнього композиту.

Встановлено, що макроструктура МКМ і способи їх виготовлення суттєво впливають на розсіювання ними механічної енергії. Результати досліджень вказують на можливість використання механічної спектроскопії для вивчення впливу структури композитів на їх механічні характеристики, що сприятиме розробці наукових засад технології одержання МКМ із підвищеними експлуатаційними характеристиками.

Розсіювання механічної енергії волокнистими композитами з полімерною матрицею

Для лонжерона застосовують полімерний композит, у якому зміцнюючі волокна розташовані вздовж поздовжньої осі (рис. 4). На кривих амплітудної залежності внутрішнього тертя характерним для цих зразків є відсутність амплітудно-незалежної області. При збільшенні амплітуди деформації розсіювання механічної енергії збільшується. Потім величина внутрішнього тертя мало залежить від амплітуди (рис. 16).

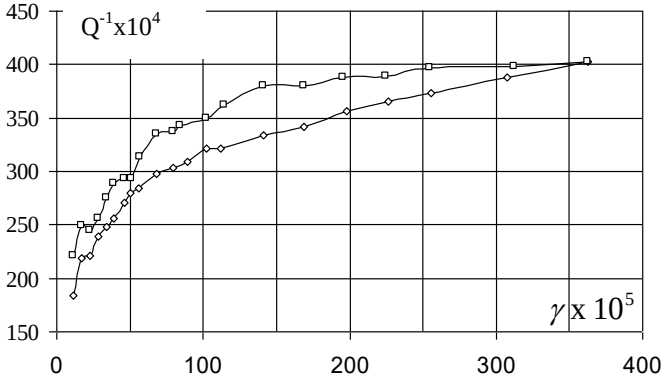


Рис. 16. Амплітудна залежність внутрішнього тертя полімерного композиту, який армовано вуглецевими волокнами

Спостережувані злами на кривих внутрішнього тертя характеризуються критичними амплітудами, при яких в матеріалі змінюються механізми розсіювання енергії.

При малих деформаціях криві АЗВТ мають великий кут нахилу до осі абсцис, що свідчить про істотні втрати механічної енергії при невеликих деформаціях і криві круто йдуть вгору. Після критичної амплітуди $7{,}5 \cdot 10^{-4}$, швидше за все сталася зміна механізму розсіювання механічної енергії, кут нахилу кривих зменшився майже в три рази (до критичної амплітуди – $tg\alpha=1{,}15$, після критичної амплітуди $tg\alpha=0{,}38$).

Спостерігається незначний гістерезис кривих АЗВТ при збільшенні і зменшенні амплітуди деформації. Крива при збільшенні деформації проходить нижче, ніж при зменшенні деформації. Швидше за все, у процесі вимірювання ВТ в матеріалі накопичилися дефекти, які внесли свій вклад в процес розсіювання енергії.

Введення 20% базальтових волокон замість вуглецевих дозволяє зберегти високими модуль пружності, міцність матеріалу і трохи підвищило величину розсіювання механічної енергії. Амплітудна залежність внутрішнього тертя має більш прямолінійну залежність (рис. 17).

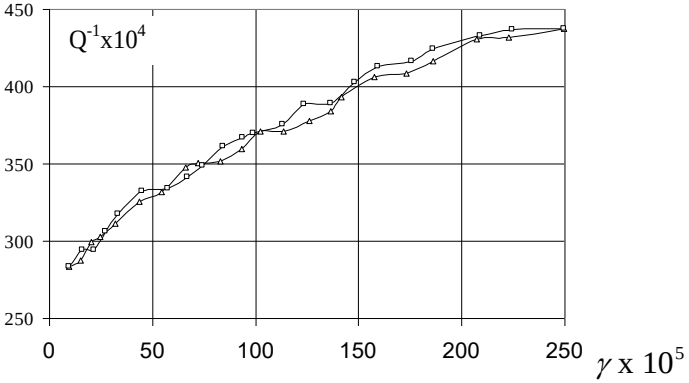


Рис. 17. Амплітудна залежність внутрішнього тертя полімерного композиту, який армований вуглецевими і 20% базальтовими волокнами

На рис. 17 гістерезис відсутній. Критична амплітуда, коли змінюється нахил кривої до осі абсцис, має значення $5 \cdot 10^{-4}$, а тангенс кута нахилу до осі абсцис відрізняється у півтора рази (до критичної амплітуди – $tg\alpha=0{,}92$, після критичної амплітуди $tg\alpha=0{,}64$).

Наявність різних армуючих елементів в композиті сприяє більш рівномірному розподілу напружень. Розсіювання механічної енергії не

тільки залежить від армуючих волокон, а також і від їх розташування (рис. 18).

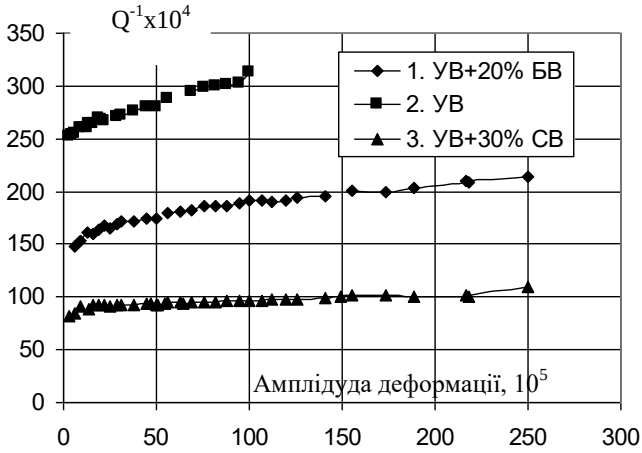


Рис. 18. АЗВТ ПКМ на основі вуглецевих волокон, 20% базальтових волокон і 30% скляних волокон: 1 – вуглецеві і базальтові волокна розміщені вздовж поздовжньої осі композиту; 2 – вуглецеві волокна розміщені вздовж поздовжньої осі композиту; 3 – вуглецеві і скляні волокна розміщені під кутами 20^0 і 70^0 до поздовжньої осі композиту. Криві отримані при збільшенні амплітуди деформації

У зразках, які використовуються для виготовлення лонжерона, армуючі волокна паралельні осі зразка. Для оболонки армуючі волокна укладаються під кутами (20^0 і 70^0) до осі зразка. Показано, що розсіювання механічної енергії найбільші у ПКМ, армованого вуглецевими волокнами. Введені додатково базальтові і скляні волокна зменшують розсіювання механічної енергії композитами (рис. 18).

Висновки.

1. Обґрунтовано застосування методу внутрішнього тертя до дослідження розсіювання механічної енергії композитами при різних амплітудах деформації і температурі, що дає можливість отримати додаткову інформацію про властивості, структуру, внутрішні зміни в мікроструктурі матеріалу після виготовлення та в результаті зовнішнього впливу.

2. Експериментальне дослідження розсіювання механічної енергії ВКМ з алюмінієвими матрицями, які армовані борними і стальними

волокнами, виявило, що втрати механічної енергії залежать від об'ємного вмісту волокон та матеріалу матриці. Композит М40-В ($V_{вол}$=35%) має найбільші властивості розсіювати механічну енергію при зміні амплітуди деформації, найменше розсіювання спостерігається для композиту АД1-ЭП32 ($V_{вол}$=15%). Показано, що для ВКМ АМг6-В ($V_{вол}$=50%) значення критичної амплітуди при зміні механізму розсіювання механічної енергії в три рази вище порівняно з іншими досліджуваними композитами. Виявлено для гібридного ВКМ алюміній-бор-сталь наявність гістерезису кривих АЗВТ при збільшенні і зменшенні амплітуди деформації.

3. Характерним для температурних залежностей внутрішнього тертя ВКМ алюміній-бор і алюміній-сталь є різке зростання його значень після температури 150 °С. Величина нахилу високотемпературної частини вітки кривої $Q^{-1}(T)$ до осі температур залежить від складових композиційного матеріалу і об'ємного вмісту волокон. За положенням високотемпературної вітки ТЗВТ найбільші жаростійкі властивості має композит М40-В.

4. Металографічне дослідження ВКМ виявило структуру композиту і продукти взаємодії матриці і армуючих волокон. Показано, що на границі волокно-матриця при підвищених температурах утворюються інтерметаліди, кількість яких збільшується із збільшенням часу нагрівання і величини температури. Виявлено структуру композиту у зоні біля борного волокна.

5. Показано для ВКМ АД1-В, що високотемпературний відпал викликав зменшення тангенса кута нахилу амплітудної залежності внутрішнього тертя до осі абсцис ($tg\alpha$) з 1,27 до 0,44 і збільшення значення першої критичної амплітуди деформації в два з половиною рази, що свідчить про збільшення точок закріплення дислокацій і зміну природи центрів їх закріплення, тобто появи нової фази.

6. Порівняльний аналіз розсіювання механічної енергії композитом Al-SiC показав, що армований волокнами ВКМ має більше значення втрат енергії, ніж матеріал, який армований частками карбіду кремнію, який виготовлено по ливарній технології. Встановлено вплив макроструктура композиту Al-SiC і способу його виготовлення на розсіювання механічної енергії.

7. Встановлено методом ВТ різний характер розсіяння механічної енергії полімерними композитами на основі вуглецевих, скляних і базальтових волокон. Змінюючи структуру композиту і його будову, тобто кількість армуючих волокон і їх розташування відносно поздовжньої осі, можна змінювати міцність і демпфуючі властивості

деталей.

8. Показано, що розсіювання механічної енергії найбільші у КМ з полімерною матрицею, армованого вуглецевими волокнами. Введені додатково базальтові і скляні волокна зменшують розсіювання механічної енергії композитами.

9. Результати досліджень вказують на можливість використання механічної спектроскопії для вивчення впливу структури композитів на їх механічні характеристики, що сприятиме розробці наукових засад технології одержання ВКМ із підвищеними експлуатаційними характеристиками.

Список використаних джерел

1. Карпінос Д. М Композиційні матеріали в техніці / Карпінос Д.М., Тучінський Л.І, Сапожнікова А.Б. – К. :Техніка, 1985. – 152 с.
2. Шоршоров М.Х. Волокнистые композиционные материалы с металлической матрицей / М.Х. Шорошоров, А.И Калпашников, В.И. Костиков и др. – М : Машиностроение, 1981. – 272 с.
3. Карпинос Д. М., Тучинский Л. И., Вишняков Л. Р. Новые композиционные материалы / Д.М. Карпинос, Л.И. Тучинский, Л.Р. Вишняков – . Киев : Вища школа, 1977. – 312 с.
4. Композиційні матеріали, області застосування [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.naftaros.ru/articles/42/.
5. Батаев А.А., Батаев В.А. Композиционные материалы: строение, получение, применение. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 384 с.
6. Артеменко С. Е Полимерные композиционные материалы на основе углеродных, базальтовых и стеклянных волокон / С.Е. Артеменко, Ю.А. Кадыкова // Химические волокна, 2008. - №1. – С. 30 - 32.
7. Карпинос Д. М. Композиционные материалы. Справочник / Д. М. Карпинос. – К. : Наукова думка, 1985. – 588 с.
8. Андреева А. В. Основы физикохимии и технологии композитов. Учеб. пособие для вузов / А. В. Андреева. — М. : ИПРЖР, 2001. — 192 с.
9. Кербер М. Л. Полимерные композиционные материалы. Структура. Свайства. Технологии / М.Л.Кербер, В.М.Виноградов, Г.С.Головкин и др.; под ред. А.А.Берлина. – СПб. : Профессия, 2008. – 560 с.
10. Вишняков Л. Р. Композиционные материалы. Справочник / Л. Р. Вишняков, Д. М. Карпинос. – К. : Наукова думка, 1985. – 592 с.
11. Композиционные материалы. Справочник / под. ред.

В. В. Васильева, Ю. М. Тарнопольского. — М. : Машиностроение, 1990. — 512 с.

12.Зинер К. Упругость и неупругость металлов./ Зинер К.; Пер. с англ. - М.: ИЛ, 1954. – 326 с.

13.Дубенец В. Г. Колебания демпфированных композитных конструкций / В. Г. Дубенец, В. В. Хильчевский. – К. : Вища школа, 1995. – Т.1. – 226 с.

14.Яковлев А. П. Диссипативные свойства неоднородных материалов и систем / А. П Яковлев. – К. : Наук. думка, 1985. – 248 с.

15.Савченко Е. В. Пассивное демпфирование колебаний композитных конструкций / Е. В. Савченко. – Нежин : ООО «Видавництво «Аспект-Поліграф», 2006. – 232 с.

16.Зузяк П.М., Мозговий О.В., Філіповський О.В. Залишкові напруження в волокнистих композитах на алюмінієвій основі під час термоциклювання // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 1995. - №2. – С.123 – 125.

17.Мозговий О.В., Тітов В.А., Зузяк П.М., Лисий М.В. Механічна спектроскопія деформованого композиту алюміній-бор // Технологические системы.- 2000.- № 2(4). – С. 92 – 95.

18.Мозговий О.В. Вплив термоциклічних обробок на амплітудну залежність внутрішнього тертя композиційних матеріалів алюміній-бор // Технологические системы. – 2000. – № 4(6). – С.87-90.

19.Мозговой А.В. Изотермические измерения амплитудной зависимости внутреннего трения ВКМ алюминий-бор // Технологические системы. – 2001. - № 1(7). – С. 111– 114.

20.Вишняков Л.Р., Мозговой А.В., Мороз В.П., Синайський Б.Н. Влияние термоциклирования на внутреннее трение композиции алюминий-бор-сталь // Технологічні системи. - 2005. - № 4. – С. 60 – 63.

21.Мозговой А.В., Л.Р.Вишняков, Синайский Б.Н., Яременко О.П., Мороз В.П. Рассеяние механических колебаний звуковой частоты полимерными композитами на основе углеродных волокон // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні, м. Запоріжжя, 2012. - №2. – С.41-46.

22.Мозговий О.В. Гістерезис АЗВТ волокнистих композитів з алюмінієвою матрицею // Структурна релаксація у твердих тілах. Зб. наук. праць. Вінниця: ДОВ Вінниця, 2003. – С. 95 - 96.

23.Криштал М.А. Внутреннее трение и структура металлов / Криштал М.А., Головин С.А. – М.: Металургия, 1976. – 348 с.

24.Механическая спектроскопия металлических материалов /

[Блантер М. С., Головин И. С., Головин С. А. и др.]; под ред. С. А. Головина, А. А. Ильина – М. : МИА, 1994. – 256 с.

25.Головин И. С. Внутреннее трение и механическая спектроскопия металлических материалов : учеб. / И. С. Головин. – М. : Изд. Дом МИСиС, 2012. – 247 с.

26.Новик А., Берри Б. Релаксационные явления в кристаллах / Пер. с англ. – М.: Атомиздат, 1975. – 472 с.

27.Максимович Г.Г. Влияние температурно-временных факторов на физико-химическое взаимодействие компонентов армирующих систем / Г.Г. Максимович, Е.М. Лютый, А.В. Филиповский, В.Х. Кадыров // ДАН УССР, 1978. – Сер. А. – № 8. – С. 722 – 726.

28.Шоршоров М.Х. Проблема совместимости при разработке композиционных материалов с металлической матрицей, упрочненных высокомодульными волокнами / М.Х. Шоршоров // Волокнистые и дисперсноупрочненные композиционные материалы. – М. : Наука, 1976. – С. 10 – 15.

29.Вишняков Л.Р Оценка вклада структурных составляющих в рассеивание энергии в гибридном композите алюминий-бор-сталь // Сб. науч. тр. Исследование в области композиционных материалов.– К. : Ин-т пробл. материаловедения НАН Украины, 1995.– С. 103-112.

30.Композиционные материалы: Справочник / В. В. Васильев, В. Д. Протасов, В. В. Болотин и др. По общей ред. В. В. Васильева, Ю. М. Тарнопольського. – М. : Машиностроение, 1990. – 512 с.

31.Перепелкин К.Е. Полимерные волокнистые композиты, их основне виды, принципы получения и свойства / К. Е. Перепелкин // Химические волокна. Ч.1. - № 4, 2005. – С. 7 – 22; Ч.2. - №5, 2005. – С. 54-69; Ч3. - № 1, 2006. – С. 41-50.

32.Marsh G. Reinforced plastics transform small wind market / G. Marsh // Reinforrced Plastics, Vol. 48, I. 1, Jan. 2004. – P. 22 – 26.

33.Mislavsky B. Basalt fibre an option for filament winding / B. Mislavsky // Reinforced Plastics, Vol. 50, I. 10, Nov. 2006. – P. 12.

34.Костиков В.И., Варенков А.Н. Композиционные материалы на основе алюминиевых сплавов, армированных углеродными волокнами / В. И. Костиков, А. Н. Варенков. – М. : "Интермет Инжиниринг", 2000. – 446 с.

35.Джигирис Д.Д. Основы производства базальтовых волокон и изделий / Джигирис Д.Д., Махова М.Ф. – М.: Теплоэнергетик, 2002. – 416 с.

36.Вишняков Л.Р. Структура и некоторые свойства оксидных кристаллов на основе муллита и армированных ими композитов с

алюминиевой матрицей / Л. Р. Вишняков, В. П. Мороз, Б. Н. Синайский, О. П. Яременко, В. А. Коханый, В. Т. Варченко // Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении, 2006. – №2. – С. 27 – 31.

37.Вишняков Л.Р., Синайский Б.Н., Яременко О.П., Байдала Э.С. Полимерные композиционные материалы на основе углеродных и базальтовых волокон для лопастей малых ветроэлектрогенераторов // Повышение эффективности производства электроэнергии – Новочеркасск: Оникс+, 2007. – С.53-57.

38.Kumar S. Polymer/Carbon Nanotube Composites: Opportunities and Chalenges. International Symposium on Nanostructured Polymeric Materials, Tokyo, Japan, December 4-5, 2003. - P.77-81.

39.Гуняев Г.М., Ильченко С.И., Комарова О.А. и др. Технология и эффективность модифицирования углепластиков углеродными наночастицами // Конструкции из композиционных материалов, № 4, 2004. –С.77-79.

40.Вишняков Л.Р., Синайский Б.Н., Яременко О.П., Петропольский В.С., Демиденко З.Н. Полименые гибридно-армированные композиты для лопастей малых ветродвигателей // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні, 2009. – №2. – С. 41- 45.

41.Вишняков Л.Р., Переселенцева Л.Н., Коханый В.А. Углеродные частицы-анионы для модифицирования полимерных композитов/ Материалы 29-й Межд. НПК и блиц-выставки «Композиционные материалы в промышленности» (Славполиком-2009), Ялта, 1-5 июня 2009. – С.17-19.

42.Pereselenceva L. Fullerene-like carbon formation during hydrate cellulose fibers carbonization / L. Pereselenceva, L. Vyshniykov, G. Oleinik. // Abstract Book II International Conference on Modern Achievements of Science and Education, Netanya, Israel, 25 Sep. – 2 Oct. 2008. – P. 21 –23.

43.Постников В. С. Об особенностях внутреннего трения в материалах с некогерентными поверхностями раздела между фазами / В. С. Постников, С. А. Аммер, А. Н. Качевский. // Внутреннее трение в металлах и неорганических материалах. – М. : Наука, 1982. – С. 143 – 147.

44.Постников В. С. Структурная нестабильность и демпфирующие свойства композиционого материала алюминий-бор / В. С. Постников, С. А. Аммер, А. К. Качевский // Физика и химия обработки материалов, 1981. – № 3. – С. 130 – 133.

45.Постников В.С., Аммер С.А., Качевский А.И., Лаврентьев В.И.

О демпфирующих свойствах композиционного материала Al-B // Физика и химия обработки материалов. – 1981. - № 2. – С. 155 – 159.

46.Зузяк П. М. Поведение внутреннего трения при физико-химическом взаимодействии компонентов волокнистых композиционных материалов на основе алюминия / П. М. Зузяк, А. В. Мозговой // Роль дефектов кристаллической решётки в процессах структурообразования сплавов. – Тула: ТулПи, 1989. – С. 94 – 99.

47.Постников В. С. Динамический модуль упругости волокнистого композиционного материала при твердофазном химическом взаимодействии компонент / В. С. Постников, М. Х. Шоршоров, А. И. Качевский, В. И. Лаврентьев // Журнал технической физики. – 1981. – Т.52. – № 10. – С. 2205 – 2207.

48.Максимович Г. Г. Изучение методом внутреннего трения релаксационных процессов и кинетики физико-химического взаимодействия в армированной системе алюминий-бор / Г. Г. Максимович, П. М. Зузяк, А. В. Филиповский, А. В. Мозговой, В. И. Михеев, В. В. Атаманюк // Внутреннее трение в исследовании металлов, сплавов и неметаллических материалов. – М.: Наука, 1989. – С. 257 – 259.

49.Максимович Г.Г., Зузяк П.М., Филиповский А.В., Мозговой А.В., Михеев В.И., Атаманюк В.В. Изучение методом внутреннего трения релаксационных процессов и кинетики физико-химического взаимодействия в армированной системе алюминий-бор // Внутреннее трение в исследовании металлов, сплавов и неметаллических материалов. - М.: Наука, 1989. - С. 257 - 259.

50.Даутова Л. И., Ланда Э. М. Особенности взаимодействия между волокнами и матрицей при получении композиционного материала алюминий-бор // Порошковая металлургия, 1985. - № 1. - С. 34-36.

51.Шоршоров М.Х., Колесниченко В.А., Юсупов Р.С. и др. Физико-химическое взаимодействие между волокном и матрицей при горячем прессовании композиционного материала Al-B // Порошковая металлургия, 1981. – № 8. – С. 63 – 66.

52.Мозговий О. В. Вплив термічних обробок на розсіяння механічної енергії у композиційних матеріалах на основі алюмінію / О. В. Мозговий // Сучасні проблеми фізики та математики. Збірник наукових праць. Вип.8. – Вінниця. ДОВ Вінниця, 2003. – С. 228 – 233.

53.Зузяк П. М. Субструктурне зміцнення матриці волокнистих композиційних матеріалів / П. М. Зузяк, О. В. Мозговий. // Вісник Вінницького технічного університету, 2002. – №2. – С.84 – 89.

54.Мозговий О.В. Метод внутрішнього тертя при дослідженні ВКМ алюміній-бор і алюміній-сталь / О. В. Мозговий, О. В. Герасимова, Я. В. Коломієць, Ю. О. Присяжнюк // Актуальні проблеми математики, інформатики, фізики і технологій : зб. наук. пр. / С. В. Подолянчук (голова) [та ін.] : Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського. – Вінниця : ФОП Тарнашинський О. В., 2018. – Вип. 15. – С. 86 – 89.

55.Вишняков Л.Р. – В кн. Сб-к научных трудов «Исследование в области композиционных материалов». Ин-т проблем материаловедения НАН Украины, Киев, 1995. – С.103 – 112.

ЧАСТИНА 2. АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ДИДАКТИКИ ФІЗИКИ

РОЗДІЛ 5. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ПОБУДОВИ МЕТОДИЧНОЇ СИСТЕМИ НАВЧАННЯ ЗАГАЛЬНОЇ ФІЗИКИ НА ОСНОВІ ПРОПЕДЕВТИЧНОГО ПІДХОДУ

Заболотний В.Ф.,
доктор педагогічних наук, професор,
Мисліцька Н.А.
доктор педагогічних наук, доцент

5.1. Теоретико-методологічне обґрунтування розробки методичної системи навчання загальної фізики з використанням методичної пропедевтики

Глобальні зміни, що характеризують сучасний етап розвитку людства, соціально-економічні зміни, в Україні зокрема, обумовлюють потребу зміни цілей, задач, ціннісних орієнтацій у вітчизняній освітній системі. Серед домінуючих напрямків чітко проглядається вимога підготовки молодого покоління до життя в умовах значного потоку інформації, розвитку технологій та засобів навчання за рахунок змін ціннісно-мотиваційних установок особистості.

Вивчення та аналіз стану фахової підготовки випускників та студентів педагогічних університетів показав, що переважна більшість опитуваних не задоволені рівнем підготовки з фізики у контексті завдань і проблем сучасної школи, знаннями і володінням інноваційними технологіями навчання фізики учнів.

Зазначимо окремі проблеми (протиріччя) системи формування фізичних знань студентів педагогічних університетів, майбутніх учителів фізики, зокрема:

- між пониженням рівня підготовки з фізики випускників шкіл і зростаючим обсягом фізичних знань, які необхідно відображати під час вивчення загальної фізики, методики її навчання на заняттях у закладах вищої освіти;
- між дидактичними можливостями наявних інноваційних технологій та можливістю і рівнем їх практичного використання у навчально-виховному процесі з фізики у вищій педагогічній школі;
- між знаннєвою підготовкою майбутнього учителя фізики з загальної, теоретичної фізики, його методичною грамотністю і скороченням годин на їх вивчення в активному режимі та перенесення левової долі навчального матеріалу на самостійне вивчення, для якого практично не передбачений час у навантаженні викладача з метою

проведення контролю навчальних досягнень.

Розв'язання зазначених та інших протиріч має відбуватись у рамках вимог сучасної гуманістичної парадигми освіти, яка обумовлена швидкими темпами розвитку суспільства, переходу до інформаційного суспільства, демократизації його, розширення масштабів взаємодій і об'єктивних структурних змін у сфері педагогічної діяльності. Одним із таких перспективних напрямків вибраний компетентнісний підхід як критерій якісної підготовки спеціаліста. Сучасному етапу актуальною постала проблема використання поняття компетентність як якісної характеристики суб'єкта навчання, що призводить до необхідності внесення змін до цілей навчання, зокрема не тільки з глибиною та обсягом фахових знань, а й з їх дієвістю, адекватністю застосування і активним використанням під час навчання фізики учнів закладів середньої освіти.

Як наслідок, визначається задача модернізації вивчення курсу загальної фізики та методики навчання фізики у педагогічних закладах освіти, яка передбачає зміну принципів конструювання змісту, науково-методичних підходів до організації вивчення й засвоєння цих навчальних дисциплін та відповідну навчально-пізнавальну діяльність студентів під час аудиторних занять і самостійної роботи.

Відомо, що на сьогодні практика навчання студентів та учнів базується здебільшого на інформаційно-репродуктивному підході, який вимагає засвоєння студентами певного обсягу знань. Лекційно-практично-семінарська система навчання залишається домінуючою в навчальних планах закладів вищої освіти, превуалюють вербальні методи навчання, надмірне управлінське адміністрування, відсутня або мало розвинена система незалежної педагогічної діагностики навчальних досягнень тощо.

Віддаючи належну оцінку традиційній системі навчання, яка носить системний характер, де впорядковано і в логічній послідовності викладається навчальний матеріал (від механіки до квантової фізики), враховано різні типи і види занять та оптимальні затрати ресурсів під час групового, курсового навчання, пропонуємо на її основі інтеграцію та модернізацію традиційного навчання з інноваційними технологіями шляхом реалізації інформаційного та діяльнісного підходів.

Модернізацію навчання студентів загальної фізики у педвузі доцільно реалізовувати на основі концепції наскрізного формування методичної компетентності фахівця з урахуванням методичної пропедевтики, яка базується на діяльнісному, особистісно-зорієнтованому, стильовому та інформаційному підходах.

Теоретична модель методичної системи особистісно-орієнтованого, діяльнісного, стильового та інформатичного навчання майбутнього учителя фізики містить модель методичної системи вивчення загальної фізики, яка проектується на основі інтеграції традиційного навчання й інноваційних технологій та відображає єдність цільового, змістового, процесуального та контрольно-коригувального компонентів (рис. 1).

З позицій компетентнісного підходу у якості цілей навчання фізики можна виділити три групи компетенцій: надпредметні, предметні й методичні, забезпечення і формування яких передбачено у процесуальному компоненті теоретичної моделі вивчення курсу загальної фізики. Відповідно до цього ц*ільова підсистема* включає основні цілі навчання студентів загальної фізики: набуття фахових і наддисциплінарних знань (світоглядних, методологічних); фахових (виконання експериментальних і теоретичних досліджень, розв'язування фізичних задач) і загальнонавчальних (інформаційних, комунікативних, організаційних) умінь, а також набуття здатності застосовувати їх у процесі розв'язування різних завдань і проблем, які виникають під час навчання і в подальшій методичній діяльності, тобто набуття методичних і загальних компетенцій.

Відповідно до мети навчання *змістова підсистема* включає змістовий компонент, в який включені фахові знання (знання з загального курсу фізики) і наддисциплінарні знання. У дослідженні зміст трактується як система фундаментальних знань, що забезпечують формування природничо-наукового світогляду студента, індивідуально-психологічні якості та ціннісні орієнтації, досвід пізнавальної та практичної діяльності, необхідні і достатні для подальшої методичної підготовки.

Зокрема, А.О. Вербицький розуміє зміст навчання як «педагогічну обґрунтовану, логічно впорядковану і зафіксовану в навчальній документації наукову інформацію про навчальний матеріал, який необхідно вивчити, що і визначає зміст діяльності викладача і пізнавальної діяльності студентів» [2, с. 24].

Зміст навчання, як правило визначається, виходячи із змісту і складності завдань (навчальних, пізнавальних і практичних), які передбачається виконувати індивіду, пройшовши курс навчання. В нашому дослідженні проектування змісту навчання здійснюється на рівні навчальної дисципліни загальної фізики. Відбір змісту з загальної фізики відбувається у двох напрямках – як у науковому напрямку, так і в напрямку майбутньої професійної діяльності і структурується відповідно до логіки розгортання навчальної

дисципліни як предмета навчальної діяльності. Така побудова дає змогу розв'язати проблему фундаменталізації і професійної підготовки студента.

Ми дотримуємось поглядів С.М. Маркової щодо передумов проектування змісту навчання [10, с. 58]:

- зміст навчальної дисципліни може бути засвоєний лише в процесі активної діяльності студента;
- зміст освіти визначає і її процесуальний блок;
- основними детермінуючими факторами, які впливають на зміст освіти, є структура об'єкта, який підлягає вивченню і структура професійної діяльності;
- зміст навчальної дисципліни повинен забезпечувати формування особистісних якостей спеціаліста, враховуючи професійно значущі якості особистості.

Відбір і структурування навчальних елементів загальної фізики відбувається на основі принципів і критеріїв відбору змісту. Серед дидактичних принципів, які пропонуються педагогами, ми виокремили наступні: дидактичні - науковості, доступності, наочності, систематичності і послідовності, системності, міждисциплінарних зв'язків, зв'язку теорії з практикою; політехнізму і професійного спрямування, індивідуалізації і диференціації, мотивації і позитивного відношення до навчання, екологічної етики тощо. До частинно-методичних принципів конструювання змісту курсу фізики відносимо принципи лінійної побудови курсу, генералізації і циклічності.

У дослідженні враховуємо критерії відбору змісту, запропоновані Д.В.Чернілевським, а саме: [28, с. 116].

- цілісності основних напрямків сучасної науки, виробництва і галузі, тобто узагальненості і систематизованості змісту;
- єдності і диференціації емпіричного та теоретичного видів змісту, наукового і практичного значення його складових частин, що забезпечують визначення основних, найбільш суттєвих компонентів цілей навчання;
- повноти змісту в межах часу, який відведений на вивчення даної дисципліни;
- наступності змісту із врахуванням засвоєння раніше отриманої інформації;
- схематизації і моделювання змісту;
- відповідності змісту дисципліни можливостям навчально-матеріальної бази ЗВО із врахуванням перспектив її розвитку.

Відібраний зміст фіксується в навчальній програмі – нормативному

документі, який втілює в собі стратегію і тактику розв'язання освітніх завдань і пов'язує воєдино змістову і процесуальну сторони навчання.

Процесуальний компонент включає форми навчання, методи та засоби навчання, науково-методичне забезпечення. Використовуємо традиційні форми навчання: колективні (лекції, практичні та семінарські заняття), групові (лабораторні заняття), індивідуальні. Вибір методів навчання визначається: закономірностями і принципами навчання; цілями і завданнями навчання; змістом і методами даної науки взагалі та даної дисципліни зокрема; навчальними можливостями студентів (фізіологічними, рівнем підготовки, особливостями групи взагалі); можливостями самих викладачів: їх педагогічним досвідом, здатностями у використанні традиційних і сучасних засобів, технологій; уміннями вибирати оптимальні варіанти їх поєднання, особистісними якостями.

В межах нашого дослідження під час вивчення загального курсу фізики використовуємо як репродуктивні (пояснювально-ілюстративні, репродуктивні) методи, при яких студент засвоює знання і відтворює відомі йому способи діяльності, так і продуктивні (проблемний виклад, евристичні, дослідницькі), коли студент здобуває суб'єктивно нові знання в результаті самостійної або частково самостійної творчої діяльності.

Для майбутньої професійної діяльності методично важливо зосереджувати увагу на використанні емпіричних і теоретичних методів. Складовими елементами цих методів є логічні прийоми. Зокрема, для емпіричних методів характерні такі прийоми як спостереження, експеримент, висунення гіпотез, абстрагування від несуттєвих сторін явища або процесу, аналіз і порівняння отриманих даних, узагальнення і систематизація дослідних фактів. Для теоретичних методів навчання характерні такі прийоми як ідеалізація, моделювання, проведення мисленого експерименту, теоретичний аналіз, висунення гіпотез, аналогія, дедукція тощо. Один із шляхів реалізації методичної пропедевтики і полягає у зосередженні уваги викладачем на використанні цих методів під час організації різних форм навчання студентів.

Реалізація педагогічного експерименту передбачає використання як традиційних, так і інноваційних засобів, а також їх поєднання.

Серед інноваційних засобів, використання яких буде описано в наступних пунктах, відносимо мультимедійний супровід до лекцій, мультимедійний інтерактивний комплекс, інтернет-сервіси, цифрові лабораторії, віртуальні середовища. До інноваційних технологій, які

ми використовуємо, відносимо хмаро-орієнтовані технології.

До процесуальної компоненти відносимо і прийоми організації самостійної роботи студентів: традиційні й інноваційні. Серед традиційних можна виокремити роботу з підручниками, посібниками та періодичними виданнями; розв'язування фізичних задач, самопідготовку до лабораторних занять. Нами запропоновані інноваційні прийоми, такі як дослідження симуляцій на інтернет-порталах, виконання віртуальних лабораторних робіт, робота з цифровими лабораторіями, самопідготовка до виконання лабораторних робіт з використанням авторських підходів.

Необхідними компонентами навчально-методичного забезпечення у запропонованій системі навчання загальної фізики у педвузах є:

- навчальний план (включено курс узагальнених питань ШКФ), освітні програми та програми навчальних дисциплін: узагальнені питання ШКФ, експериментальна фізика, загальна фізика;
- навчально-методичні завдання для проектно-дослідницької діяльності студента та організації самостійної роботи (опис величин, законів, явищ тощо)
- комплекс ЕОРів – тексти лекцій, лабораторних робіт, комп'ютерних тестів (банк даних);
- навчально-методичні посібники для викладача та студента (інструментарій викладача та учителя фізики).

Розроблена методична система вивчення загального курсу фізики на основі інтеграції вище названих підходів передбачає методику організації і управління освітнім процесом, зокрема:

- методику забезпечення викладання курсу загальної фізики з використанням мультимедійних презентацій та обов'язкової опори на конструкти формування фізичних понять – законів, фізичних величин тощо як етапу пропедевтичної підготовки до вивчення методичних дисциплін;
- внесення до навчальних планів, розробку навчальних програм та вивчення на рівні узагальнень фізичних знань про фізичні величини шкільного курсу фізики – як пропедевтичного етапу підготовки до сприйняття загального курсу фізики;
- методику організації і здійснення самостійної роботи як креативної дієвості по застосуванню знань у рамках фахової підготовки до педагогічної діяльності майбутнього учителя фізики на базі ЕОРів, мережевих, хмарних технологій, проектно-дослідницьких технологій;
- багаторівневу методику оцінки навчальних досягнень студента

під час лекційних занять, практичних, лабораторних робіт на базі інтеграції традиційних і інноваційних форм контролю та діагностики.

Одна із цілей (задач) особистісно-орієнтованого навчання є розвиток індивідуальних здібностей і якостей особистості. Очевидним є факт, що такий розвиток особистості не може і не має бути заданий цілями (метою) якісно універсальними і єдиними для всіх студентів (учнів). З чого виплаває думка про те, що не тільки процес набуття знань, а й розвиток особистості має здійснюватись з опорою на суб'єктний досвід (досвід суб'єкта) та його потенційні можливості щодо реалізації власних задатків. Під час такої організації навчального процесу, коли траєкторія руху студента спрямована від особистості у напрямку досягнення цілей, мають бути дороговкази (конструкти), які пришвидшать рух до мети, однак при цьому слугуватимуть тими щаблями (етапами), які слід долати під час особистісного руху вздовж власної траєкторії.

У авторській моделі такими стрижневими орієнтирами на різних етапах (формування знань, розвиток умінь, застосування знань і умінь для реалізації практичних фахових завдань) пропонуються конструкти, глибина, обсяг і зміст використання яких на різних етапах якісно різниться.

Так, на етапі узагальнення знань – етапі підготовки студента до сприйняття курсу загальної фізики, завдання якого сформувати комплексні знання та розуміння основ фізики, конструкти використовуються як плани (вимога, яку слід виконувати) для підготовки (формування) відповідей на поставлене питання про явище, закон, фізичну величину, фізичний прилад тощо.

На цьому етапі домінуючою є знанієва компонента, а діяльність виступає як дія за вказівкою, що є передумовою набуття досвіду суб'єктом навчання (формулювання законів, означення фізичних величин, опис фізичного явищп з різних сторін).

Діагностика і стимулювання розвитку на цьому етапі здійснюється викладачем (учителем) на основі постійного контролю навчальних досягнень студентів (тест-експрес під час занять, фізичні диктанти, завдання на розпізнавання та пояснення фізичних явищ тощо).

На цьому етапі варто розкрити когнітивні стилі студентів не у створенні однакових умов руху, а за рахунок досягнення запланованих результатів навчання – уміння «читати» закони, провести експериментальне дослідження (на експериментальній фізиці), власне за рахунок створення різноманітних змістових методів, засобів навчання, у яких студент вибирає і засвоює навчальний матеріал з

урахуванням власного психологічного стилю.

Під час подальшого вивчення загальної фізики (упродовж 5-ти семестрів) такий індивідуальний «портрет» студента, його індивідуальність, надасть можливість викладачеві організувати навчальний процес так, щоби студент зумів вибрати (за допомогою викладача) тип, вид, форму програмного навчального матеріалу, щоби в межах установлених у ЗВО способів навчальної роботи (лекції, практичні, лабораторні, індивідуальні) досягати успішного цілепокладання – розкриття здібностей з урахуванням когнітивних стилів мислення.

Умісно опираємось на думку відомого психолога Л.С. Виготського, який на прикладі оволодіння письмом і грамотою, довів ведучу роль навчання у розумовому розвитку учня: «Обучение только тогда хорошо, когда оно идёт впереди развития» [4].

Наші дослідження підтверджують таку думку – оволодівши навчальним матеріалом (основа фізики), студенти-першокурсники набувають можливості усвідомленого висловлювання стосовно формулювань, читання формул означень фізичних величин, математичних виразів фізичних законів, тобто розпочинають перехід від заучування (запам'ятовування) до розуміння і усвідомлення (знання).

На етапі вивчення курсу загальної фізики домінують знаннєва компонента і функція розвитку одночасно. Саме знаннєва складова стає джерелом появи нового. Разом цей тривалий етап, продовжуючи і поглиблюючи знання, формує необхідні уміння і навички, урізноманітнює напрямки розвитку особистості (вибір технологій, креативність, діяльність), дає старт щодо власної діяльності із застосування набутих знань та пошуку (вибору) шляхів отримання нових знань та умінь реалізації їх для розв'язання конкретних знанієвих завдань.

Опора на конструкти забезпечує реалізацію перших кроків у набутті методичних умінь пояснювати навчальний матеріал колегам-студентам, формулювати відповіді під час контрольно-діагностичних заходів, застосовувати їх у здійсненні навчально-наукової діяльності. «Коли навчання йде попереду розвитку, спонукає до життя цілий ряд функцій, які знаходяться в стадії дозрівання» [21].

Третьому етапу властиве співробітництво «суб'єкт – суб'єкт» та власне використання конструктів у вибудові уроків з фізики для учнів закладів середньої освіти.

Конструкти у діяльності:

- розвивають креативність у конструюванні і виборі засобів навчання;

- реалізують прийоми роботи у малих групах з опорою на когнітивні стилі – теоретики, експериментатори;

- сприяють вивченню психолого-педагогічних характеристик учнів класу з позиції когнітивних стилів і реалізації діяльності по забезпеченню розвитку особистості учня за власною траєкторією.

Важливим, що заслуговує серйозної уваги викладача методики навчання фізики, має стати «м'який» перехід студента як успішної особистості у навчанні (те, що він уміє робити сам, чого уміє досягати) до студента – майбутнього учителя, особистості, яка уміє діяти у співпраці (учитель – учень, учитель – клас, студент – мала група). Часто такий перехід є психологічним бар'єром, чуттєвим симптомом успішної розумової діяльності особистості, яку слід долати власною практичною дією, яка не обов'язково пов'язана з навчальною діяльністю – наукова група, груповий проект тощо.

Пасивна практика у школі – не тільки пасивне спостереження, а й активна участь у роботі з учнями за завданням учителя. Запозичення, спостережливість за діями, кроками – креативна переробка – шляхи пришвидшення переходу та подолання бар'єру.

Сучасному студенту, як особистості, властиві життєйські (побутові) поняття, які формуються самодовільно, поза цілеспрямованим навчанням. Випадковість (спонтанність) та схоластичність їх утворення підтверджують те, що такі поняття можуть бути неадекватними, неузагальненими, тобто такими, які не приведені у єдину систему.

Сформовані на основі конструктів поняття є науковими. Вони адекватні, усвідомлені в силу наявності умінь виділяти (вказувати) суттєві ознаки і укладаються у родово-видовому співвідношенні у систему. Під час такого дійства (навчання) відбувається розумовий розвиток особистості, що позначається на її уміннях встановлення не лише емпіричних зв'язків між поняттями, а й співставленні понять з об'єктами природи, відшукання прийомів і способів дослідження фізичних об'єктів, їх теоретичне і експериментальне обґрунтування.

Запропонована модель зреалізовує системність у набутті методичних знань. На початковому етапі ознайомлення здійснюється поступово не від частинного до частинного, а з використанням інваріанта (конструкта) – засобу, який відповідає за формування наукових понять в системі. Оволодіння певним змістом забезпечує не тільки збільшення обсягу знань, а й призводить до перебудови

структури свідомості студента – інтелектуалізує його психічні процеси. Модель використовує елементи пропедевтики, базуючись на думці дослідників, згідно якої «кожному віку властивий особливий тип відношень між навчанням і розвитком» [21, с. 110].

Саме тому модель в своїй основі передбачає повідомлення студентам узагальнених знань основ шкільного курсу фізики, а їх засвоєння неодмінно буде кроком у розвитку мислення особистості. Водночас передбачається, що навчання у початковій своїй фазі розпочнеться у традиційній формі, щоб випускник школи, а в подальшому студент ЗВО поступово звик до того, що навчання у закладі вищої освіти достатньо кероване викладачем, а контроль ведеться за кінцевим результатом. У науковців-психологів ця система, елементи якої використані у моделі, дістала назву «поетапного формування розумових дій і понять» [5].

Суттєвою ознакою, що відрізняє навчання згідно моделі, від суто традиційного є застосування активних методів на основі сучасних технологій навчання, завдяки яким пришвидшується процес усвідомлення понять, зокрема, за рахунок системного впливу на відеорецептори після перегляду статичних і динамічних комп'ютерних моделей у поєднанні з реальним (за можливості) натурним експериментом.

Дії студента за конструктами зменшують роль проб і помилок, особливо на початковій стадії узагальнення знань, і пришвидшують перехід у дослідженні від первинного об'єкта до нового наступного родовидового.

Активна фаза підготовки фахівця – майбутнього учителя фізики власне реалізовується на умовно розділених III і IV етапах моделі формування методичної компетентності на основі набутих знань з загальної фізики (прикладний інтерес до знань). Домінуючою є виклик (спонука, самоорганізація) пізнавальної діяльності як такої та власного пізнавального інтересу зокрема. Ці етапи забезпечують оволодіння методами дослідження, методами передачі знань, що у свою чергу викликає потребу у набутті нових знань і умінь.

Методика навчання фізики та технології навчання фізики як навчальні дисципліни складають базу для застосування і шліфування набутих знань з фізики у рамках реалізації конструювання фрагментів уроку пояснення нового матеріалу, організації і проведенні лабораторних робіт та уроків розв'язування фізичних задач. Це етап набуття власного досвіду умінь аналізувати і спостерігати за методичними діями колег-студентів під час практичних та

семінарських занять, критично сприймати та аналізувати навчальний матеріал, висвітлений у різних джерелах інформації, етап навчання вибіркового, аналітичного відбору навчальної інформації з мережі INTERNET.

Це етап засвоєння майбутнім учителем фахової діяльності з метою подолання **проблем технологій:**

- вибір роботи у малих групах – працюють окремі учні (одні і ті ж), для решти урок проведений з мінімальною користю;
- розв'язування якісних фізичних задач – не вистачає часу на виконання питань предмету;

проблем змісту:

- чого вчити на лабораторній роботі – складати схему чи виконувати завдання?
- учень погано написав самостійну роботу, а починається нова тема – що роботи?

проблем результатів:

- учні не вміють формулювати закони;
- не пам'ятають формул;
- з великими труднощами розв'язують тести.

Нами виділено умови реалізації даної моделі методичної системи вивчення загального курсу фізики:

- врахування викладачами стилів кодування навчальної інформації студентів під час проектування лекцій, організації лабораторного практикуму та самостійної роботи студентів;
- використання методичного інструментарію викладачами загального курсу фізики;
- впровадження ІКТ, хмаро-орієнтованих технологій та хмарних сервісів в методичну систему навчання фізики.

Розроблена модель методичної системи є відкритою і динамічною, характеризується цілісністю і внутрішньою упорядкованістю, оскільки представлена взаємопов'язаними компонентами, які мають відповідне наповнення і спрямовані на кінцевий результат – набуття знань, умінь і здатностей розв'язувати спеціалізовані задачі та практичні завдання з загального курсу фізики, набуття структурованих знань, умінь розв'язувати професійні завдання згідно конструктів (рис. 1).

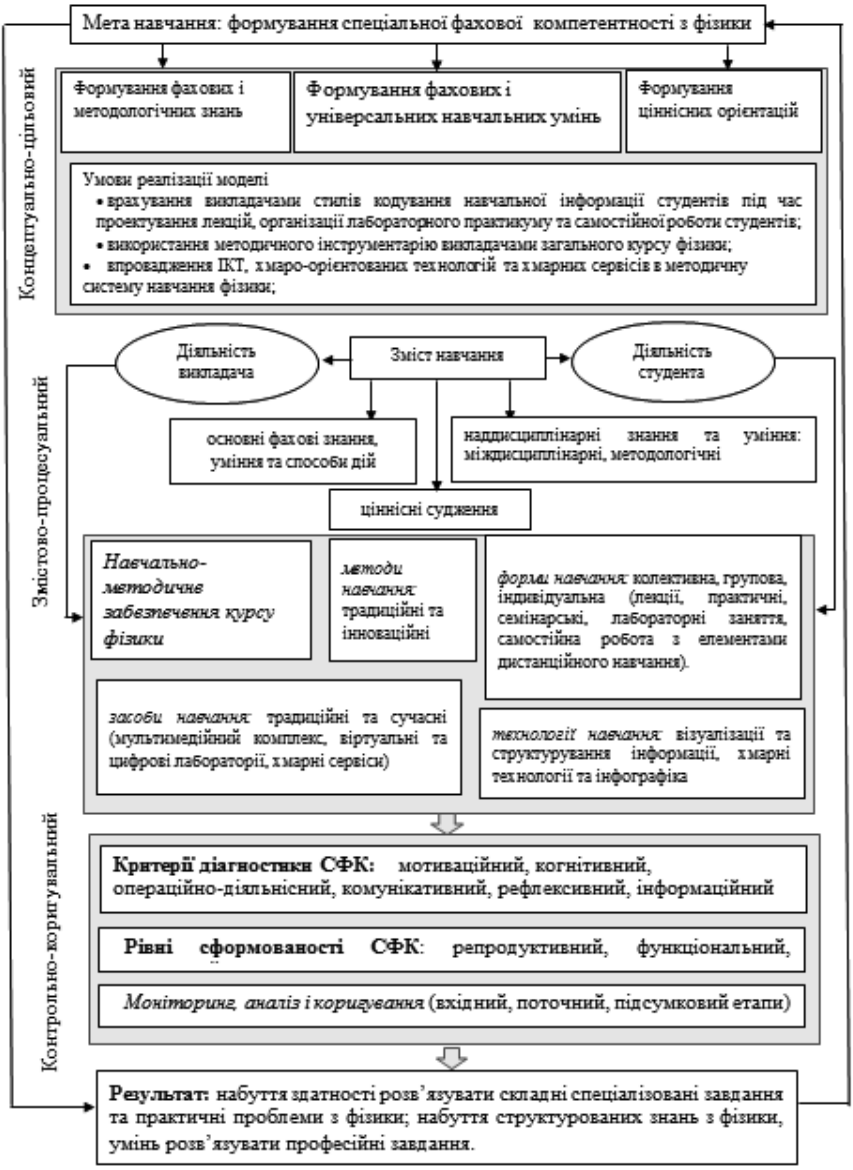


Рис.1. Модель вивчення загальної фізики

5.2. Шляхи модернізації лекційної форми занять з загальної фізики

Упродовж всієї історії становлення вищої школи – з моменту народження і до наших днів – як провідну організаційну форму навчальних знань вважають лекцію. З неї розпочинається перше знайомство студента із навчальною дисципліною. Саме під час лекцій закладаються основи наукових знань.

В умовах компетентнісного підходу основна форма теоретичного навчання у закладах вищої освіти – лекція, як систематичний послідовний виклад навчального матеріалу, набуває особливих відтінків і наголосів.

За структурою лекції можуть відрізнятися одна від одної – все залежить від змісту і характеру навчального матеріалу, однак, існує загальний каркас – план, якого варто чітко дотримуватись.

Лекція, як правило, розпочинається із короткого есе, нагадування змісту попередньої лекції з метою того, щоб пов'язати його з новим навчальним матеріалом. Завершується лекція підведенням підсумків або ж виголошенням висновків.

Спробуємо у рамках, визначених у дослідженні підходів, охарактеризувати функції, завдання, вимоги до такого виду діяльності з позицій суб'єкт-суб'єктної взаємодії – викладач-лектор – слухач-студент.

Розпочнемо з огляду вимог до лекції, серед яких відмітимо наступні:

- науковість та інформативність, сучасний науковий рівень;
- доказовість і аргументованість навчальної інформації, наявність яскравих, ефектних і переконливих фактів, явищ, обґрунтувань, експериментів, наукових доведень і тверджень [19].
- чітка структура, логіка розкриття і послідовність формування фізичних понять, доведення та формування законів, принципів тощо;
- емоційність, артистизм, риторичність викладача під час викладу навчального матеріалу;
- методичне обґрунтування вибору послідовності вивчення, потреби знань студентом навчального матеріалу, наголошення головної думки і важливих положень, аналіз наслідків теорії та застосування законів, принципів, спостереження фізичних явищ, повторення їх у різних інтерпретаціях;
- активізація мислення слухачів, постановка запитань для розділів та міркувань;
- викладання доступною і якісною науковою мовою, дотримання

фізичної термінології, обов'язковість трактування, пояснення, тлумачення нових або раніше невідомих термінів тощо.

В умовах переходу до суб'єкт-суб'єктної діяльності під час лекції є можливості розв'язання окремої дидактичної задачі – провести початкове знайомство, організувати первинне сприйняття навчального матеріалу, сформувати основи з метою подальшого самостійного свідомого опрацювання – і як результат – оволодіння знаннями.

У межах окремо взятої навчальної дисципліни, лекції можна розділити на такі види:

а) вступна – проводиться з метою ознайомлення студентів з цілями і призначенням курсу (розділу), його роллю і місцем у системі навчальних дисциплін;

б) інформаційна – власне лекції, під час яких відбувається висвітлення контенту навчального матеріалу курсу (розділу);

в) оглядово-повторювальна – як правило, читається на завершення вивчення розділу. У ній відтворюються всі основні поняття, теоретичні положення, що складають науково-понятійну базу даного розділу за винятком деталізацій та ілюстративно-пояснювального матеріалу;

г) завершальна – це, власне, лекція-узагальнення, що представляє собою систематизацію знань на вищому, ніж просто короткий огляд вивченого матеріалу, рівні з обов'язковими поясненнями і трактуваннями найбільш складних питань, які, на основі досвіду викладання, викликають труднощі у студентів під час залікової або екзаменаційної сесії.

Потреба в оглядово-повторювальних лекціях суттєво зросла у зв'язку із виведенням для самостійного вивчення досить значного обсягу навчального матеріалу і відсутністю умінь (досвіду) у студента поєднання інформації, отриманої самостійно і під час аудиторних занять.

Зазначимо деякі суперечності лекційної форми організації навчального процесу, зокрема:

- між контентом лекції, розрахованого на деякого «середнього» студента за рівнем підготовки і змістовим наповненням, темпом читання, які не залежать від якості сприйняття, тим паче розуміння і засвоєння навчального матеріалу;

- між потребою ущільнення інформації, яке змушений здійснювати лектор у зв'язку із скороченням лекційних годин і обсягом навчального матеріалу, який варто повідомити слухачам в силу його важливості, складності з метою формування цілісної картини розділу

(курсу) навчальної дисципліни, встановлення між- та метапредметних зв'язків;

- пасивністю студента, який під час лекцій механічно записує окремі пояснення лектора, перекреслює схему, рисунок з дошки чи екрана, і потребою активної участі у сприйнятті, запам'ятовуванні, усвідомленні глибини й якості розуміння сутності почутої інформації;

- між потребою післялекційного спілкування, консультування, контролю організації та здійснення самостійної роботи над навчальним матеріалом і відсутністю у академічному навантаженні викладача вищого навчального закладу таких видів суб'єкт-суб'єктної діяльності. Як свідчить аналіз навчальних планів педагогічних навчальних закладів, лектор позбавлений можливості організувати післялекційну, практичну роботу студентів у позаурочний час практично на 100%, адже такі види діяльності не передбачені у навчальному навантаженні викладача і вилучені з навчальних планів для студента;

- між потребою систематичного використання лекційних демонстрацій і низьким забезпеченням (або відсутністю) належного (сучасного) обладнання у кабінетах лекційних демонстрацій (за винятком – відеофрагментів, відеозапису демонстраційного експерименту, мультимедійних моделей);

- між достатньо поширеною одноманітною формою викладання з боку багатьох викладачів і наявністю (завдяки сучасним технологіям) інтерактивних форм навчання, які слід освоїти лекторам.

У проведеному дослідженні зроблена спроба віднайти відповіді на подолання таких протиріч. Зупинимось на окремих аспектах, які з нашого погляду вкажуть на шляхи підвищення ефективності такого виду діяльності, спрямованого на досягнення основної мети – підготовки висококваліфікованого фахівця – учителя фізики.

Під час практики лекційної діяльності часто виникає запитання про потребу (не потребу) конспектування змісту лекції. Погляди викладачів і студентів (за нашим опитуванням) розділилися:

а) серед студентів:

- потрібно систематично вести записи за лектором вважають – 65%
- слухати лекцію, вести окремі записи – 15%
- уважно слухати лекцію і не проводити записів – 12%
- бути присутнім на лекції і вести окремі записи – 8%

б) ставлення викладачів:

- 58% респондентів займають тверду позицію, згідно якої всі студенти мають вести конспект лекцій;

- 31% вважає це справою особисто студента;

- 11% викладачів байдуже, важливо, щоб студент був готовий до заліку чи екзамену, не залежно від наявності конспекту.

З позицій ефективності навчального процесу у вищій школі всі студенти мають вести конспект лекцій викладача, адже у короткотривалій пам’яті особистості залишається лише 10% почутого.

У зв’язку з цим, студента слід навчати умінню працювати під час лекції. Хоча психологи встановили, що детальний запис на лекції перешкоджає глибокому осмисленню навчального матеріалу, слід зазначити, що під час конспектування студент слухає, записує, у певній мірі аналізує, співставляє, у результаті чого залучає слухову, зорову, моторну та оперативну пам'ять. Наявний конспект сприяє організації післялекційного опрацювання навчального матеріалу, слугуючи вказівником руху студента за власною траєкторією навчання. Така форма діяльності сприяє як міцності знань, так і впливає на формування професійної культури майбутнього фахівця.

Формування у студентів умінь логічного вичитування навчального матеріалу, виявляти вихідні умови, визначати головні аргументи, факти, відбирати методи і засоби для доведення, спостереження тощо, ми спробували організувати під час лекцій для студентів-першокурсників з дисциплін «Узагальнені питання шкільного курсу фізики» та «Експериментальна фізика». Анкетування студентів упродовж п’яти років дали інформацію про корисність для них навчання правильно слухати, конспектувати лекцію. Понад 70% старшокурсників зазначили, що формування такого підходу суб’єкта і об’єкта діяльності спонукає студента до ведення мисленого діалогу з лектором, повторення окремих положень, фактів з відомими раніше, переконання у якості аргументації тощо.

В цьому сенсі важливо усвідомити з позицій психолого-педагогічних вимог до лекції – лекція це монолог чи діалог. З психологічної точки зору – це складний діалог. Це спонукає викладача до продумування прийомів, які посилюють зв'язок між лектором і слухачами, серед яких звернення до аудиторії як цілого, так і фронтальних і індивідуальних завдань, наприклад, тестового типу, або повідомлень-презентацій.

Таким вимогам відповідає проблемно сконструйована вузівська лекція, елементи якої розглянемо нижче. Вагомою в системі організації роботи під час лекційних і позалекційних занять є думка респондентів стосовно необхідності (важливості) конспектування навчального матеріалу в умовах наявності копіювальної та

комп'ютерної техніки. 80% з опитуваних визнали, що переведення конспекту у низку копій, призводять до формальних ознак опрацювання навчального матеріалу.

Структура проблемної лекції передбачає створення проблемної ситуації через постановку навчальних завдань, їх конкретизація, висунення гіпотез, підбір фактів, висловлення аргументів для їх розв'язання, мислений експеримент, запитання з метою зворотнього зв'язку, які корегують розумову діяльність студентів. Переважно монологічна форма подання навчального матеріалу так організованого заняття за своєю внутрішньою структурою нагадує основні етапи наукового пошуку, що має важливе значення для визначення характеру діяльності студента, зокрема збудити інтерес до теми, яка вивчається, залучити до креативності і пошуку творчої думки.

Сьогодення у світі характеризується значними змінами. Стосовно освітньої галузі – це глобалізація освітнього простору, створення нових освітніх технологій на основі, зокрема у фізиці, за рахунок використання сучасного обладнання, яке базується на цифровій базі; це масовість освіти, яка швидше відіграє гальмівну роль, ніж рушійну роль. Так як кількість місць у ЗВО України суттєво перевищує число випускників закладів середньої освіти, то це означає, що бути студентом закладу вищої освіти може особа з посереднім або й низьким рівнем знань. Подальше перебування на студентській лаві не є стимулом до щоденної кропіткої праці, адже збереження контингенту адміністрація ЗВО ретельно контролює. Тому значна частина студентів, про що засвідчив констатувальний експеримент (близько 39,8 %), є мало активною і слабко зацікавленою до систематичної роботи упродовж семестру, відкладаючи розв'язання підсумкового контролю на час завершення семестру.

Особливою є ситуація стосовно педагогічних закладів вищої освіти. Як показує аналіз, до педагогічних ЗВО у переважній більшості (≈ 63%) зараховані студенти на І курс мають за результатами ЗНО рейтинговий бал близький (у середньому) до 150 балів (рис.2).

Середній рівень знань з фізики, зокрема випускників закладів середньої освіти, нижчий того рівня, який був 7 – 10 років тому. Хоча окремі абітурієнти – студенти І курсів мають успіхи достойного рівня, у загальній масі студентів вони займають крайнє праве положення на кривій розподілу студентів за результатами навчальних досягнень.

Враховуючи, що поповнення у педвузи в основному відбувається за рахунок саме таких випускників – із середнім рівнем навчальних досягнень і низькою мотивацією, важливо щоб з перших днів лектор

розпочав формування умінь до самостійного здобуття знань.

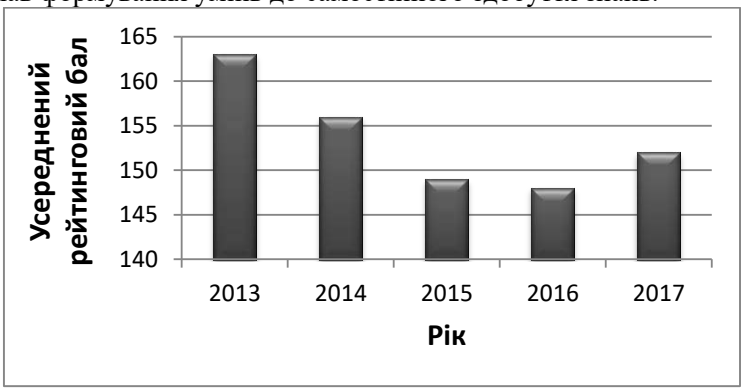


Рис.2.Усереднений рейтинговий бал вступників до педагогічних ЗВО

У запропонованій системі [18] це дістало назву «дій як я (лектор)». Філософія «мене мають навчити» є глибоким і хибним твердженням, як і думка про те, що навчання – це легкий, швидко доступний (особливо завдяки Internet) процес. Помилкова позиція в тому, що університет є закладом, де мають навчити, властива молодим людям, і лише окремі студенти-першокурсники усвідомлюють, що заклад освіти – це місце, у якому створені оптимальні умови для навчання, а навчатись людина має сама.

Для цього їй слід мати бажання і сформовану звичку до самоосвіти. З цих позицій викладач, наприклад, під час вивчення курсу «Узагальнені питання шкільного курсу фізики» (І курс) має розкрити сукупність основних питань, особливо тих, які є складними для самостійного вивчення і розуміння. Конструювання лекційного заняття має вибудовуватися, у запропонованій в дослідженні системі, на основі конструктів (подібно-узагальнених планів) вивчення фізичних явищ, законів, принципів, фізичних величин тощо [52]. Суттєвим для досягнення результатів навчання студентів є врахування власного і індивідуального (студентів) когнітивних стилів мислення слухачів, їх стартові-фактичні знання, наявність умінь і навичок. Уміла їх суперпозиція надає можливість правильного вибору і використання прийомів впливу на візуальні, аудіо-, тактильні тощо аналізатори та формування різноманітних способів дій з набутими знаннями. Введена із зазначених вище причин, навчальна дисципліна «Узагальнені питання шкільного курсу фізики» розглядається нами не лише як «вирівнювальний» курс. Організація занять за принципом

«дій як я» (на базі більш-менш відомого навчального матеріалу зі школи), розглядається як етап пропедевтичної підготовки студента на основі оптимальних знаннєвих компонентів до переходу «діємо разом (дій зі мною)», який покладено в основу конструювання лекційних занять із загального курсу фізики (2-й – 6-й семестри).

Варто зазначити, що фізика як навчальна дисципліна, є такою, яка розвиває структурне і раціональне мислення. У цьому вагомий вплив навчального лабораторного експерименту. Саме із цих позицій у навчальному плані студентів-фізиків І курсу передбачено вивчення дисципліни – експериментальна фізика. В нашій системі вона розглядається як підготовка до виконання практичних дій із застосування знань та пропедевтичний етап формування експериментальних умінь і навичок, що будуть глибоко використовуватись під час лабораторного практикуму із загального курсу фізики.

Вартує зазначити, що серед основних тенденцій модернізації вищої освіти прогнозується скорочення аудиторного навантаження для вивчення навчальних дисциплін для студентів бакалаврату із розрахунку на один предмет – 18 год. аудиторних і 12 год. самостійної роботи, для студентів магістратури – 10 год. аудиторних і 20 год. самостійної роботи. Це говорить про зміщення акцентів у навчальному процесі із научування студента змісту навчальної дисципліни до учіння, як систематичної самостійної діяльності студентів за керівництва і активного супроводу з боку викладача. Власне, передбачається створення такого освітнього простору, у якому перевага надається способам діяльності, що основані на саморозвитку і самовираженні особистості на основі проектування засобів і способів суб'єкт-суб'єктної взаємодії. З цього погляду, самостійну роботу слід розглядати як навчальну діяльність, складники якої – домінанта власне вивчення змісту і засвоєння обсягу навчальної дисципліни, науково-дослідна робота, викладацька, організаційно-методична. Таке розуміння вимагає модернізації організації і проведення самостійної роботи студентів, зокрема, у створенні умов для:

- здійснення діяльності учіння;
- забезпечення супроводу процесу викладання практичних завдань, завдань із розв'язуванням задач, виконанням лабораторних робіт;
- мотивації і стимулювання самоорганізації щодо підготовки і проведення самостійної роботи.

Серед питань організації самостійної роботи, які були внесені до опитувальних анкет під час педагогічного експерименту був блок, що

стосувався готовності викладача ЗВО до організації такого виду діяльності. Відповіді на них дають можливість констатувати, що під час підготовки до занять викладачі найчастіше використовують освітній стандарт, навчальну програму, навчальні посібники на паперових і електронних носіях, комп'ютерні моделі та схеми, інформацію з мережі Internet, власні розробки. Навіть поверховий аналіз свідчить про те, що у даних джерелах жодним чином не ведеться мова про організацію самостійної роботи студентів.

Як підкреслює А.В. Тряпіцин [27, с. 121]: «Спостерігається певна невідповідність між декларованими цілями, інформованістю про нові освітні технології і, власне, використаним методичним інструментарієм, необхідним для організації самостійної роботи з використанням сучасних технологій організації освітнього процесу».

В умовах реалізації компетентнісного підходу важливою є готовність викладача активізувати процес навчання студентів засобами педагогічних технологій, створити умови для реалізації активної суб'єктної позиції студента в освітньому процесі. В рамках практичної реалізації сказаного нами, сформований посібник з основ методичної діяльності викладача, у якому висвітлені питання конструювання і апробації методичних матеріалів, що забезпечують неперервне керівництво з організації якісного освітнього процесу з фізики у логіці сучасної парадигми [18].

Проведення лекцій у спосіб бі- або тріад передбачає, окрім зосередження уваги слухачів на занятті, ще й певний контроль засвоєння (розуміння) навчального матеріалу, озвученого під час лекції. Один із засобів – тестування, проводиться, як правило, з використанням сучасних технологій і засобів навчання [6]. Це важливий елемент лекційного заняття як цілісної одиниці і вимагає розуміння лектором того факту, що запитання (завдання) тесту не мають бути спрямовані на розвиток (підкріплення, посилення) синдрому співучасника. Усвідомлення того, що до завдань слід вносити не лише такі, що вимагають лише запам'ятовування, або угадування, вказує шлях педагогу на створення завдань, які вимагають міркувати, думати, застосовувати творчі навички, що потребує умінь набуття знань.

У смисловому змісті мова йде про мотивацію учіння. Термін «мотивація» походить від слова мотив – це те, що схиляє особу до діяльності. Психологи і дидакти пропонують різні шляхи мотивації. Серед них, у контексті нашого питання, є шлях впливу на мотиваційну сферу учня – організація діяльності під час лекції. Навчальну

діяльність будемо розглядати як спільну діяльність лектора і студентів, форму їх співпраці, у якій домінуючим має бути студент як суб'єкт діяльності. Передбачається, що у розумінні такої співпраці мають відбуватися зміни в особистості студента.

Структурні схеми діяльності на заняттях з фізики принципово відомі, наприклад, як послідовність елементів: зосередження уваги на навчальній ситуації – орієнтування студента у діяльність – постановка мети – виконання навчальних дій (рух до мети) – коригування навчальних дій (долання типових помилок) – оцінка (самооцінка) одержаного результату.

Завдання лектора (педагога) полягає в тому, щоб методично доцільно (наприклад, з урахуванням «паспорта» групи) забезпечити кожен із названих елементів структури. Іншими словами, лектор має чітко керувати мотиваційними станами студентів й уміло здійснювати перехід від одного стану до іншого, об'єднуючи їх у неперервний послідовний процес. Слід розуміти, що вказані у структурній схемі елементи можуть повторюватися під час заняття декілька разів; наприклад, зосередження уваги. У психології розрізняють довільну, опосередковану і постдовільну увагу.

На початку лекції викладач розв'язує завдання щодо зосередження, збудження уваги студентів, використовуючи прийоми: показ демонстрації реальної або комп'ютерної моделі, розгляд факту, явища, процесу з позицій невідомості у досвіді студента. Подібна ситуація може бути використана з метою відновлення уваги через певний інтервал часу, що пов'язано з потребою «перемикання» уваги як особливостей психічного стану особистості. Такі дії супроводжуються використанням системи прийомів, що базуються на виділенні об'єкта уваги – екран монітора чи проектора, на зовнішніх чинниках – інтенсивність звуку – комар, джміль, муха, з показом нових властивостей у відомому із повсякденного життя явищі.

Для підтримки опосередкованої уваги доцільно залучати студента до бесіди, створювати проблемні ситуації, ставити запитання, які активізують наявний життєвий досвід студента. Без сумніву, тривалу увагу студента забезпечують демонстрації з фізики. Сьогодні цей арсенал може бути доповнений відеозаписами фізичного експерименту, який з тих чи інших причин не може бути реалізований власне під час лекції. Важливим компонентом підтримки уваги є презентація навчального матеріалу у вигляді слайд-шоу. Смислове наповнення презентації передбачає показ демонстраційних комп'ютерних моделей, короткі текстові формулювання, графічні

залежності тощо. Такі прийоми є складниками управління лектором опосередкованої уваги студента [6]. Зауважимо, що під час організації опосередкованої уваги відбувається формування самоорганізації суб'єкту впливу на мінімальному рівні у зв'язку з тим, що зовнішні чинники створюють умови для тимчасової (ситуативної) зацікавленості і не завжди призводять до забезпечення механічного переходу її у внутрішні процеси.

Більш високий рівень – стимулювання самостійного визначення смислу набуття навичок діяльності, досягається шляхом залучення студентів до підготовки лекційних демонстрацій, розробки навчальних дидактичних засобів, написання тематичних есе, курсових і дипломних робіт та здійснення науково-дослідницької роботи.

Сутнісно методичне забезпечення мотиваційної складової процесу навчання фізики, з нашого погляду, заключається у постановці і розв'язанні педагогічних задач управління мотиваційними станами об'єкту впливу (студента). Це реалізується шляхом оптимізації вибору контенту навчального матеріалу, методів навчання та форм організації навчальної діяльності, вибору ефективних методичних прийомів і їх реалізація сучасними засобами – класичними й інформаційно-комунікаційними.

Серед важливих характеристик освітнього процесу, який є поєднанням навчання і виховання, є якість освіти. До основних показників якості відносять психологічні новоутворення та функціональні зміни у діяльності, спілкування і свідомості що виникли у результаті впливу (реалізації) освітніх програм і технологій.

Зі складу різноманітних психічних процесів виділимо як складника компонентів процесу навчання - розуміння навчального матеріалу.

Інформація про глибину розуміння, чітке уявлення про рівень розуміння, якого досягли студенти, дають можливість коригувати шляхи навчальної діяльності та вибору відповідної технології навчання.

Категорію «рівень розуміння» навчального матеріалу введено у педагогіку в другій половині XX століття. Головна сутність розуміння, як зазначає Ю.К. Корнілов [9] в тому, що це пізнавальна взаємодія системи наявних знань та інформації, яка сприймається. У разі подібності взаємодіючих систем взаємодія відбувається як розпізнавання. Нова інформація вбудовується у семантичну мережу відомих особистості понять певними інтелектуальними засобами. Як результат такої взаємодії нових елементів знань між собою і з наявними знаннями студента є встановлення зв'язків між ними.

Утворюється нова понятійна мережа із властивими їй зв'язками між поняттями і операціями з ними.

Розуміння, як психологічний процес, розглядається у роботах вітчизняних і зарубіжних авторів. Так, Г.М. Серьогін [20] запропонував для оцінювання рівня розуміння порядкову шкалу:

Рівень нерозуміння.

Серед ситуацій нерозуміння виникає у випадку, коли пояснення нового матеріалу ґрунтується на невідомих слухачеві поняттях, і вони не коментуються педагогом, що не дає можливості співвіднести, адаптувати їх з наявними у нього знаннями. Наприклад, мову ведемо про швидкість переміщення заряду вздовж провідника – власне про струм (силу струму), однак, не вказали студентам на нові зв'язки.

Пояснення відбувається з використанням невідомих (маловідомих) інтелектуальних, математичних операцій. Зокрема, вивчення коливань з використанням диференціальних рівнянь.

Рівень розпізнавання.

Для цього рівня характерним є сприйняття навчальної інформації окремими фрагментами, які студент може співвіднести із попередніми (наявними) знаннями. Відсутність цілісного сприймання у подальшому призводить до помилок у судженнях, поясненні, виділенні суттєвого, уміннях застосовувати фізичні закони чи правила під час виконання практичних чи лабораторних завдань.

В цьому контексті варто звернути увагу на таку особливість психіки молодих людей XXI століття, як кліпове мислення, виникнення якого пов'язують із стрімким розвитком комп'ютерних засобів. Аналізуючи інформацію, власник кліпового мислення легко оперує лише смислами короткої довжини і з труднощами може працювати з семіотичними структурами довільної складності.

Людина нового когнітивного стилю свідомості рефлективно сприймає світ засобами яскравих посилань, виражених у формі відеокліпів. Отримуючи у такий спосіб інформацію, вона найчастіше не фіксує увагу, не зосереджується на глибокому усвідомленні побаченого і почутого.

Звернемо увагу на такі два погляди на кліповість мисленнєвих операцій:

- по-перше, воно змушує дробити інформацію на прагматичні різностильні фрагменти, що порушує цілісний образ і однорідність змісту інформаційного поля;
- по-друге, потреба людини до максимальної концентрації і швидкого переходу від одного інформаційного фрагменту до іншого,

активізує її емоції і відчуття.

Такі психологічні особливості сучасного студента слід враховувати педагогу під час організації навчального процесу, в цілому, і під час організації самостійної роботи, зокрема.

Навчаючи студента (учня), слід виводити його із ситуації лише розпізнавання, пошуку знайомого подібного тощо і викликати потребу у створенні «нових» образів, картинок, які спрямовані на розвиток уяви і творчого мислення.

Рівень відтворення.

Поняття ввійшло до мовленнєвого вжитку під час спілкування, однак їх практичне застосування (способи дій з ним) відбувається лише для найпростіших випадків, наприклад, під час розв'язування типових фізичних задач. У дещо видозмінених завданнях студент такого рівня розуміння допускає помилки у трактуванні.

Осмислене розуміння настає з вільним володінням поняттями, фактами, законами, застосуванням їх не лише у типових, а й у змінених ситуаціях. Вільне володіння термінологією, правильною трактовкою понятійного і математичного апарату, що проявляється в умінні побудови графіків залежностей між фізичними величинами, надає можливість здобуття нової інформації за цими графіками.

Внутрішнє розуміння. Це найвищий рівень, якому властиві високий ступінь узагальнення, встановлення предметних, між- та метапредметних зв'язків з метою одержання нових знань, або ж розширення їх обсягу.

Врахування лектором рівнів розуміння надають можливість віднайти йому ефективний дидактичний матеріал для засвоєння студентом, конструювання заняття з високим коефіцієнтом корисної дії, і з позицій кінцевого результату та з урахуванням проміжних, покрокових дій з активізації пізнавальної діяльності під час лекції та набором прийомів і способів організації самостійної роботи у позаурочний час.

Засвоєння як результат навчальної діяльності – це структурований процес, що базується і поєднує у собі такі компоненти (рис.3.):

Засвоїти навчальний матеріал означає сприйняти його, потім осмислити, запам'ятати, розуміти та навчитись застосовувати його під час власної діяльності (пояснити колезі, розв'язати фізичну задачу, виконати лабораторне дослідження тощо). Важливо усвідомити, що, якщо навчальний матеріал не зрозумілий, він не може бути засвоєним.

Рівень розуміння (психологічний процес) визначає рівень засвоєння (пізнавальна діяльність).

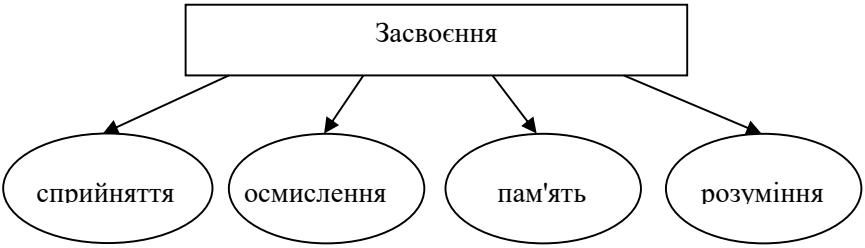


Рис.3. Компоненти поняття засвоєння

Рівень засвоєння не може перевищувати рівень розуміння. Однак, низькому рівню розуміння відповідає низький рівень засвоєння. Наведемо прикладом низького рівня розуміння навчального матеріалу, який виявився під час експерименту. На запитання – «чи взаємодіє тіло, розміщене на поверхні стола, із Землею?», студент відповів, що «ні, не взаємодіє: цій взаємодії заважає стіл, взаємодія буде, якщо тіло знаходиться на поверхні Землі».

З позиції оцінювання навчальних досягнень студента вагомим внеском є дослідження П.С. Атаманчука і його школи (В.В. Мендерецький, О.М. Ніколаєв, О.М. Семерня та інші), у яких пропонується класифікація компетентнісно-світоглядних характеристик якості знань, де введено вимірники якості знань: завчені знання, розуміння основного, наслідування, повне опанування знань, уміння, навичка, переконання, які співвіднесені до трьох рівнів: низького, оптимального і високого [1].

За описаним вище можна стверджувати, що ефективність лекції оцінюють за такими критеріями:

- рівень уваги студентів під час лекції;
- рівень засвоєння студентами навчального матеріалу лекції;
- рівень задоволення студента і викладача лекцією як суб'єкт-суб'єктної взаємодії;
- рівень післялекційної навчально-пізнавальної діяльності студента.

Вимоги до вибудови лекції базуються на узагальнені того, що лекція – вельми ефективна форма систематичного, безпосереднього спілкування двох особистостей – лектора і студента. Слово лектора і в сучасних умовах залишається домінуючим засобом навчання, особливо під час лекційних занять, як контакту освітнього і духовного багатства особистості лектора із внутрішнім світом студента.

Академічна лекція має нести в собі не лише інформаційний, смисловий потенціал, а й соціально-педагогічний. Лекція – це науково-педагогічна творчість викладача, сукупність інформації, дія

якої, методів, прийомів і способів дій є наслідком тривалої практичної діяльності, високої педагогічної культури і професійної майстерності.

5.3. Методичний інструментарій викладача в системі проектування лекційних занять з використанням методичної пропедевтики

Одне із важливих завдань викладача полягає у дидактичній переробці наукової і навчальної інформації, знаходженні найбільш прийнятних структур, які б надали змогу найбільш раціональними способами подавати і передавати досвід, закладений у всіх елементах змісту освіти. Пошук і побудова структури навчального знання повязані з виділенням його суті, відкиданням другорядної додаткової інформації. Способом виділення головного і суттєвого в тексті є згортання інформації та подання її в конспектованому вигляді. Конспекти в свою чергу розрізняють за різними ознаками, зокрема і за формою та логікою подання інформації. З точки зору логіки подання інформації можна виділити два принципово різних варіанти побудови конспектів. В одному випадку логіка конспекту співпадає з логікою основного тексту, в другому випадку в процесі побудови конспекту логічна структура навчального матеріалу піддається переробці. Варіанти подання логічної структури навчального матеріалу залежать від того, що розуміється під елементом навчального матеріалу і від того, як встановлювати зв'язки між виділеними елементами. Способом наочного подання цієї структури є логічні схеми. Одним із методів подання логічної схеми є метод графів. Структурно-логічні схеми, виконані у вигляді орієнтованих графів, викладач може використати в процесі оформлення готового теоретичного матеріалу, розв'язуванні задач, виведенні закономірностей, рівнянь, проектуванні експерименту тощо.

Іншим способом відображення логічної структури навчальної інформації є «опорні сигнали» або «опорні конспекти», запропоновані В.Ф.Шаталовим.

Способами перетворення навчального матеріалу та його подальше подання є побудова класифікаційних і систематизуючих таблиць, в яких виражається відношення між родовими і видовими поняттями, виділення ознак, використання аналогій. Перетворюється навчальний матеріал і в «інформаційних моделях» - таблицях, слайдах презентацій, де за допомогою рисунків, схем, креслень, графіків, умовних позначень фізичних величин відображається «звужений»

матеріал теми, тобто основні її поняття, логічні зв'язки, закономірності і наслідки. В процесі аналізу і побудови конспектів викладачем, виявленні і конструюванні структур навчального матеріалу виникає питання про їх оптимальність та принципи впорядкування системи знань. В процесі розв'язання цього питання на основі дидактичних вимог не доцільно суперечити системі і логіці відповідної науки. І тому ми дотримуємось думки багатьох вчених про те, що основою побудови логічної структури навчального матеріалу має бути система понять, законів, закономірностей та інших структурних елементів фізичного знання. Орієнтація на систему наукових понять в процесі структуризації знання йде коренями у наукознавство і є досить поширеною у дидактиці. Зокрема, є досвід побудови дидактичних посібників програмованого характеру, який грунтується на тому, що «матеріал, який слід запам'ятати, ретельно аналізується з точки зору його логічної структури. На цій основи виділяються його центральні поняття і зв'язки між ними. Весь навчальний матеріал групується навколо цих понять і розташовується в послідовності, яка відображає логічну структуру відповідної дисципліни» [71, с.224-225].

Найбільш чіткої, послідовної і доказової позиції на роль і місце понять в системі наукових та навчальних знань дотримується А.В.Усова. Її погляди з даного питання відображено в великій кількості робіт і відносяться до різних часових періодів у розвитку методики навчання фізики [29]. На основі логіко-генетичного аналізу структури наукових знань, вона виділяє наступні основні елементи знання: наукові факти, поняття, закони, теорії, наукова картина світу. До понять вона включає поняття про структурні форми матерії, явища, властивості тіл і величин, що їх характеризують, методи наукового пізнання. На основі аналізу цих наукових понять А.В.Усовою розроблені узагальнені плани вивчення явища, досліду, величини, закону, теорії, технологічного пристрою, технологічного процесу. Частина цих планів в дещо трансформованому вигляді включена в програми з фізики для закладів середньої освіти.

Інші різні варіації структуризації наукового знання запропоновано низкою науковців. Так, Л.Я.Зоріна у зміст освіти включає наукові знання у вигляді наступної послідовності: факти, окремі теоретичні положення, прикладні знання, поняття і закони, теорії. В якості основної дидактичної одиниці вона виділяє теорію. На її думку основи теорії мають включати групу основних понять, законів і наслідків [29].

З дещо іншої сторони висуває вимогу вибудовувати навчальний

матеріал курсу відповідно до структури наукового знання В.Г.Разумовський, однак структуру теорії він подає відповідно до структури наукового пізнання [29]. За таким циклом будуються роздуми вчених в процесі проведення наукового дослідження.

Будувати курс фізики на основі генералізації навчального матеріалу навколо фундаментальних фізичних теорій пропонують інші науковці, зокрема Ю.І.Дік, В.М.Мощанський, Г.М.Голін, І.С.Карасова тощо.

Аналіз описаних вище праць науковців засідчив, що вони стосувались побудови навчального матералу шкільного курсу фізики. У нашому дослідженні подаємо методичний інструментарій для викладача вищої школи щодо опрацювання і представлення навчальної інформації. Викладач має знати психолого-педагогічні та ергономічні вимоги щодо візуалізації інформації і поданні її на великому екрані або мультимедійній дошці, існуючі способи структуризації та подання навчального матеріалу, методику опису структурних одиниць фізичного знання, способи і прийоми формулювання означень фізичних величин, їх одиниць тощо.

Структурування і спосіб подання навчального матеріалу викладач вибирає самостійно, але з метою методичної пропедевтики ми рекомендуємо акцентувати увагу студентів на лекційних заняттях на описі структурних елементів фізичного знання. Для цього нами розроблені алгоритми опису, в основу яких ми поклали описані вище розробки, і які названі нами «стандартний склад знання» та «конструкти діяльності». Нижче наводимо приклади цих алгоритмів для викладача.

Одним із підвидів фізичних понять є фізична величина, яка є кількісною характеристикою фізичного явища або властивості матеріальної речовини, об'єкта або поля. В загальному курсі фізики вивчається понад 70 фізичних величин, в шкільному близько 50 величин, тому студент має володіти повною інформацією про ту чи іншу фізичну величину з метою набуття фахових знань, які в подальшому будуть основою в методичній підготовці студентів щодо проектування уроків вивчення нового матеріалу, в основі яких є вивчення фізичної величини. Повну інформацію про фізичну величину пропонуємо подавати у наступному варіанті [18]:

Конструкт діяльності «Стандартний склад знань про фізичну величину»

1. Явище (властивість), яке характеризується величиною (властивість фізичного тіла, властивість речовини, якість явища, об'єкт (процес, стан).

2. Символ фізичної величини.

3. Визначальна формула величини.

4. Формулювання означення.

5. Характеристика одиниць вимірювання величини

5.1. Означення одиниці вимірювання в загальному вигляді.

5.2. Означення одиниці вимірювання в СІ. Символьний запис.

5.3. Позасистемні одиниці.

6. Розмірність фізичної величини.

7. Прилад для вимірювання величини (спосіб вимірювання).

8. Зв'язок величини з іншими величинами (формула, яка виражає зв'язок даної величини з іншими величинами).

9. Приклади величини.

10. Додаткові характеристики.

Викладач, перш за все, має звернути увагу студентів на правильність формулювання означення фізичної величини, її одиниці в загальному вигляді і в міжнародній системі одиниць, встановленні розмірності фізичної величини.

Зв'язки між фізичними величинами, явищами, об'єктами тощо представлені у фізичній науці законами і закономірностями. Вивчення законів дійсності знаходить своє вираження у створенні наукової теорії, яка адекватно відображає досліджувану предметну галузь. Закон є ключовим елементом фізичної теорії. Тому володіння інформацією про фізичні закони є важливою складовою фахової підготовки студента. Опис закону рекомендуємо проводити за таким конструктом.

Конструкт діяльності «Стандартний склад знань «Фізичний закон»

Короткі історичні відомості про відкриття закону: ким відкритий і коли, на основі яких фактів і даних встановлений, роль даного закону в розвитку природничо-наукового знання (доцільно розповідь супроводжувати мультимедійною презентацією).

Математичний вираз закону та його формулювання (на основі законів формальної логіки). Встановлення фізичного змісту коефіцієнта пропорційності та його одиниці (за наявності).

Межі застосування закону.

Частинні випадки.

Фізичні досліди (реальні, відео або віртуальні), які підтверджують справедливість закону.

Врахування і використання на практиці.

Перший пункт опису є важливим в плані реалізації принципу

історизму під час вивчення загального курсу фізики та сприяє розширенню знань і світогляду студента. В процесі формулювання закону на основі математичного виразу, важливо, щоб викладач врахував правило читання закону: фізична величина, що стоїть в лівій частині виразу прямо пропорційна (або обернено пропорційна) величинам лівої частини виразу. Доцільно звернути увагу на встановлення фізичного змісту коефіцієнта в законі (за його наявності) та його одиниці. Слід зауважити, що означення окремих фізичних величин, зокрема питомих величин, формулюються на основі встановлення фізичного змісту їх як коефіцієнтів у законах або закономірностях. На це потрібно звернути увагу студентів вже під час вивчення загального курсу фізики. З метою формування експериментальних знань і умінь важливим є демонстрація фізичних дослідів, які підтверджують справедливість закону.

Вивчення фундаменальних дослідів дає змогу поглибити знання студентів з історії розвитку, становлення та еволюції фізичної науки, поглибити та розширити знання про експериментальний метод пізнання, про роль та місце фізичного експерименту у становленні фізичного знання, про взаємозв'язок теорії й експерименту і тим самим подати фізику в контексті культури. Наводимо алгоритм опису фундаментального досліду.

Конструкт діяльності «Стандартний склад знань про фундаментальний дослід».

Назва досліду та короткі історичні відомості (з використанням мультимедійного супроводу).

Мета досліду.

Ознайомлення студентів з експериментальною установкою досліду. (використати дидактичні засоби для пояснення: презентацію, відео, анімації, комп'ютерні моделі, схеми, опорні конспекти, реальний демонстраційний експеримент тощо).

Опис приладів і матеріалів для постановки досліду, їх призначення.

Пояснення суті і порядку проведення досліду.

Характеристика і пояснення результатів досліду.

Конструювання опорного конспекту для студентів з вивчення і пояснення досліду.

Конструювання презентації для наочного супроводу пояснення.

Використання віртуальних моделей, фізичних симуляцій під час формування знань про фундаменатальний дослід дає змогу сформувати у студентів уміння виконувати дослідження у віртуальному варіанті, а також сформувати уявлення про можливості і

межі застосування комп'ютерного моделювання.

Квартетний (чотирьохпозиційний) підхід до опису фізичного явища передбачає його опис з якісної, кількісної, сутнісної і прикладної сторін.

Якісна сторона опису явища включає висвітлення наступних пунктів:

Подання фактологічної інформації на основі результатів спостережень, демонстраційного експерименту, віртуального моделювання.

Заповнення таблиці (табл.1)

Для цього слід виділити структурні **елементи фізичного явища**

матеріальний об'єкт – тіло (поле), яке має певні властивості, характеристики стану;

другий матеріальний об'єкт – тіло (поле), з яким взаємодіє перший матеріальний об'єкт. Він також має певні властивості, які можуть змінюватись, однак вони не є принциповими для вивчення явища.

Взаємодія матеріальних об'єктів є причиною для вивчення явища.

умови взаємодії – обставини, за відсутності яких взаємодія об'єктів не призводить до визначеної зміни стану матеріального об'єкта.

результат взаємодії – зміна властивостей матеріального об'єкта. Виявляється безпосередньо за допомогою органів чуття людини або за допомогою індикатора.

Таблиця 1.

Структурні елементи фізичного явища і експериментальної установки для його демонстрації

Структурні елементи фізичного явища	Структурні елементи експериментальної установки
МО I в початковому стані –	Об'єкт дослідження –
МО II в початковому стані –	Об'єкт впливу –
Умови взаємодії –	Умови взаємодії -
Результат взаємодії –	Індикатор -

Введення нових понять.

Визначення умов протікання явища.

Кількісна сторона опису явища включає такі етапи:

Введення величин, що характеризують явище та їх опис (на основі фізичного експерименту, комп'ютерного моделювання, теоретичних доведень).

Встановлення залежностей між величинами та їх опис (на основі фізичного експерименту, комп'ютерного моделювання, теоретичних доведень).

Сутнісна сторона опису явища (механізм протікання процесів і станів об'єктів) передбачає реалізацію таких етапів:

Повторна констатація основних дослідних фактів або формулювання проведених узагальнень і встановлених залежностей між величинами.

Висунення гіпотез, що дають змогу пояснити досліди, зв'язки, залежності.

Введення моделей, що дають змогу уявити механізм протікання процесів і виділити в них найважливіші для пояснення сторони.

Формулювання логічних наслідків, що випливають з гіпотези і модельних уявлень про механізм протікання процесів і станів об'єктів.

Прикладна сторона опису явища передбачає опис приладів, пристроїв, механізмів.

Наведемо приклад опису явища електромагнітної індукції. Якісна сторона вивчення явища пов'язана з накопиченням фізичного матеріалу. Для цього проводиться серія дослідів. Наприклад, для явища електромагнітної індукції - поява індукційного струму в котушці, замкненої на гальванометр під час руху відносно неї постійного магніту.

Сутнісна сторона вивчення явища передбачає розкриття механізму протікання явища. Для пояснення дослідних фактів, зокрема таких як демонстрація взаємодії суцільного і розрізаного алюмінієвих кілець з магнітом, який рухається відносно них (дослід Ленца) висувається декілька гіпотез. На основі гіпотез будується низка логічних наслідків, які перевіряються на експерименті, наприклад, такому як гальмування пластин в магнітному полі.

Опис кількісної сторони явища передбачає введення поняття магнітного потоку і закону електромагнітної індукції.

Прикладний аспект вивчення явища передбачає розгляд приладів і їх моделей, які працюють на основі закону електромагнітної індукції – генератора, трансформатора, тахометра тощо; також необхідно зосередити увагу на негативних діях та проявах явища.

Для проведення узагальнюючих лекцій нами розроблено методичний інструментарій, який включає методологічний аналіз фундаментальних взаємодій, фізичних теорій, фізичної картини світу.

Конструкт діяльності стандартного складу знання про структурні елементи взаємодій подані у такому варіанті:

Походження.

2. Спосіб передачі.

3. Характер протікання.

4. Інтенсивність.

5. Кількісна міра.

6. Підпорядкування загальним законам і принципам.

Наведемо відповідь на ці питання на прикладі пояснення електромагнітної взаємодії.

Походження – наявність електричного заряду або магнітного моменту.

Спосіб передачі - фотон.

Характер протікання – взаємне притягання і відштовхування. Поглинання або випромінювання енергії.

Інтенсивність – 10^{-2}

Міри:

сили $F = k\frac{q_1 q_2}{r^2},\ F_л = q\vec{E} + q\left[\vec{\vartheta}\vec{B}\right]$

напруженість поля $E = \frac{\vec{F}}{q_0}$

різниця потенціалів $\Delta\varphi_{12} = \frac{A_{12}}{q_0}$

- міжмолекулярна потенціальна енергія $U(r) = \frac{A}{r^n} - \frac{B}{r^m}, n = 6,$ $m \gg 12$

Підпорядкування загальним законам збереження заряду, енергії, імпульсу; принципам – близькодії, суперпозиції.

Викладач має наголосити, що процесу взаємодії властиві загальні ознаки:

наявність як мінімуму двох взаємодіючих тіл;

наявність поля;

наявність сили – міри взаємодії.

Характер взаємодії визначає причини і механізм зміни стану матеріального об'єкту, а в рамках фундаментальної фізичної теорії – ідеалізованого об'єкту.

Узагальнення на рівні фізичної теорії рекомендуємо проводити за таким конструктом:

Основа теорії: емпіричний базис – система емпіричних фактів, отриманих на основі спостережень і експериментів; модель – ідеалізований обєкт, який втілює найважливіші властивості, глибинні особливості і специфіку досліджуваної області явищ; система понять; емпіричні закони.

Ядро теорії: закони, що виражаються в математичних рівняннях; закони збереження; постулати і принципи; фундаментальні фізичні сталі.

Наслідки: застосування законів, які входять в ядро теорії; пояснення емпіричних фактів; передбачення нового.

Наведемо приклад опису класичної механіки у формі таблиці (табл.2).

Таблиця 2.

Класична механіка

Основа		
Факти	Ідеалізований об'єкт	Поняття, фізичні величини
1. Кінематичні закономірності руху тіл (матеріальних точок, планет Сонячної системи) 2. Закони Кеплера	Матеріальна точка	1. Система відліку 2. Простір і час, переміщення, координата, швидкість, прискорення 3. Взаємодія 4. Сила 5. Маса 6. Імпульс сили 7. Імпульс тіла 8. Енергія 9. Робота
Ядро		
Принципи	Закони	Математичні рівняння
1. Інерції 2. Дальнодії 3. Суперпозиції 4. Причинності 5. Відносності	1. Існують такі системи відліку, в яких тіло зберігає стан спокою або рівномірного прямолінійного руху до тих пір, поки дія сил не змусить його змінити цей стан. 2 Прискорення, яке набуває тіло у інерціальній системі відліку, прямо пропорційне векторній сумі сил і обернено пропорційне масі системи	$\vec{a} = \frac{\sum \vec{F}}{m}$ $\overrightarrow{F}\Delta t = \Delta m\vec{v}$ $\overrightarrow{F_{12}} = -\overrightarrow{F_{21}}$

	тіл. 3. Сила дії рівна силі протидії	
Наслідки		
1. Механічна схема опису руху: знаючи положення матеріальної точки в системі відліку і швидкості руху в певний момент часу, можна визначити ці параметри руху на всі наступні та попередні моменти часу. 2. Вільне падіння тіл в газах, рідинах. Наукове тлумачення статики, гідро- і аеродинаміки	1. Рух тіл змінної маси. 2. Аналіз законів збереження імпульсу, енергії, складання швидкостей. 3. Визначення середньої густини тіл, планет. 4. Рух тіл під дією однієї або кількох сил. 5. Зіткнення тіл і частинок (пружний і непружних удар). 6. Рух рідин і газів (рівняння Бернуллі)	

Для переходу від емпіричного базису теорії до понятійної основи вводять ідеалізований об'єкт теорії. Стандартний склад знання про ідеалізований об'єкт має таку структуру:

- означення поняття;
- обгрунтування необхідності введення поняття;
- припущення, які задають властивості ідеалізованого об'єкту;
- методологічна основа поняття;
- властивості ідеалізованого об'єкту;
- фізичні величини, які описують властивості ідеалізованого об'єкту.

Для реалізації принципу історизму пропонуємо подавати узагальнену інформацію про історичні досліди, які стосуються даної фізичної картини світу. Для класичної механіки приклад наведено у табл.3.

Таблиця 3.

Класифікація історичних дослідів, що становлять базис класичної механіки

Теоретична основа	Експериментальний факт
ОСНОВА	
Протиріччя у поглядах про закономірності руху тіл - Арістотель (IV століття до н.е.) і Леонардо да Вінчі (XV століття).	Г. Галілей - дослідження та формулювання основних кінематичних закономірностей руху тіл (1638 р.) Г. Кавендиш - експериментальна

Протиріччя у поглядах про будову Всесвіту - Арістотель (IV століття до н.е.) і М. Коперник (1543 р.). Вивчення природи гравітаційної взаємодії	перевірка закону всесвітнього тяжіння (1665-1666 рр.)
ЯДРО	
Принцип відносності Галілея Закони Ньютона (1687) Перший закон Другий закон Третій закон	П. Гассенді - експериментальне підтвердження принципу відносності Галілея (1641 р.) Г. Галілей - уявний експеримент (1638 р.) Е. Маріотт - дослідження зіткнення пружних тіл (1669 р.); досліди повторно проведені самим І. Ньютоном (1687 р.) І. Ньютон - дослід з плаваючим шматком заліза і магнітом (1687 р.)
НАСЛІДКИ	
Нагромаджені експериментальні факти, які пояснювалися поглядами античних вчених-філософів і знайшли однакове пояснення в законах Ньютона	Архімед - дослідження умов рівноваги важеля, закономірностей виштовхувальної сили (III ст. до н.е.) Ж. Бурідан, Н. Орем, А. Саксонський - дослідження закономірностей руху тіл (XIV ст.) Г. Гук - встановлення закону деформації (1660 р.) Г. Гюйгенс - встановлення закону збереження імпульсу (1669 р.) Г. Гюйгенс - вимірювання прискорення вільного падіння (1678 р.)
Досліди, що ілюструють окремі явища і закономірності, що пояснюється законами Ньютона, а також отримали широке застосування в техніці	Г. Коріоліс - відкриття додаткового прискорення, що виникає при складному русі (1829 р.) Л. Фуко - відкриття добового обертання Землі (1851 р.) Ю. Майер, Р. Джоуль - відкриття закону збереження енергії і визначення механічного еквівалента

	теплоти (1842-1843 рр.)
Досліди, які відкрили явища і закономірностей, передбачені на основі законів класичної механіки	
Ж. Левер'є - існування Нептуна і Плутона (1845 р.)	І.Г. Галле - перші спостереження за Нептуном і Плутоном (1846 р.)

Узагальнення на рівні фізичної картини світу рекомендуємо проводити за таким конструктом діяльності:

Теоретичний і емпіричний базис, покладений в основу формування ФКС.

Характерні особливості структурних елементів ФКС.

Характерні особливості понять: матерії, простору і часу, руху, взаємодії.

Характерні особливості принципів.

Характерні особливості провідних ідей і концепцій.

Характерні особливості базових теорій.

Стиль мислення.

Нижче наводимо приклад подання інформації про механічну картину світу у вигляді узагальнюючої таблиці (табл.4).

Таблиця 4.

Стандартний склад знання про механічну картину світу.

Механічна картина світу (МКС)	
Формується на основі геліоцентричної системи світу М.Коперника, експериментального природознавства Г.Галілея, законів небесної механіки І.Кеплера, механіка І.Ньютона.	
Структурні елементи ФКС	Характерні особливості
Матерія	В рамках МКС склалася дискретна модель реальності. Матерія – речовинна субстанція, яка складається з частинок (корпускул), що є неподільними, вічними і незмінними. Абстракцією дискретної неподільної частинки є матеріальна точка.
Простір і час	Характерна концепція абсолютного простору і часу: простір є тривимірним, постійним і не залежить від матерії, час не залежить ні від простору, ні від матерії. Простір і час абсолютні сутності, які існують незалежно від матерії і часу.
Рух	Рух – механічне переміщення тіл або частинок.

	Закони руху – фундаментальні закони світобудови. Тіла рухаються рівномірно і прямолінійно, а відхиленням від цього руху є дія зовнішньої сили
Взаємодія	Гравітаційна. Характер взаємодії – взаємна дія.
Принципи	Далекодії – взаємодія між тілами відбувається миттєво на будь-якій відстані, тобто дія передається в порожньому просторі з будь-якою швидкістю. Відносності Галілея – всі механічні явища відбуваються однаково в будь-якій інерціальній системі відліку. Причинності – причинно-наслідковий зв'язок носить взаємнооднозначний характер.
Провідні ідеї і концепції	Механіцизм – всі види руху зводяться до механічного руху. Маса є мірою інертності. Сила тяжіння – універсальна і є далекодіючою. Всі механічні процеси підпорядковуються принципу лапласівського (жорсткого) детермінізму. Випадковість виключається з картини світу. Динамічні закони повністю характеризують причинність в природі.
Базові теорії	Класична механіка Ньютона
Стиль мислення	Класичний

Таким чином, нами розглянуто методичний інструментарій викладача, який базується на використанні дидактичної моделі логічної структури навчального матеріалу, яка включає узагальнений підхід до опису стандартного складу елементів фізичного знання, чотирьохпозиційний підхід до опису фізичного явища, узагальнений підхід до опису фізичного знання на рівні фізичної теорії і фізичної картини світу, до складу якого внесено: конструкти опису стандартного складу знання структурних елементів фізичних знань: фізичних величин, законів, закономірностей, приладів, фундаментальних дослідів, фізичних фактів тощо; конструкти опису якісної, кількісної, сутнісної та прикладної сторін фізичного явища; методичні рекомендації щодо опису фізичного знання на рівні фізичної теорії і фізичної картини світу.

Список використаних джерел

1. Атаманчук П.С. Методологія як найвищий пріоритет у фаховому становленні майбутнього вчимтеля фізики // Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна : Вип. 20: Управління якістю підготовки майбутнього учителя фізико-технологічного профілю. Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, Кам'янець-Подільський, 2014. – С. 7-10.
2. Вербицкий А.А. Активное обучение в высшей школе: контекстный подход: методич. пособие. М: Высш.шк., 1991. 207 с.
3. Використання тестових технологій на основі Google-форм [Елекронний ресурс]. URL: http://timso.koippo.kr.ua/hmura9/vykorystannya-testovyh-tehnolohij-na-osnovi-google-form.
4. Выготский Л.С. Педагогическая психология. М.: Педагогика, 1991. Т.2. 252 с.
5. Гальперин П.Я. Методы обучения и умственное развитие ребенка. М.: Изд-во МГУ. 1985. 428 с.
6. Заболотний В. Ф. Формування методичної компетентності учителя фізики засобами мультимедіа: монографія. Вінниця: «Едельвейс і К», 2009. 454 с.
7. Заболотний В.Ф., Мисліцька Н.А. Психолого-педагогічні аспекти візуалізації інформації під час лекцій// Інформаційно-комунікаційні технології в сучасній освіті: досвід, проблеми, перспективи// Збірник наукових праць. Вип.4. Ч.1. Київ-Львів, 2015. С.191-195.
8. Заболотний В.Ф., Шут М.І., Мисліцька Н.А. Технології навчання фізики: [навчальний посібник з мультимедійним супроводженням]. Вінниця, ТОВ «Нілан-ЛТД», 2014. 176 с.
9. Корнілов Ю.К. Психологические проблемы понимания (понимание как познание, как вид мышления, понимания в производительной деятельности). Ярославль: Изд-во ЯрГУ,1979. 80 с.
10. Маркова С.М. Педагогическое проектирование в условиях непрерывного многоуровневого профессионального образования. Н. Новгород: ВГИПИ, 1999. 88 с.
11. Мисліцька Н. А. Використання пропедевтичного підходу у методичній системі вивчення загальної фізики майбутніми учителями фізики : збірник матеріалів V Міжнародної науково-практичної онлайн-конференції, м.Кропивницький, 10-13 жовтня 2017 р.

Кропивницький: РВВ ЦДПУ ім.В.Винниченка, 2017. С. 51-52.

12.Мисліцька Н.А. Організація фахової підготовки майбутнього учителя фізики з використанням методичної пропедевтики: монографія. Вінниця, 2017. Нілан-ЛТД. 308 с.

13.Мисліцька Н. А. Методична система компетентності майбутнього учителя фізики на основі використання пропедевтичного підходу під час вивчення загальної фізики : Наукові записки. Вип.12. Серія : Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти. Ч.1. Кропивницький : РВВ ЦДПУ ім.В.Винниченка, 2017. С.80-86.

14.Мисліцька Н.А. Методична система вивчення загального курсу фізики з використанням методичної пропедевтики//Зб.наук. Кам-Под. нац. ун-ту ім.І.Огієнка. Вип.23: Теоретичні і практичні основи управління процесами компетентнісного становлення майбутнього учителя фізико-технологічного профілю. Кам-Под.: Кам-Под.нац.ун-т. , 2017. С.139-142.

15.Myslitska N. Modernization didactic means and forms of independent work of students physics-based service using infographics Scientific issue of knowledge, education, law and management. №1 (17). Kelm, 2017. P. 229-232.

16.Мисліцька Н.А. Теоретичні аспекти проектування НМК дисципліни у вищому навчальному закладі // Вісник Чернігівського національного педагогічного університету «Серія: Педагогічні науки». Вип.127. Чернігів, 2015. С.120-123.

17.Мисліцька Н.А., Бутківська С.В. Нариси з історії фізики (з мультимедійною підтримкою) [навчальний посібник]. Вінниця, 2013. 80 с.

18.Мисліцька Н.А., Заболотний В.Ф. Методичний інструментарій учителя і викладача фізики: навч.-метод.посібник Вінниця, 2017. Нілан-ЛТД. 189 с.

19.Полякова М.В. Секреты хорошей лекции. Образование и наука, 2008. № 5 (53), С. 118 – 131.

20.Серегин Г.М. О диагностике уровней понимания учебного материала// Образование и наука. № 8 (65), 2009, С. 80-85

21.Степанова М.А. Проблема обучения и развития в трудах Л.С. Выготского и П.Я. Гальперина/ Вопросы психологии. 2001. № 4. С. 106-114

22.Сусь Б.А., Заболотний В.Ф., Мисліцька Н.А. Електрика: навчальний посібник для самостійної роботи студентів з мультимедійними додатками в електронному представленні. Київ:

ВІТІ НТУУ «КПІ», 2012. 146 с.

23.Сусь Б.А., Заболотний В.Ф., Мисліцька Н.А. Електронний посібник для самостійної роботи студентів //Вісник Чернігівського державного педагогічного університету імені Т.Г.Шевченка. Вип.36. Серія: Педагогічні науки. Чернігів: ЧДПУ, 2008. Вип.46. Т.1. С.55-60.

24.Сусь Б.А., Заболотний В.Ф., Мисліцька Н.А. Коливання і хвилі. Навчальний посібник для самостійної роботи з електронним представленням. Київ: ВІТІ НТУУ «КПІ», 2011. 192 с.

25.Сусь Б.А., Мыслицкая Н.А. Физическое содержание теоремы Остроградского-Гаусса // Материалы X Международной научно-практической конференции «Образование и наука XXI века – 2014», 17-25.10.2014 г. София, Болгария. [Електронний ресурс]. URL: http://www.rusnauka.com/.

26.Трухан И.А., Трухан Д.А Визуализация учебной информации в обучении математике, ее значение и роль // Успехи современного естествознания. Пермь, 2013. № 10. С. 113-115.

27.Тряпіцин А.В. Исследование методической компетентности преподавателя высшей школы // «Человек и образование». № 3-4 (12-13), 2007, С. 119-122.

28.Чернилевський Д.В., Филатов О.К. Технология обучения в высшей школе. М.: Экпедитор, 1996. 187 с.

29.Шаповалов А. А. Конструктивно-проектировочная деятельность в структуре профессиональной подготовки учителя физики: дис…. докт. пед. наук: 13.00.02. Барнаульский государственный педагогический универ, 2000. 400 с.

30.Школа О.В. Теоретико-методичні засади навчання теоретичної фізики майбутніх учителів фізики: монографія. Бердянськ: Видавець Ткачук О.В., 2015. 384 с.

31.Myslicka N., Zabolotnyj W. Organizacja przygotowania i prźeprowadzenie laboratoryjnych ćwiczeń praktycznych z uzyciem propedeutyki podejścia// Scientific issue of knowledge, education, law and management. №2 (18). Kelm, 2017. P. 116 -125.

РОЗДІЛ 6. ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ У ПІДГОТОВЦІ З ФІЗИКИ МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ ХІМІЇ І БІОЛОГІЇ

Сільвейстр А.М.
доктор педагогічних наук, доцент

6.1. Роль фізичних методів дослідження у підготовці студентів хімічних і біологічних спеціальностей педагогічних університетів

Курс фізики для майбутніх учителів хімії і біології передбачає не тільки вивчення наукових фактів, фізичних принципів та ідей, але й засвоєння методів, які приводять до пізнання явищ природи. На сьогодні існує досить велика кількість фізичних методів дослідження, які мають свої переваги і недоліки та широко застосовуються у природничих науках. Це цілком природно, оскільки завдання, які ставить кожна наука досить різноманітні і всі вони мають свої особливості. Використання фізичних методів дослідження у хімії і біології дає студентам даних спеціальностей краще зрозуміти та засвоїти хімічні і біологічні процеси та явища.

Як зазначає ряд науковців та методистів, важливим є не тільки розповідь про саме дослідження і пояснення про те, як воно було задумано, заплановано, що очікували вчені від нього та вклад великої праці вченого в пошуках наукової істини, а й отримання нового відкриття. Саме під час відкриттів і досліджень народжуються нові методи дослідження. Питання пов'язанні з фізичними методами дослідження розглядаються у роботах К. Бенуелла, Л. Вілкова, Р. Драго, Б. Йоффе, Р. Костикова, Ю Пентіна, В. Разіна та інших.

Метод (від грец. μέθοδος - «шлях через») (рос. *метод*, англ. *method*, нім. *methode, f*) – систематизована сукупність кроків, які потрібно здійснити для розв'язання певної задачі, досягнення мети. Поняття тотожне алгоритму діяльності чи технологічного процесу. Слово «метод» з'явилося в англійській мові в 1541 році з французької і латини.

Основним методом дослідження у фізиці є дослід – спостереження явищ природи у відповідних умовах.

Для пояснення експериментальних фактів формулюються гіпотези – наукові припущення, що дають змогу пояснити явище та вимагають перевірки на досліді і теоретичного обґрунтування для того, щоб стати науковою теорією.

Поняття «метод» у [14, с. 299-300] розглядається у самому загальному значенні, тобто спосіб досягнення мети; сукупність певних правил, прийомів, норм і дій. Основна його функція – організація і

регуляція діяльності у будь-якій її формі, а не тільки у науковій. Науковий метод постає одночасно як система пропозицій, формуючих форми пізнавальної діяльності (тобто як форма наукового пізнання), і як система операцій і процедур цієї діяльності, детермінуючою закономірностями суб'єктно-об'єктно відносин.

На сьогодні під методом розуміють особливий прийом або систему прийомів, які застосовуються в будь-якій науково-практичній діяльності. Жоден прийом не є повноцінним і завжди реалізується в сукупності дій, але саме за особливостями окремого прийому відрізняють та систематизують методи. Тому алгоритм може відрізнятися в одному особливому етапі за окремими ознаками дії, інструментами, технологічними особливостями процесу, що дає значну множину розмаїття методів, які можуть зводитися до основних або, навіть, основного [17, с. 8].

Під методами дослідження в педагогіці [3, с. 206] розуміють прийоми, процедури та операції емпіричного і теоретичного пізнання й вивчення явищ педагогічної діяльності. В залежності від аспекту розгляду методи дослідження в педагогіці поділяються на загальнонаукові; власне педагогічні й методи інших наук; констатуючі й перетворюючі; емпіричні й теоретичні; якісні й кількісні; часткові й загальні; змістовні й формальні; методи збирання емпіричних даних; перевірки й спростування гіпотез і теорій; методи опису, пояснення і прогнозування; спеціальні методи, які використовуються в окремих педагогічних науках; методи обробки результатів дослідження. У фундаментальних дослідженнях застосовуються в основному теоретичні методи дослідження та експеримент. Прикладні педагогічні дослідження й розробки вимагають емпіричних методів дослідження.

Фізичні методи дослідження базуються на фізичних законах, явищах та широко використовуються в різноманітних галузях науки та техніки: для встановлення оптимальних параметрів технологічних процесів; під час розробки нових технологій; для створення нових матеріалів та їх удосконалення у різних галузях господарства. Фізичні методи дослідження дають можливість отримувати значення різноманітних характеристик властивостей речовин та виробів, які можна класифікувати за окремими групами [17, с. 7].

Фізичні методи дослідження можна класифікувати як за характером взаємодії речовини з випромінюванням, полем чи потоком частинок, так і за властивостями речовини, які можна визначати цими методами.

За характером взаємодії: методи оптичної і радіоспектроскопії, дифракційні, електричні, йонізаційні тощо.

За визначуваними властивостями речовини: методи визначення геометричної будови молекул, дипольних моментів, електронних коливальних та обертальних енергетичних станів і спектрів молекул, симетрії, силових полів, енергій йонізації тощо. Арсенал фізичних методів дослідження, які є на озброєнні хіміків, дуже великий [17, с. 20].

В історичному розвитку природничих наук, фізика завжди служила базисом розвитку інших природничих наук. І в сучасному природознавстві відкриття нових наукових фактів спирається на тісний взаємозв'язок всіх природничих наук і широке використання фізичних методів дослідження. Серед таких методів можна відзначити як експериментальний та теоретичний. Щодо експериментального методу, то до нього можна віднести ті експерименти, які в першу чергу привели до наукових відкриттів та мали фундаментальне значення для фізики. Як приклад, можна навести: з розділу «Механіка» дослід Галілея з падінням тіл, дослід Кавендіша, у якому була виміряна сила гравітації між масами в лабораторних умовах; з розділу «Молекулярна фізика і термодинаміка» дослід Штерна, на основі якого визначено швидкість молекул газів; з розділу «Електрика і магнетизм» дослід Кулона – закон взаємодії заряджених тіл, досліди Фарадея з електромагнітної індукції; з розділу «Оптика» дослід Столєтова, який наочно демонструє явище зовнішнього фотоефекту; з розділу «Атомна фізика» дослід Резерфорда з розсіювання α-частинок тощо.

Важко переоцінити роль фізичних методів та фізичної апаратури в біолого-хімічних дослідженнях. У хімічних і біологічних дисциплінах часто використовуються методи, які класифікують: за характером взаємодії речовини з випромінюванням, полем чи потоком частинок (методи оптичної і радіоспектроскопії, дифракційні, електричні, іонізаційні, рентгеноструктурний і люмінесцентний аналізи тощо); за визначуваними властивостями речовини (молекулярна спектроскопія, методи визначення геометричної будови молекул, дипольних моментів, електронних коливальних та обертальних енергетичних станів і спектрів молекул, симетрії, силових полів, енергій йонізації тощо).

Оскільки студенти спеціальності «Хімія» вивчають дисципліни «Загальна хімія», «Фізична і колоїдна хімія», «Аналітична хімія», «Загальна хімічна технологія» (нормативні дисципліни), «Фізико-хімічні методи дослідження», «Хімія високомолекулярних сполук», «Хімія і технологія очищення води» (вибіркові дисципліни), а

студенти спеціальності «Біологія» вивчають біофізику, ботаніку, загальну екологію, екологію людини, екологію рослин і тварин, зоологію, охорону природи, радіобіологію, фізіологію людини і тварин, фізіологію рослин (нормативні дисципліни); біоніку, молекулярну біологію (вибіркові дисципліни), то, як правило, у своїх дослідженнях вони використовують фізичні методи дослідження. Так, у дисциплінах хімічного спрямування широко застосовується термодинамічний метод, який дає змогу розв'язати ряд важливих питань про перетворення різних видів енергії в хімічних процесах, про напрям і характер хімічних процесів та фазових переходів, про хімічну рівновагу. Тут знайшов своє використання і статистичний метод: розв'язання задач хімічної кінетики, задач про рівновагу і її зміщення, кінетики адсорбційних процесів, кінетики процесів, що відбуваються в колоїдних розчинах [5, с. 6].

У курсі «Аналітична хімія» [4, с. 14-16] часто використовують наступні методи фізичного дослідження: спектральний, метод фотометрії полум'я, метод атомної абсорбції, рентгено-флуоресцентний метод, радіоактиваційний метод та ін. У цих методах визначають кількість речовини вимірюванням параметра певної фізичної властивості речовини (густина, температура, теплопровідність, твердість, електропровідність, потенціал, інтенсивність забарвлення, кут заломлення світла, кут обертання площини поляризації світла, радіоактивність тощо), причому хімічні реакції або зовсім не проводяться, або мають другорядне значення. Виходячи з розгляду даних методів, можна стверджувати, що на розвиток хімічної науки значний вплив здійснює фізика. Як правило, вона є фундаментом сучасної хімії.

Дослідження спектрів за допомогою ядерного магнітного резонансу дає уявлення про будову і просторове розміщення атомних груп, а також про зміни їх взаємного розташування в процесі реакцій. Ядерний магнітний резонанс (протонний) широко застосовується при дослідженні органічних з'єднань насичених ядрами водню. Цей метод отримав широке застосування в дослідженнях мікроструктур і широко використовуються в фізиці, хімії, біології, медицині, техніці [8, с. 231].

Важливе значення у дослідженні хімічних процесів мають оптичні методи дослідження для визначення розмірів, форми, будови часточок, швидкості їх переміщення тощо. Це пов'язано з тим, що мікрогетерогенні і ультрамікрогетерогенні дисперсійні системи, у тому числі й колоїдні розчини, завдяки сумірності розмірів часточок дисперсної фази з довжиною світлових хвиль характеризуються

специфічними оптичними властивостями. Оптичні характеристики аерозолів (туманів, хмар, пилу), ступінь мутності водоймищ мають велике значення для авіації, метрології, контролю за чистотою навколишнього середовища тощо [5, с. 236-237].

Визначення складу і структури найрізноманітніших речовин можна здійснювати, не вдаючись до хімічних або електрохімічних реакцій, а використовувати фізичні методи аналізу [7, с. 17].

Такого роду методи визначення ґрунтуються на вивченні за допомогою різних прецизійних приладів фізичних властивостей досліджуваної речовини, наприклад емісійних спектрів і спектрів поглинання, електро- і теплопровідності, потенціалів електродів, що занурюються у розчин досліджуваної речовини, діалектичної проникності та інших електричних і магнітних характеристик, ядерного магнітного резонансу (ЯМР), електронного парамагнітного резонансу (ЕПР), обертання площини поляризації світла, показника заломлення, флуоресценції, радіоактивності и т.п.

Автор [7, с. 17] звертає увагу, що фізичні методи мають істотні переваги, наприклад багато із них характеризуються високою чутливістю і експресністю. Застосування цих методів дає можливість автоматизувати вимірювання і розв’язувати задачі, які неможна розв’язувати методами хімічного аналізу.

Разом з тим науковець [7, с. 17] зазначає і недоліки фізичних методів, до яких відноситься порівняно слабка їх вибірковість та необхідність використання стандартних зразків (еталонів) – матеріалів з точно встановленим хімічним складом за рядом елементів.

Головні методи дослідження анізотропії речовини ґрунтуються на поляризації світла, - це поляризована люмінесценція, дихроїзм, оптична активність і подвійне заломлення. За допомогою поляризації люмінесценції можна досліджувати взаємодію молекул у рідких і твердих тілах, міграцію енергії в кристалах, анізотропію полімерних плівок, що підлягають механічним деформаціям.

Одним із найбільш цінних результатів є визначення орієнтації молекул сторонніх домішок в основній ґратці при малих концентраціях домішок. Справа в тому, що чутливість інших методів (наприклад, рентгеноструктурного аналізу) дозволяє проводити дослідження тільки концентрацій порядку відсотка. Поляризаційно-люмінесцентний метод може застосовуватися до концентрацій порядку десятитисячних часток відсотка.

У природі і в технологічних процесах зустрічається багато плівок і волокон з частковою анізотропією - природного або штучного

походження. Як приклад, можна назвати профарбовані флуорохромами деякі нервові волокна, волокна штучного шовку, витягнуті нитки овечої вовни, що мають власну люмінесценцію в ультрафіолетовій області, вісь пташиного пір'я [17, с. 170].

За допомогою поляризованого світла можна також досліджувати анізотропію полімерних плівок, які підлягають механічним деформаціям (наприклад, розтяг – це важливий і поширений технологічний процес у виробництві полімерів і пластмас). Для цієї цілі можуть слугувати подвійне заломлення, дихроїзм і знову ж таки поляризована люмінесценція. В останньому випадку можна скористатися як власною люмінесценцією полімеру (якщо така є), так і люмінесценцією спеціально введеного в полімер барвника з анізотропними молекулами, які орієнтуються довгою віссю вздовж напрямку розтягу плівки. Орієнтація отримується, як правило, неповною і залежить від ступеня розтягу. Мірою орієнтації є ступінь поляризації люмінесценції, що збуджується природним світлом і спостерігається в напрямку збудження.

Дещо більш складними методами можна досліджувати й інші деформації плівки, наприклад, двомірний плоский розтяг також важливий у технологічному відношенні. Аналогічну інформацію про часткову орієнтацію плівок можна отримати незалежним шляхом, вимірюючи ступінь дихроїзму плівки. Наявність двох різних способів експериментального дослідження підвищують достовірність висновків. За допомогою цих простих методів можна, наприклад, здійснювати технологічний контроль у виробництві полімерів.

У дисциплінах біологічного напряму не менш важливе значення мають методи добування та очищення дисперсних систем, розчинів високомолекулярних сполук. Важливе значення для дослідження біологічних систем мають інші спеціальні методи: інфрачервона спектроскопія, ядерний і протонний магнітний резонанс, рентгенографія. Поява та вдосконалення багатьох таких методів значною мірою стимулюються потребою біологічних дисциплін, перш за все біофізики, молекулярної біології і радіобіології [21, с. 65].

У дисципліні «Молекулярна біологія» визначними є фізичні методи дослідження структури й активності біомакромолекул (методи безпосереднього спостереження, рентгеноструктурний аналіз, дослідження структури макромолекул у розчині, методи дослідження одиночних макромолекул тощо). Найпотужнішим засобом аналізу складних білкових сумішей є мас-спектрометрія, принцип якої полягає в розділенні пучка заряджених частинок в електричному та

магнітному полі на окремі фракції з однаковим відношенням маси до заряду. Сучасні методи іонізації зразків дозволяють іонізувати й переводити в газову фазу великі органічні сполуки, у тому числі олігопетиди та білки [16, с. 357].

За допомогою електронних мікроскопів успішно вивчаються найдрібніші об'єкти живої і неживої природи. Методом рентгеноструктурного аналізу розшифрована складна структура молекул ДНК і ряду важливих білкових сполук, що містять величезну кількість атомів. Біопотенціали серця, мозку і м'язів надійно реєструються за допомогою чутливих фізичних пристроїв. Надзвичайно плідною для хімії та молекулярної біології виявився метод магнітного резонансу. Метод спектрального аналізу надійно служить людині вже багато десятиліть.

Багатообіцяючим є застосування лазерного випромінювання в природничих науках. У природничих науках знаходить місце не тільки вивчення принципу роботи лазера, але й застосування лазерного випромінювання для вивчення біологічних об'єктів, зокрема для вивчення явища дифракції світла, використання лазерного випромінювання для оцінки розмірів клітин тощо. Впровадження досягнень фізики в біологію йде дуже швидко і у всезростаючих масштабах. В результаті тісної взаємодії біології та фізики виникла і швидко розвивається нова перспективна галузь науки - біофізика. Знання фізичних законів і вміння їх застосовувати надає неоціненну допомогу дослідникам природничих дисциплін в їх практичній діяльності.

Унікальні властивості випромінювання лазерів дозволили використовувати їх в різних галузях науки і техніки, а також в побуті, починаючи з читання та запису компакт-дисків і закінчуючи дослідженнями в галузі керованого термоядерного синтезу. Лазерне випромінювання знайшло широке застосування у медицині і біології. Розвиток лазерної техніки дозволив сформувати великий науково-технічний напрямок взаємодії когерентного монохроматичного електромагнітного випромінювання з біологічними системами – лазерної медицини. Дослідження випромінювання лазера проводиться за такими напрямками, як виявлення процесів, що відбуваються в біологічній системі, та дослідження останньої під впливом випромінювання лазера; використання лазерів у медицині для діагностики та терапії; встановлення ступеня безпечності впливу його випромінювання на здоров'я людини. Сьогодні лазери успішно застосовуються в таких сферах, як хірургія, онкологія, офтальмологія,

терапія, стоматологія, урологія, гінекологія, щелепно-лицева хірургія, нейрохірургія, ендоскопія, фізіотерапія. Відкриття лазерного фотогідравлічного ефекту [14, с. 265] дало широкий спектр можливостей для пластичної хірургії. В онкології для лікування ран, виразок, шкіряних захворювань застосовують низькоінтенсивне лазерне випромінювання [18].

Дія низькоінтенсивних лазерів приводить до швидкого затухання гострих запальних явищ, стимулює репаративні (відновні) процеси, покращує мікроциркуляцію тканин, нормалізує загальний імунітет, підвищує резистентність (стійкість) організму. В даний час доведено, що низькоінтенсивне лазерне випромінювання володіє вираженою терапевтичною дією [11].

За допомогою лазерів можна вибірково збуджувати одне із власних коливань молекули. Виявляється, що при цьому молекули здатні вступати в реакції, які не можна або важко стимулювати звичайним нагріванням.

Отже, розвиток лазерної техніки дозволив використати взаємодії когерентного монохроматичного електромагнітного випромінювання з біологічними системами та лазерною медициною. Використання лазерів та їх випромінювання у біології та медицині не просто покращує якість роботи, а створює нові, не здійсненні іншим шляхом лікувальні та діагностичні можливості.

Як приклад, розглянемо методи анізотропії випромінювання атомів молекул у біологічних процесах. Методи експериментального перетворення природного світла в поляризоване і зміна типу поляризації можуть ґрунтуватися на будь-яких оптичних явищах, при яких світло так чи інакше поляризується або змінює поляризацію. Такі явища досить багаточисельні і різноманітні. Найбільш відомі: відбивання і заломлення на межі ізотропних діелектриків; подвійне заломлення кристалів; дихроїзм (залежність поглинання світла від його поляризації); розсіювання світла.

Важливе значення у хімічних і біологічних дослідженнях має поляризаційна люмінесценція. Цей метод широко застосовується для дослідження білкових молекул і їх вторинних структур. Завдяки дуже великих розмірів молекул вдається отримати поляризовану люмінесценцію мічених білкових молекул навіть у водних розчинах. Ця обставина багато в чому спрощує експериментальну сторону справи. Така методика застосовується і в галузі технології полімерів, наприклад, для вивчення закріплення молекул у процесі полімеризації, для вивчення колоїдів й інших об’єктів.

Поляризаційний метод корисний при вивченні в'язкості різних біологічних мікрооб'єктів, наприклад, плазми клітин. Люмінесцентна речовина (часто використовується барвник акридіновий помаранчевий), введена в клітину, знаходиться всередині в двох станах – розчиненому в рідкій частині цитоплазми і адсорбованому на внутріклітинних структурах. Можна визначити частку тієї або іншої фракції. Вимірявши поляризацію люмінесценції розчиненої фракції, підбирають такий розчинник (наприклад, суміш гліцерину з водою), в якому барвник має ту ж поляризацію що і в клітині. Якщо витриманий ряд необхідних умов (однакова температура, концентрація тощо), то можна сказати, що в'язкість підібраного розчинника дорівнює в'язкості цитоплазми [17, с. 175-176].

В біології і медицині методи люмінесцентного аналізу застосовуються вже давно. Тут головним чином використовуються методи якісного аналізу, за допомогою якого розв'язуються дуже важливі завдання. Особливо плідним є спостереження люмінесценції мікроскопічних об'єктів, що проводиться за допомогою люмінесцентного мікроскопа.

Перед люмінесцентним аналізом ставляться завдання швидкого виявлення і розпізнання бактерій і мікробів, зокрема хвороботворних, вивчення будови клітин рослин і тварин та їх змін при захворюваннях, спостереження за перебігом захворювання, за зміною клітин тканини організму і поширення меж ураженої ділянки.

В сільському господарстві люмінесцентний аналіз застосовується для контролю якості продуктів, особливо умови зберігання, а також для виявлення і встановлення діагнозу різних захворювань тварин і рослин тощо.

Таким чином, методи якісного аналізу придатні для роботи в області хімії, біології, медицини і сільського господарства, виявляються корисними і в судовій медицині, криміналістиці тощо, при врахуванні деяких специфічних властивостей. На сьогодні ці методи все більш упроваджуються в практику і вже отримали широке визнання і поширення.

Фізичні методи дослідження широкого застосування знайшли у сучасному фармацевтичному аналізі для якого характерні стрімкі темпи розвитку. Пріоритет у цьому процесі мають фізичні та фізико-хімічні методи аналізу, які називають інструментальними методами. Вимірюють густину, в'язкість, прозорість, показник заломлення, кут обертання площини поляризації оптично активних речовин, електропровідність та ін. До досягнень останнього часу можна

віднести впровадження в практику фармацевтичного аналізу всіх видів хроматографії, фотометричних методів. Все більше використовуються такі сучасні фізико-хімічні методи як ядерний магнітний резонанс (ЯМР), електронний парамагнітний резонанс (ЕПС) та ін. В сучасному фармацевтичному аналізі почали широко використовувати неводні розчинники (безводну оцтову кислоту, диметилформамід, діоксан та ін.). що дозволяє змінити основність та кислотність речовин, які аналізуються. Одержав розвиток мікрометод, зокрема крапельний метод аналізу, зручний для застосування при експрес-аналізіпри аптечному контролі якості ліків [22, с 33-34].

Фізичні методи фармацевтичного аналізу дозволяють з'ясувати [22, с 34-35]:

- агрегатний стан;
- забарвлення, запах;
- форму кристалів або вид аморфної речовини;
- розчинність;
- температуру плавлення або кипіння;
- температурний інтервал перегонки;
- густину;
- в'язкість;
- тиск водного розчину;
- показник заломлення розчину;
- кут обертання для оптично активних речовин;
- леткість, рухливість, горючість (рідин) та ін.

Для кращого розуміння та оцінки фізичних процесів, явищ, що відбуваються в природі нами розроблений посібник «Фізичні методи дослідження». Запропонований посібник (рис. 1) створений спільною працею авторів Національного педагогічного університету імені М.П. Драгоманова та Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського. Посібник призначений насамперед для студентів фізико-математичних інститутів (факультетів) та факультетів із спеціальностями: «Технологічна освіта», «Хімія» і «Біологія» III-IV рівнів акредитації. В основу посібника покладено програму з дисципліни «Фізика і фізичні методи дослідження» для хімічних спеціальностей. У посібнику зроблено спробу доступно викласти програмний матеріал відповідно до сучасного стану розвитку фізичних методів дослідження. При написані посібника ми виходили з того, що студенти I-III курсів уже мають достатній рівень знань з фізики, тому, щоб уникнути надмірного збільшення обсягу посібника, зупинилися тільки на

фізичних методах дослідження.

Фізичні методи дослідження – бурхливо розвиваються і вдосконалюються. Щороку у фізиці з'являються все нові й нові підходи до дослідження тих чи інших об'єктів природи. Тому ми не мали на меті охопити абсолютно всі методи фізичних досліджень, а вважали за необхідне зробити їх узагальнення і надати конкретний матеріал на прикладі найбільш характерних, що дадуть змогу студентам творчо підійти до засвоєння програмного матеріалу.

Рис. 1. Титульна та остання сторінки посібника «Фізичні методи дослідження»

Посібник складається зі вступу і п'яти розділів. У вступі «Методи пізнання» описано, наведено та подано класифікацію загальних методів пізнання явищ природи, методів пізнання у фізиці та фізичних методів дослідження. У першому розділі «Механіка» розглядаються такі методи дослідження речовини: зважування тіл на аналітичних терезах; опис рухів у механіці; вивчення руху рідини або газу; визначення в'язкості рідини; метод Лагранжа; визначення швидкості поширення звуку. Другий розділ «Молекулярна фізика і термодинаміка» має можливість ознайомити студентів з методами молекулярної фізики і термодинаміки; вимірювання питомої теплоємності тіл; зрідження газів; визначення вологості повітря. В

третьому розділі «Електрика і магнетизм» йдеться про методи визначення питомого заряду електрона; опору в електричному колі; електрорушійної сили джерела; електричного зварювання металів та дослідження квазістаціонарних струмів. У четвертий розділ «Оптика» ввійшли методи фотометрії; хвильової і геометричної оптики; оптики рухомих середовищ і теорії відносності; вимірювання теплового випромінювання тіл; дослідження корпускулярних властивостей світла. П'ятий розділ «Атомна і ядерна фізика» включає експериментальні методи фізики атомного ядра і елементарних частинок.

Отже, ми сподіваємося, що запропонований посібник допоможе студентам глибоко засвоїти теоретичний матеріал, свідомо і творчо підійти до застосування відповідних методів у практичних цілях при виконанні лабораторних досліджень.

З наведених прикладів бачимо, що тісний взаємозв'язок і переплетення суміжних наук - характерна риса розвитку науки в наш час. Практика показує, що найбільш цінні наукові дані добуваються на стику наук при найтіснішій їх взаємодії. При вивченні будь-якої природничої проблеми ми щоразу переконуємося в тому, що природа єдина, а поділ на науки є умовним. Ця обставина накладає особливий відбиток на викладання природничих дисциплін у школі та має враховуватися при підготовці майбутніх учителів хімії і біології. Викладачі різних дисциплін природничого циклу повинні будувати навчання таким чином, щоб у студентів в кінцевому підсумку складалася єдина несуперечлива картина світу.

Використовуючи фізичні методи дослідження для явищ як живої так і неживої природи можна стверджувати, що вони є обов'язковою умовою для пізнання наукових дисциплін як хімічного так і біологічного циклу. З наведених прикладів видно, що науковий рівень курсу фізики реалізується через наукові дослідження природничих дисциплін, які пов'язані з відповідними методами дослідження.

6.2. Використання елементів курсу теоретичної фізики у підготовці майбутніх учителів хімії і біології

Вивчення студентами хімічних і біологічних спеціальностей деяких питань курсу хімії передбачає опанування знань з теоретичного курсу фізики. Саме теоретичну основу курсу хімії складають такі розділи теоретичної фізики як квантова механіка та статистична фізика і термодинаміка. Квантова механіка допомагає у вивченні теорії атомів і молекул, реалізує теорію хімічного зв'язку, розкриває природу

хімічних реакцій, відображає хвильові властивості електрона (рівняння Шредінгера), дає наукове тлумачення корпускулярно-хвильового дуалізму тощо. Курс статистичної фізики і термодинаміки допомагає студентам набути знань про статистичні характеристики та закономірності термодинамічних процесів: статистичне означення ентропії, третє начало термодинаміки (теплова теорема Нернста), характеристичні функції та термодинамічні потенціали тощо.

Раніше зазначалося, що курс фізики для даних спеціальностей повинен бути простий і доступний, але в той час і не спрощеним, достатньо повним для відображення сутності фізичних, хімічних і біологічних теорій та процесів. В курсі загальної фізики в основному накопичуються знання про основні фізичні явища, фундаментальні досліди, основні закони. Хоча в ньому і вивчаються елементи фізичної теорії, але в цілому у курсі здійснюється так званий феноменологічний підхід, тобто робиться наголос на самі явища, показ їх на дослідах, вивчення окремих законів. Використання елементів курсу теоретичної фізики допоможе студентам вияснити деякі важливі методологічні і світоглядні питання фізики та встановити взаємозв'язок фундаментальних фізичних теорій у хімічних і біологічних науках.

Фізичні теорії розглядаються у працях А.І. Ансельма, Г.О. Бугаєнка, А.С. Василєвського, Є.Ф. Венгера, Л.Д. Ландау, Є.М. Ліфшиця, О.В. Мельничука, В.В. Мултановського, М.І. Шута, І.Р. Юхновського та ін.

Як зазначає ряд науковців та авторів підручників і посібників з теоретичних курсів фізики, що теорія є однією і керуючою формою знання для всіх наук. В епоху суспільного розвитку здійснюється пізнання людиною навколишнього світу за рахунок наукової теорії, яка служить для використання, примноження та передачі знань наступним поколінням.

М.В. Міцкевич [9, с. 5] зазначає: «із досліду, експерименту, ми черпаємо крихти наших знань і дослідом перевіряємо теоретичні висновки і припущення. Одначе без теорії нам просто нічого було б перевіряти, ні застосовувати на практиці. Теорія свого роду мозок фізики, як, втім, і будь-якої іншої науки. Її завдання – коротко і ясно записати (сформулювати) те, що продиктував експеримент, і зробити це так, щоб одразу стали видні всі наслідки, щоб було зрозуміло, яких деталей не вистачає, які нові досліди необхідні».

В.В. Мултановський у посібнику [12, с. 6-7] наводить три функції теорії:

1. Використання наявних знань людиною в практичній діяльності.

Практика висуває багато задач, розв'язання яких не міститься у накопичених емпіричних фактах, хоча їх дуже багато і вони різноманітні. Теорія містить в собі відповідь на будь-яку задачу, яка відноситься до області її застосування.

2. Примноження, здобуток знань. Проведення експериментальних досліджень, які тісно пов'язані з теорією.

3. Передача, накопичених людством, знань наступним поколінням. Знання цілеспрямовано передаються при навчанні під час викладення теорії в тому чи іншому навчальному курсі.

Вивчаючи курси загальної хімії, фізичної і колоїдної хімії, студенти знайомляться з теорією хімічного зв'язку і будовою молекул на основі теорії Шредінгера. Деякі розрахунки абсолютних значень ентропії і сталих рівноваги проводяться на основі постулату Планка та ін. [20, с. 3]. Ми розглянемо тільки деякі висновки, до яких приводить викладання деяких питань теоретичної фізики для формування фундаментальних знань та природничо-наукової картини світу у майбутніх учителів хімії і біології.

Розглядаючи деякі елементи квантової механіки в курсі загальної фізики, ми звертаємо увагу студентів на те, що закони руху мікрочастинок встановлюються квантовою механікою. Квантова механіка дозволяє зрозуміти і розрахувати будь-які явища на атомно-молекулярному рівні, починаючи з будови електронних оболонок атомів, процесів випромінювання і поглинання світла атомами і закінчуючи властивостями атомів і молекул, їх хімічними взаємодіями. На відміну від координатно-імпульсного способу задання стану в класичній механіці, в квантовій механіці стан задається деякою функцією просторових координат і часу. Цю функцію називають хвильовою і позначають $\psi(x, y, z, t)$. Тобто, замість рівняння Ньютона, яке часто використовується в якості основного закону для визначення стану конкретних систем, застосовують рівняння Шредінгера [20, с. 10-11]. Наприклад, так як електрон виявляє властивості хвилі, то його стан в атомі можна описати за допомогою хвильової функції ψ, яка знаходиться із розв'язку рівняння Шредінгера:

$$i\hbar\frac{\psi(r,t)}{\partial t} = \vec{H}\psi(r,t), \qquad (1)$$

де $\vec{H}$ - оператор повної енергії (гамільтоніан), який дорівнює:

$$\overrightarrow{H} = -\frac{\mathrm{h}^2}{2m}\nabla^2 + U(x,y,z).$$

$$i\mathrm{h}\frac{\partial\psi}{\partial t} = -\frac{\mathrm{h}^2}{2m}\nabla^2\psi + U(x,y,z)\psi, \qquad (2)$$

де $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ - оператор Лапласа; $\mathrm{h} = \frac{h}{2\pi}$ - стала Планка; m - маса мікрочастинки; $U(x,y,z)$ - потенціальна енергія мікрочастинки; x, y, z - координати мікрочастинки.

Рівняння (1) і (2) представляють загальне рівняння Шредінгера. Основною особливістю загального рівняння Шредінгера є наявність уявної одиниці перед похідною $\frac{\partial\psi}{\partial t}$. Внаслідок уявності, коефіцієнт перед $\frac{\partial\psi}{\partial t}$ у загальному рівнянні Шредінгера, будучи рівнянням першого порядку за часом, може мати періодичні розв'язки [6, с. 25].

У 1927 році були отримані точні розв'язки рівняння Шредінгера для атома водню (Гідрогену). Дані розв'язки дають можливість з'ясувати поняття атомної орбіталі, квантових чисел і квантування енергії, які є фундаментальними поняттями у сучасній теорії валентності. Звертаємо увагу студентів, що рівняння Шредінгера для електрона в атомі водню буде мати вигляд:

$$\nabla^2\psi + \frac{2m}{\mathrm{h}^2}(E + U(x,y,z))\psi = 0, \qquad (3)$$

де E - величина енергії для будь-якого певного значення ψ; $U(x,y,z) = -\frac{e^2}{r}$ - потенціальна енергія електрона; r - відстань між частинками (електроном і протоном).

Для багатоелектронних атомів користуються наближеними розв'язками рівняння Шредінгера, які забезпечили обґрунтування квантових чисел. Таким чином, хвильова функція, що описує рух електрона, залежить від трьох квантових чисел: n, l, m. Щоб ця функція була скінченна, неперервна і однозначна, всі квантові числа повинні бути цілими [20, с. 18]. Звертаємо увагу майбутніх учителів хімії і біології на те, що існує четверте квантове число – спінове s, але воно не входить до рівняння Шредінгера.

При розгляді даного питання важливо звернути увагу студентів ще й на те, що енергія частинки, для якої справедливі закони квантової механіки може приймати тільки ряд строго певних значень, які характеризуються цілим коефіцієнтом n. У цьому випадку говоримо, що енергія електрона, який рухається відносно ядра, квантується. При цьому параметр n може бути ототожнений з головним квантовим числом атома в теорії Бора:

$$E = -\frac{2\pi^2 me^4}{h^2}\frac{1}{n^2}. \quad (4)$$

Так як енергія електрона в атомі водню визначається головним квантовим числом n і не залежить від інших квантових чисел, то може бути декілька станів електрона з однаковою енергією. Такі стани називаються виродженими. Виродження зникає під дією на електрон в атомі зовнішнього електричного і магнітного полів [15, с. 45; 20, с. 19]. Введення головного квантового числа і передбачення про квантування енергії є одним із основних постулатів теорії Бора. В квантовій механіці це положення служить необхідною умовою для розв'язку радіальної частини хвильового рівняння Шредінгера [20, с. 18].

Як зазначалося вище, рівняння Шредінгера дає можливість з'ясування поняття атомної орбіталі. Одноелектронні хвильові функції ψ для атома водню часто називають атомними орбіталями. Вони описують просторовий розподіл електронної густини навколо ядра. Стан атома або молекули, коли всі електрони знаходяться на найнижчому допустимому рівні, називається основним або незбудженим [20, с. 18]. Також необхідно зазначити, що кожній орбіталі відповідає певний набір квантових чисел; для атомів залишається справедливим принцип Паулі; на кожній орбіталі може перебувати не більше двох електронів з протилежно напрямленими спінами полів [15, с. 89].

Користуючись кантовими підходами, ми можемо довести принцип Паулі, який говорить, що два електрони не можуть перебувати в одному квантовому стані. Для цього ми скористаємося антисиметричною хвильовою функцією. Як відомо, що симетрія або антисиметрія залежить від природи частинок. Ті частинки, спін в яких напівцілий, називаються ферміонами і описуються антисиметричними хвильовими функціями. Електрон як частинка відноситься до ферміонів. Антисиметрична хвильова функція для двох частинок:

$$\psi_{i,k}^{\Phi}\left(\vec{r}_1, \vec{r}_2\right) = \varphi_i\left(\vec{r}_1\right)\varphi_k\left(\vec{r}_2\right) - \varphi_i\left(\vec{r}_2\right)\varphi_k\left(\vec{r}_1\right). \quad (5)$$

Припустимо, що два ферміони (електрони) перебувають в одному квантовому стані, наприклад *i*-му, то їх хвильова функція буде мати вигляд:

$$\psi_{i,i}^{\Phi}\left(\vec{r}_1,\vec{r}_2\right)=\varphi_i\left(\vec{r}_1\right)\varphi_i\left(\vec{r}_2\right)-\varphi_i\left(\vec{r}_2\right)\varphi_i\left(\vec{r}_1\right)=0\,. \qquad (6)$$

З виразу (6) видно, що $(\equiv 0)$ за означенням такого стану не існує. Отже, немає двох ферміонів, які б могли перебувати в одному квантовому стані.

У вище названих курсах хімії важливе значення для майбутніх учителів хімії і біології також мають місце елементи статистичної фізики і термодинаміки. В курсі «Фізична і колоїдна хімія» під час розгляду розділів «Основи термодинаміки», «Термохімія», «Хімічна рівновага», «Фазова рівновага і фізико-хімічний аналіз» студенти розглядають рівняння Гіббса-Гельмгольца, закони термодинаміки (статистичний характер другого закону термодинаміки), оборотні і необоротні процеси, термодинамічні характеристичні функції (внутрішня енергія, ентропія, вільна енергія, ентальпія) і потенціали (термодинамічний потенціал Гіббса, великий термодинамічний потенціал Гіббса) та у курсі «Загальна хімія» в розділі «Енергетика і направленість хімічних процесів» мають місце питання, пов'язані з термодинамічними характеристичними функціями та потенціалами.

Як приклад, розглянемо поняття ентропії, яке має широке значення для хімічних і біологічних процесів. Наголошуємо, що дане поняття є виключно статистичним поняттям, оскільки визначається логарифмом числа мікростанів, що реалізують рівноважний стан:

$$S = k\ln W\,, \qquad (7)$$

де k - стала Больцмана; $W=\dfrac{\Delta\Gamma}{h^s}$ - число мікростанів в об'ємі фазового простору.

Дуже важливо відзначити, що поняття ентропії строго можна ввести лише для ізольованої макроскопічної системи, що перебуває в стані термодинамічної рівноваги. Таким чином, поняття ентропії є виключно статистичним поняттям, тобто таким, яке можна застосовувати лише для систем, що складаються з дуже великого числа частинок. Так як число можливих рівноважних мікростанів W завжди більше одиниці, то і ентропія системи теж завжди додатна ($W \geq 1$, то $S \geq 0$).

Звертаємо увагу студентів і на те, що ентропія є мірою інформації і мірою хаосу в системі. Якщо інформація про систему (координати та

проекції імпульсів всіх частинок системи будуть відомі з максимально можливою точністю) буде максимально можливою, то ентропія системи буде мінімальною. І навпаки, якщо інформація про систему (координати та проекції імпульсів всіх частинок системи будуть відомі з меншою точністю) буде мінімально можливою, то ентропія системи буде максимальною. Таким чином, зростання ентропії призводить до зменшення інформації про мікростан системи, при цьому максимальна ентропія відповідає мінімальній інформації.

При зростанні ентропії невизначеність координат та проекцій імпульсів частинок системи збільшується, фазова точка системи може рухатись в більшому за величиною об'ємі фазового простору $\Delta\Gamma$, тобто хаос в системі при цьому зростає.

На основі кількісних співвідношень можна показати, що ентропія є мірою хаосу в системі. Для цього можна скористатися виразом статичного інтегралу z для ідеального газу, що знаходиться в об'ємі V і містить N частинок та виразом, який дає визначення вільної енергії системи F:

$$F = -\theta \ln z . \tag{8}$$

Після деяких математичних перетворень отримаємо вираз для вільної енергії:

$$F = -NkT\left(\ln\frac{V}{N} + \frac{3}{2}\ln T + \ln\left(\frac{2\pi mk}{h^2}\right)^{\frac{3}{2}} + 1 \right). \tag{9}$$

Маючи вираз для вільної енергії системи, легко знайти ентропію системи:

$$S = -\frac{\partial F}{\partial T} = Nk\left(\ln\frac{V}{N} + \frac{3}{2}\ln T + \ln\left(\frac{2\pi mk}{h^2}\right)^{\frac{3}{2}} + \frac{5}{2} \right). \tag{10}$$

Вираз (10) дійсно демонструє зв'язок ентропії з мірою хаосу, оскільки з цієї формули видно, що ентропія зростає, коли зростає об'єм V (збільшуються невизначеності координат частинок), а також коли зростає температура системи T (збільшуються невизначеності проекцій імпульсів частинок). З виразу (10) видно, що ентропія є величиною адитивною (оскільки ентропія у цій формулі пропорційна числу частинок N, а концентрація газу $\frac{N}{V}$ залишається постійною).

Студентам наголошуємо, ентропія виступає як критерій напряму

процесу і як критерій рівноваги, що має важливе значення для хімічних і біологічних систем. Із підвищенням температури ентропія зростає тому що збільшується хаотичність рухів. Зростання ентропії спостерігається при плавленні і сублімації кристалу, при кипінні рідини, тому що в цих процесах зменшується упорядкованість системи. З підвищенням температури посилюється рух частинок, послаблюються зв'язки між атомами в молекулах, відбувається їх дезінтеграція (реакції розкладання) [5, с. 44]. Чим більша ентропія, тим стійкіша система. Це стосується не тільки хімічних процесів, але й усіх інших.

Щодо біологічних об'єктів, то це є відкриті системи. Кожний живий об'єкт бере з навколишнього середовища поживні речовини, кисень тощо, які мають низьку величину ентропії, і віддає в середовище продукти розкладання – речовини з більш високими величинами ентропії. Отже, живий організм не можна розглядати як ізольовану систему, а тільки в єдності з навколишнім середовищем. Якщо організм ізолювати від середовища, то відбуватимуться тільки процеси, які супроводжуватимуться зростанням ентропії, і організм загине [5, с. 50].

Незалежно від того, містить ізольована система в собі живий організм чи в ній його немає, в окремих частинах цієї системи може зменшуватися ентропія, а в окремих – збільшуватися. Це не суперечить другому закону термодинаміки. У цілому ентропія системи буде сталою для оборотних процесів, або збільшуватиметься – для необоротних. Також необхідно зазначити, що живий організм не перебуває в рівновазі з середовищем [5, с. 50].

Згідно з статистичним означенням (6) ентропія буде максимальною в рівноважному стані, а це значить, що в будь-якому нерівноважному стані ентропія буде меншою, ніж в стані термодинамічної рівноваги. У зв'язку з тим, що замкнута система спонтанно, в силу теплового руху, приходить до рівноважного стану, то ентропія нерівноважних систем у процесі встановлення рівноваги зростає. Таким чином, ми підводимо студентів до визначення закону зростання ентропії: для всіх замкнутих систем, які реалізуються в природі, ентропія ніколи не зменшується – вона або зростає, або, в граничному випадку, залишається постійною. У відповідності з цим, всі процеси, які відбуваються з макроскопічними тілами, прийнято поділяти на необоротні і оборотні. Студентам акцентуємо увагу, якщо ентропія в ході якогось процесу зберігається сталою, то процес є оборотним, якщо зростає – процес необоротний. Зрозуміло, що повністю оборотний процес є фізичною

ідеалізацією. Всі реальні процеси в природі можуть бути оборотними лише з тією чи іншою точністю.

Розглядаючи другий принцип термодинаміки, студентам наголошуємо, що це загальний закон природи, дія якого поширюється на різні системи. Незважаючи на його різні формулювання, всі вони вважаються рівноцінними. Другий принцип термодинаміки має статистичний характер і застосовується тільки для систем, які складаються з великої кількості частинок. Статистичний характер другого принципу термодинаміки випливає із зв'язку з ентропією, яка як функція стану системи має статистичний зміст.

Тенденція до зростання ентропії визначає напрямок всіх різноманітних процесів в природі. Вони протікають так, що повна ентропія системи збільшується. Це є закон зростання ентропії і він доповнює закон збереження енергії. Закон зростання ентропії вказує напрямок потоку тепла або певної хімічної реакції, він визначає, куди рухатися молекулам стиснутого газу при наявності вільного простору [9, с. 75].

На відміну від першого принципу термодинаміки, який має однакову форму запису, як для оборотних процесів, так для необоротних – другий принцип термодинаміки має різні форми запису:

- для оборотних процесів:

$$dS = \frac{\delta Q}{T}; \tag{11}$$

- для необоротних процесів:

$$dS > \frac{\delta Q}{T}; \tag{12}$$

- об'єднаний:

$$dS \geq \frac{\delta Q}{T}, \tag{13}$$

де знак рівності відповідає оборотнім процесам, знак нерівності – необоротним.

Звертаємо увагу студентів на те, що в оборотних процесах другий закон термодинаміки виступає як закон існування й збереження ентропії, для необоротних – це закон існування й зростання ентропії.

Важливим для студентів буде і те, що на відміну від першого закону термодинаміки, який стосується будь-яких малих і великих систем, другий закон, який має статистичний характер, не можна

застосовувати до мікросистем і до процесів космічного масштабу. Неприпустима абсолютизація та екстраполяція другого закону на Всесвіт привели до хибної гіпотези про скінченність Всесвіту, що суперечить даним науки [5, с. 50-51].

Переходячи до систем великого розміру, ми наштовхуємося на межі застосування другого принципу термодинаміки. Всі знання про термодинамічні рівноважні стани і про наближення ентропії до максимуму справедливі для обмежених систем. Виникають сумніви в тому, чи застосовні ці закономірності до протяжних систем, а тим більше до нескінченного Всесвіту.

З закону зростання ентропії слідує, якщо в початковий момент часу ізольована система перебувала в нерівноважному стані, то найбільш імовірним результатом в наступний момент часу буде перехід в більш рівноважний стан з більшою ентропією. Отже, вважаючи Всесвіт ізольованою системою, можна повторити висновок, зроблений Р. Клаузіусом в 1865 році, що Всесвіт прямує до стану термодинамічної рівноваги, тобто прямує до стану, в якому зникнуть будь-які теплові потоки інтенсивних величин, зникне життя.

Критику цієї теорії дав Ф. Енгельс в «Діалектиці природи» [10, с. 362-363]. Критика Ф. Енгельса базується на тому, що Всесвіт не можна вважати ізольованою системою і не можна застосовувати закон збереження ентропії.

На завершення розглянутого питання звертаємо увагу студентів на те, що теоретична і експериментальна фізика довела статистичний характер другого начала термодинаміки, яке було абсолютизоване Клаузіусом.

Для хімічних процесів важливе значення має вільна енергія системи. Дане поняття у статисичній фізиці і термодинаміці ми вводимо, користуючись виразом (8), а більш детально розглядаємо при виченні термодинамічних характеристичних функцій. Під вільною енергією розуміють ту частину енергії, яку можна перевести в корисну роботу. Вираз для вільної енергії можна представити у вигляді:

$$F = U - TS\,. \tag{14}$$

Продифиренціювавши вираз (14)

$$dF = dU - TdS - SdT \tag{15}$$

та скориставшись виразом основної термодинамічної тотожності

$$TdS = dU + \delta W \tag{16}$$

і виділивши із роботи δW роботу по розширенню газу

$$\delta W = pdV + \sum_{i=1}^{n}{}' A_i da_i \qquad (17)$$

(штрих у сумі $\sum_{i=1}^{n}{}' A_i da_i$ означає, що з неї виключено роботу, пов'язану з розширенням газу, тобто цей вираз включає роботу всіх сил, крім сил тиску) після деяких математичних перетворень отримаємо:

$$dF = -SdT - pdV - \sum_{i=1}^{n}{}' A_i da_i \,. \qquad (18)$$

Розглянувши ізотермічний процес, коли $T = const$, маємо:

$$-\left(dF\right)_T = pdV + \sum_{i=1}^{n}{}' A_i da_i = \delta W \,. \qquad (19)$$

З цієї формули можемо зробити висновок, що в оборотних (рівноважних) процесах зменшення вільної енергії дорівнює максимально корисній роботі. Тобто, в ізотермічних процесах робота виконується системою не за рахунок зменшення внутрішньої енергії U, а за рахунок зменшення вільної енергії системи F. В ізотермічних процесах вільна енергія відіграє таку ж роль як і внутрішня енергія при адіабатичних процесах. Під час хімічних реакцій, як правило, єдиною формою роботи є робота розширення. Але для ряду процесів характерні й інші форми роботи – робота збільшення поверхні, електрична робота в гальванічному елементі тощо [5, с. 45].

Для необоротних процесів

$$dF \le -SdT - pdV - \sum_{i=1}^{n}{}' A_i da_i \,. \qquad (20)$$

Якщо має місце довільний ізотермічний процес, то

$$-\left(dF\right)_T \le pdV + \sum_{i=1}^{n}{}' A_i da_i = \delta W \,. \qquad (21)$$

Це означає, що зменшення вільної енергії визначає максимальну ізотермічну роботу системи.

Якщо в системі підтримувати постійну температуру, об'єм й інші зовнішні параметри a_i, то $dF \le 0$. Відповідно в таких умовах вільна енергія або стала, або зменшується до тих пір, поки система не перейде в стан термодинамічної рівноваги. В стані стійкої рівноваги вільна енергія бути мати мінімальне значення. Все це зумовлює широке застосування цієї характеристичної функції для вивчення

хімічних реакцій в рідкому середовищі, електрохімічних явищах, фазових переходах тощо. Як тільки вільна енергія системи досягає екстремального значення, реакція або процес переходу речовини з одного агрегатного стану в інший припиняється. Автори [2, с. 92] зазначають, що математичне дослідження цих питань дозволяє знайти практично важливі закономірності, наприклад, рівноважне відношення мас речовин, що реагують і т.д.

Важливим є те, що в довільних процесах вільна енергія безперервно зменшується, а там, де довільний процес утруднений, його виникненню сприяє людина. Як приклад, можна навести використання енергії природного палива, яка з хімічної форми перетворюється в теплову.

Привертає увагу у хімічних процесах поняття ентальпії як важливої термодинамічної (характеристичної) функції. Ентальпія – це більш повна характеристика енергії термодинамічної системи: її можна використовувати для опису як відкритих так і замкнених систем, у той час як внутрішня енергія застосовується лише для замкнутих систем [1, с. 64].

Візьмемо за незалежні змінні S (ентропія), p (тиск), a (зовнішній параметр) і покажемо, що такому вибору буде відповідати характеристична функція ентальпія [19, с. 82].

$$H = U + pV. \tag{22}$$

Для того, щоб отримати вираз для повного диференціалу ентальпії, додамо повний диференціал до співвідношення (22) від pV.

$$dH = TdS - pdV - \sum_{i=1}^{n}{}' A_i da_i + pdV + Vdp \tag{23}$$

$$dH = TdS + Vdp - \sum_{i=1}^{n}{}' A_i da_i \tag{24}$$

Можна записати:

$$T = \left(\frac{\partial H}{\partial S}\right)_{p,a};\ V = \left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)_{S,a};\ A_i = -\left(\frac{\partial H}{\partial a_i}\right)_{S,p}. \tag{25}$$

Розглянемо такий ізобаричний процес, в якому зовнішні параметри не змінюються. Тоді

$$dH = TdS = \delta Q. \tag{26}$$

З виразу (26) видно, що зміна ентальпії в такому процесі чисельно дорівнює кількості теплоти. Саме тому іноді ентальпію називають

тепловою функцією. З виразу (26) також видно, що при певних умовах, кількість теплоти може бути повним диференціалом.

Звертаємо увагу студентів на те, що будучи функцією стану, ентальпія має всі властивості внутрішньої енергії:

1) певному фізичному стану системи відповідає литше одне єдине зщначення її ентальпії;

2) будучи виразом енергії термодинамічної системи, ентальпія є екстенсивною величиною, тобто пропорційна кількості частинок в системі (масі);

3) зміна ентальпії термодинамічної системи не залежить від шляху «переходу» процесу і характеризує лише результат зміни стану системи;

4) сумарна зміна ентальпії системи у результаті замкнутого процесу дорівнює нулю;

5) зміна ентальпії системи в результаті процесу, що складається з n послідовних стадій, дорівнює сумі зміни її ентальпії на всіх стадіях процесу;

6) ентальпія ідеального газу є однозначною функцією температури.

Ми розглянули деякі приклади використання елементів теоретичної фізики на заняттях із загального курсу фізики у майбутніх учителів хімії і біології. Використання елементів теоретичної фізики на заняттях сприяє оволодінню основними законами теорії, які сформульовані мовою математики та зробити відповідні висновки, що ведуть до збагачення природничо-науковими знаннями, розвивають мислення студентів та інтенсифікують навчальний процес. Такий підхід дозволяє доповнити вивчення матеріальної структури, що складає теоретичну базу хімічних і біологічних процесів.

Список використаних джерел

1. Ахметов Б.В. Физическая и коллоидная химия: Учеб. для техникумов / Б.В. Ахметов, Ю.П. Новиченко, В.И. Чапурин. – Л.: Химия, 1986. – 320 с.

2. Василевский А.С. Статистическая физика и термодинамика: Учеб. пособие для студентов физ.-мат. фак. пед. ин-тов / А.С. Василевский, В.В. Мултановский. – М.: Просвещение, 1985. – 256 с.

3. Гончаренко С. У. Український педагогічний словник / С. У. Гончаренко ; НАПН України, Ін-т пед. освіти і освіти дорослих. – Київ : Либідь, 1997. – 376 с.

4. Жаровский Ф.Г. Аналитическая химия /Ф.Г. Жаровский,

А.Т. Пилипенко, И.В. Пятницкий. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Вища школа, 1982. – 544 с.

5. Каданер Л.И. Физическая и коллоидная химия / Л.И. Каданер. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Вища школа, 1983. – 287 с.

6. Квантова механіка (Конспект лекцій): Посібник для студентів вищих навчальних педагогічних закладів освіти / Автори-укладачі: А.Ф. Недибалюк, А.М. Сільвейстр, В.І. Солоненко. – Вінниця: ТОВ Фірма «Планер», 2008. – 90 с.

7. Крешков А.П. Основы аналитической химии. Физические и физико-химические (инструментальные) методы анализа. Книга третья / А.П. Крешков. – Изд. 2-е, перераб. – М.: «Химия», 1977. – 488 с.

8. Лаврова И.В. Курс физики. Учебн. пос. для студ. биолого-хим. фак. пед. институтов. /И.В. Лаврова. – М.: Просвещение, 1981. – 256 с.

9. Линднер Г. Картины современной физики / Г. Линднер. Пер. с нем. Ю.Г. Рудого. Предисл. Н.В. Мицкевича. – М.: «Мир», 1977. – 272 с.

10.Маркс К. Сочинения: Издания второе. Т. 20 / К. Маркс, Ф. Энгельс. - М.: Госполитиздат, 1961. – 827 с.

11.Мельник С. А Лазерне випромінювання в біології і медицині [Електронний ресурс] / Г. С. Мельник. – Режим доступу : file:///C:/Users/Адмін/Downloads/ptp_2013_3_13.pdf - Назва з екрану.

12.Мултановский В.В. Курс теоретической физики. Том 1. Классическая механика. Основы специальной теории относительности. Релятивистская механика / В.В. Мултановский. – М.: Просвещение, 1988. – 304 с.

13.Педагогика : Большая современная энциклопедия / Сост. Е. С. Рапацевич. – Минск : Соврем. слово, 2005. – 720 с.

14.Плетньов С. Д. Лазери в клінічній медицині / С. Д. Плетньов – М. : Медицина, 1981. – 432 с.

15.Романова Н.В. Загальна та неорганічна хімія. Підручник для студентів вищих навчальних закладів /Н.В. Романова. – Київ; Ірпінь: ВТФ «Перун», 1988. – 480 с.

16.Сиволоб А.В. Молекулярна біологія: підручник /А.В. Сиволоб. – К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2008. – 384 с.

17.Сиротюк В.Д. Фізичні методи дослідження /Сиротюк В.Д., Сільвейстр А.М., Моклюк М.О. – К.: НПУ імені М.П. Драгоманова, - 2013. – 261 с.

18.Стадник В. Я. Применение лазерного излучения в экспериментальной и клинической онкологи / В. Я. Стадник,

Н. Ф. Гамалея // Экспериментальная онкология. – 1989. – Т. II. – №1. – С. 12-17.

19.Статистична фізика. (Конспект лекцій): Посібник для студентів вищих навчальних педагогічних закладів освіти. / Автори-укладачі: А.Ф. Недибалюк, В.І. Солоненко, А.М. Сільвейстр. - Вінниця: ТОВ «Планер», 2007. – 193 с.

20.Стромберг А.Г. Физическая химия: Учеб. пособие для вузов / А.Г. Стромберг, Д.П. Семченко. Под ред. А.Г. Стромберга. – М.: Высшая школа, 1073. – 480 с.

21.Усков І.О. Колоїдна хімія з основами фізичної хімії високомолекулярних сполук: Підручник /І.О. Усков, Б.В. Єременко, С.С. Пелішенко, В.В. Нижник. – К.: Вища шк., 1995, - 142 с.

22.Фармацевтична хімія. Конспект лекцій для студентів за напрямом підготовки 6.051401 «Біотехнологія» денної та заочної форм навчання. / Уклад.: Шульга С.І., Попова І.В., Сімурова Н.В., Зінченко Н.Ю. – К.: НУХТ, 2013. – 151с.

РОЗДІЛ 7. ДОМАШНІЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ ЯК ЗАСІБ АКТИВІЗАЦІЇ ПІЗНАВАЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ УЧНІВ З ФІЗИКИ

Моклюк М.О.,
кандидат педагогічних наук, доцент

7.1. Роль і місце домашніх навчальних експериментів під час вивчення фізики та умови їх проведення

Важливу роль у формуванні пізнавального інтересу до предмета «Фізика» має навчальний фізичний експеримент. Він є не тільки необхідною умовою досягнення усвідомлених знань з фізики, а й полегшує розуміння перебігу фізичних явищ і процесів, сприяє розвитку спостережливості, умінь пояснювати спостережувані явища, використовуючи для цього теоретичні знання, встановлювати причинно-наслідкові зв'язки.

Під час вивчення фізики широко використовують самостійний навчальний експеримент, який має ті ж цілі, що і демонстраційний. Він формує в учнів практичні вміння та вміння раціонального використання навчального часу; розвиває самостійність, дає можливість проведення робіт дослідницького характеру.

Навчальний експеримент у вивченні фізики має на меті сприяти вирішенню основних освітніх завдань [30]:

- засвоєння основ фізичної науки, знайомство з її методами дослідження і оволодіння спеціальними вміннями і навичками;
- формування і розвиток здібностей учнів, їх пізнавальної та розумової діяльності;
- формування світогляду учнів і природничо-наукової картини світу в їхній свідомості;
- здійснення трудового, морального, екологічного виховання; всебічний розвиток особистості тощо.

Як уже зазначалося навчальний фізичний експеримент можна поділяють на такі види експериментальної діяльності: демонстраційний експеримент, лабораторні досліди, фізичний практикум, домашній експеримент і спостереження, віртуальний експеримент.

Найменш дослідженими і описаними серед них є домашній експеримент та спостереження. Тому в подальшому розглянемо їх роль та місце в системі навчального фізичного експерименту.

Під домашніми експериментами ми розуміємо найпростіші самостійні експерименти, які учні виконують в домашніх умовах, без

прямих методичних вказівок учителя.

Виконання домашніх експериментів і спостережень відіграє важливу роль для формування особистості учня.

Так у праці О.А. Барильник-Куракової та Н.Ю. Клименко [5] описано домашній фізичний експеримент як засіб розвитку самостійності і творчості учнів загальноосвітньої школи.

О.В. Слободяник [45] розглядає домашні експериментальні завдання як засіб активізації самостійної пізнавальної діяльності студентів.

С.Ю. Соколова [46] описує домашній фізичний експеримент як фактор формування наукового світогляду учнів.

О.В. Шевчук [48] зазначає можливості використання домашнього фізичного експерименту у контексті фахової підготовки майбутніх учителів фізики.

Як вид самостійної роботи важливими є домашні досліди і спостереження, під час виконання яких учні користуються домашніми предметами. У цьому випадку учні мають змогу експериментувати з приладами, які є у вжитку вдома та саморобними. Як правило, це прилади та пристрої, що випускаються промисловістю і використовуються у побуті [47].

На основі цього домашній фізичний експеримент класифікують в залежності від використовуваного обладнання та устаткування [20]:

а) експеримент, у якому використовуються предмети домашнього ужитку та підручні матеріали (мірна склянка, рулетка, побутові ваги тощо);

б) експеримент, у якому використовуються саморобні прилади (підйомні ваги, електроскоп та інших);

в) експеримент, що виконується на приладах, які випущенні промисловістю.

Організація спостережень та домашніх експериментів є однією із найбільш складних у всьому навчальному фізичному експерименті. Особливості їх постановки полягають у наступному. До таких спостережень відносяться фізичні явища, які у класі здійснити практично неможливо. Наприклад, спостереження за кольорами неба під час сходу та заходу Сонця, сонячні затемнення, веселка, випадання роси, іній тощо.

Також доцільними є постановка домашніх дослідів або спостережень, коли розглядаються фізичні явища на великих відстанях: рівномірний чи нерівномірний рух автомобіля, потяга, рух тіл під кутом до горизонту, розсіювання теплого диму з димоходів,

вплив течії річки та рух човна, коливні процеси навколо, процес замерзання води, кипіння води, явище змочування та незмочування, відбивання зображень предметів у водоймищах, інтерференційні плями на воді, падіння зір, спостереження за рухом комет (наприклад, комета Галлея) тощо.

Вміла організація домашнього експерименту сприяє розвитку інтересу учнів до фізики, розширенню їх кругозору, більш усвідомленому засвоєнню фізичних знань. Надаючи допомогу учням в організації домашніх експериментів, вчителю необхідно попередити батьків, щоб уникнути небажаних наслідків під час проведення дослідів в домашніх умовах. Застосування домашнього експерименту сприяє залученню учнів до самостійної роботи з використанням не тільки підручників, а й додаткової, довідкової літератури.

Цікаві досліди можна зрідка проводити на уроках, але частіше використовувати на позакласних заняттях з метою формування і розвитку інтересу учнів до фізики. Однак не можна ні в якому разі перетворювати фізичні досліди в фокуси, навіть під час їх демонстрації в основній школі. Тому, застосовуючи навчальний експеримент у позакласній роботі, необхідно широко використовувати всі види експерименту, включаючи і спостереження.

Навчальний фізичний експеримент являє собою систему, в якій використовується принцип поступового підвищення самостійності учнів: від демонстраційних дослідів до проведення лабораторних дослідів під керівництвом викладача, а далі до самостійної роботи у виконанні робіт фізичного практикуму, і звичайно, вінцем самостійності є домашній експеримент - робота над висунутої учителем гіпотезою [7], [17].

Фізичний експеримент розвиває мислення, розумову активність учнів. Часто експеримент стає джерелом формованих уявлень, без яких не може протікати продуктивна розумова діяльність. У розумовому розвитку провідну роль відіграє теорія, але в єдності з експериментом, з практикою.

Завдання домашнього експерименту: доводити вивчення кожного фізичного поняття до усвідомленого і дієвого сприйняття його самим учням [12].

Завдання для домашніх експериментів слід підбирати такі, які є інформаційно цінними для вивчення та розуміння фізики, були б цікавими за змістом, простими у виконанні, не вимагали б від учнів майже ніяких матеріальних витрат і в той же час легко піддавалися контролю учителя.

Роботи учнів повинні містити в собі найчастіше прояв власної ініціативи, творчості, пошуків нового. Учні повинні не просто оволодіти знаннями і вміннями, а й навчитися вирішувати проблеми, пов'язані із застосуванням знань предметної області в конкретних життєвих ситуаціях. Домашній експеримент забезпечує послідовне повторення навчального матеріалу, а також його цілісне і більш глибоке осмислення учнями. З їх числа слід виключити технічно складні завдання, а також потрібно врахувати необхідність використання тільки побутового обладнання і підручних засобів. Рівень самостійності у виконанні домашнього практикуму вище, ніж для фронтальних лабораторних робіт. Будь-яка самостійна робота виконується учнями за завданням, під керівництвом вчителя, але без його безпосередньої участі. Однак, вчитель або надає усну підтримку (коментарі, консультації тощо), або надає супровід для виконання домашніх експериментів за допомогою дидактичних матеріалів.

Часто учням на перший погляд здається, що пропоновані домашні досліди складні у виконанні, але їх необхідно переконати в тому, що використовуючи найпростіші побутові прилади і фантазію вчителя і учнів можна провести не тільки такі досліди, але і ряд інших. Для підтвердження сказаного пропонуються кілька описів виконання запропонованих дослідів.

На початку навчального року вчитель складає тематику домашніх спостережень та дослідів. Після чого кожному учню пропонується вибрати одну дві теми. Протягом тижня вони продумують технологію проведення спостереження чи досліду, одержують консультацію в учителя, батьків, фахівців. Учитель визначає за якою схемою складається звіт.

Спостереження та домашні досліди тривають певний час, а отже потребують ведення щоденника спостереження. Узагальнена інформація оформляється у вигляді звіту, реферату, узагальнюючих таблиць про домашні досліди і спостереження. Звіт є обов’язковим і оцінюється вчителем.

У ході виконання експериментів в учнів формуються дослідницькі вміння [8]: визначати мету експерименту, висувати гіпотези, планувати експеримент, підбирати прилади, вміння збирати експериментальну установку, спостерігати, вимірювати, обчислювати похибки, аналізувати результат. Особливе місце у цьому випадку займають домашні експерименти та спостереження, які мають ряд переваг. Це відсутність жорсткого обмеження за часом, велика комфортність у проведенні дослідів, учні повністю самостійно

виконують завдання, займаються творчістю. Однією з головних вимог, що ставляться до домашнього експерименту є його безпека, мінімальні матеріальні витрати, простота обладнання, цінність у вивченні і розумінні фізики, цікавий зміст .

Для ефективної організації експериментальної діяльності учнів необхідно дотримуватися ряду загальних педагогічних умов [29].

Перша й головна умова - це виховання в учнів бажання вчитися.

Друга умова полягає в тому, що коли ми навчаємо учнів чогось нового, то вони разом з тим повинні мати відповідну підготовку.

Третя умова - не можна перевантажувати учня навчанням, здатність учня засвоювати нові знання має свої межі, необхідний індивідуальний підхід до дозування і ступеня складності завдань.

Четверта умова - потрібно виробити чітку програму, за якою буде вестися навчання.

Методика організації домашнього експерименту повинна базуватися на викликанні і підтримуванні постійного і стійкого інтересу учнів до фізики. Для формування початкового інтересу добре ставити в класі і задавати додому цікаві досліди, але стійкий інтерес може забезпечити застосування трьох основних дитячих занять: ігри, практичної діяльності та постійного процесу розумової діяльності. Найкращий результат дає виконання домашніх експериментальних завдань за дотримання наступних методичних умов [9]:

- ретельно продуманий розподіл завдань за темами програми,
- систематичне застосування поряд з іншими видами домашньої роботи учнів,
- обов'язковість і усвідомленість виконання завдань,
- структуроване виконання домашнього досліду і спостереження.
- Також учитель має розуміти і врахувати, що [4]:
- домашні експериментальні завдання не замінюють, а доповнюють і розширюють навчальний експеримент у класі;
- проведення домашніх експериментальних робіт повинно бути підготовленим і організованим;
- в домашню роботу учнів краще включати роботи, які призначені для вивчення нового матеріалу, тобто такі, що передують вивченню теми, а також для закріплення і повторення;
- велику роль відіграє формулювання завдань і обговорення результатів проведеної учнями роботи, які розкривають логічний зв'язок виконання домашніх завдань експериментального характеру.

Для оптимізації процесу навчання, щоб не виникало непродуктивних витрат часу на уроках необхідно мати комплект

розмножених описів домашніх дослідів і спостережень, домашніх лабораторних робіт для кожного учня.

Завдання можуть бути запропоновані для виконання фронтально, деякі завдання або кілька завдань з теми можуть бути задані групам учнів. Наприклад, під час вивчення теми: «Тиск твердих тіл, рідин і газів» можна розділити на 3 групи за темами «Закон Паскаля», «Атмосферний тиск», «Закон Архімеда і плавання тіл». Керівників призначає вчитель. Керівники груп разом з учителем відбирають домашні досліди, які ілюструють цей навчальний матеріал, розподіляють між учнями, хто яке завдання виконує, враховуючи їх бажання. До уроку кожна група приносить своє обладнання, підготовлене вдома і відтворює їх на уроці. Учень, який проводить дослід, розповідає порядок його перебігу, демонструє хід експерименту і пояснює його результати. Керівнику групи дістається більше відповідальна частина. Він повинен розподілити навчальний матеріал для кожного учня, узагальнити результати всіх дослідів, зробити загальні висновки. Хорошим стимулом і допомогою у виконанні завдань стануть індивідуальні та колективні консультації вчителя.

Для усвідомлення місця і значення домашніх експериментальних робіт в загальній системі домашніх завдань можна виділити основні види робіт, які учень виконує вдома в певному поєднанні [18]:

- робота з текстом підручника;
- виконання завдань експериментального характеру;
- розв’язування задач;
- читання науково-популярної літератури;
- робота з довідковою літературою;
- підготовка до фронтальної лабораторної роботи в класі;
- виконання креслень, схем, малюнків, графіків;
- підготовка повідомлень і доповідей.

Між цими видами навчальної роботи існує певний зв'язок. Домашні експериментальні роботи учнів пов'язані з усіма цими видами робіт.

Важливу роль відіграють емоційні стимули, які посилюють ефект застосування домашніх дослідів і спостережень та активізують пізнавальний інтерес і мислення учнів.

Перед тим як приступити до виконання домашнього експерименту або спостереження необхідно дати учням порядок їх планування [4]:

- формулювання цілей спостереження (для чого ми спостерігаємо?);
- обрати об'єкти спостереження (що спостерігаємо?);

- дослідити умови спостереження (де спостерігаємо?);
- скласти план спостереження (як спостерігаємо?);
- обрати спосіб фіксування інформації, отриманої в ході спостереження (чим спостерігаємо?);
- проведення спостереження, що супроводжується фіксуванням отриманих даних обраним способом (спостерігаємо!!!);
- проаналізувати дані, отримані в ході спостереження (що вийшло?);
- сформулювати висновки (підтвердження або спростовування гіпотези?).

Отже, можна стверджувати, що використання домашніх експериментів є одним з можливих факторів підвищення інтересу до фізики. Вчитель виступає в якості координатора, який організовує і стимулює пізнавальну діяльність учнів, підтримує в них інтерес до предмета і мотивацію на для здобуття нових знань. Уміло підібрані матеріали сприяють розвитку мислення і формуванню інформаційної та комунікативної культуру учнів, інтелектуальних здібностей, пізнавального інтересу, забезпечують індивідуальний стиль навчальної діяльності.

На завершення варто зазначити, що домашні досліди і спостереження з фізики, проведені самими учнями:

1) дають можливість школі розширити область зв'язку теорії з практикою;

2) розвивають в учнів інтерес до фізики й техніки;

3) розвивають в учнів творчу думку й спроможність до винахідництва;

4) привчають учнів до самостійної дослідницької роботи;

5) виробляють цінні якості: спостережливість, увагу, наполегливість, акуратність;

6) доповнюють класні лабораторні роботи тим матеріалом, що ніяк не може бути виконані у класі (ряд тривалих спостережень. спостереження природних явищ тощо);

7) привчають учнів до свідомої, цілеспрямованої праці.

Але, необхідно відзначити, що домашній експеримент не єдиний спосіб підвищення інтересу до предмета. Поєднання різноманітних форм і методів роботи сприяють підвищенню творчої активності учнів, стимулюють їх інтерес до вивчення фізичної науки, дають міцні знання, вміння і навички в усіх галузях навчання фізики.

Але, необхідно відзначити, що домашній експеримент не єдиний спосіб підвищення інтересу до предмета. Поєднання різноманітних

форм і методів роботи сприяють підвищенню творчої активності учнів, стимулюють їх інтерес до вивчення фізичної науки, дають міцні знання, вміння і навички в усіх галузях навчання фізики.

7.2. Методичні особливості проведення домашніх експериментів та спостережень з фізики

Як вже зазначалось важливе значення в організації навчання фізики має домашній фізичний експеримент. Практика показує, що домашні досліди і спостереження учні виконують з великим ентузіазмом.

Значення домашніх експериментальних робіт виражається в наступних положеннях [50-56]:

- домашній фізичний експеримент є засобом для більш глибокого засвоєння навчального матеріалу, який вивчається в класі;
- домашній фізичний експеримент є одним із засобів розвитку пізнавального інтересу та активізації навчальної діяльності учнів;
- домашні експериментальні роботи учнів дають можливість добре зв'язати теорію з практикою, з повсякденним життям;
- домашні експериментальні роботи виконуються з використанням предметів домашнього вжитку і підручних матеріали, які доступні всім учням.

Найважливішою відмінною ознакою домашніх експериментальних робіт є те, що вони здійснюються з предметами домашнього вжитку та підручними матеріалами. Також його можна проводити з простими матеріалами: відра, шланги, пластикові пляшки, соломинки, мильні плівки і бульбашки, повітряні кулі тощо. Важливо, що він проводиться з великим інтересом самими учнями: справжній, реально проведений дослід має ні з чим незрівнянну силу переконання і наочності.

Особливе значення домашні досліди і спостереження мають для розвитку пізнавального інтересу, пізнавальних і творчих здібностей школярів, для формування у них експериментальних умінь і навичок. Виконання домашніх дослідів і спостережень відіграє особливо важливу роль в підлітковому віці, так як в цей період перебудовується характер навчальної діяльності учня. Школяра не завжди задовольняє те, що відповідь на його питання є в підручнику. У нього з'являється потреба отримати цю відповідь з життєвого досвіду, спостережень за навколишньою дійсністю, з результатів власних експериментів.

Домашній фізичний експеримент дуже важливий для виховання дослідника. За допомогою найпростіших приладів в домашніх умовах можна провести багато досліджень. Також можна розвивати інтерес в учнів до фізичної науки. Для цього важливою в першу чергу є роль

батьків. Без їх підтримки організувати цю роботу буде важко. Дитині завжди поруч потрібен добрий наставник, порадник, однодумець, який підкаже, допоможе у важких ситуаціях. А вдома - це батьки, які зацікавлені в творчому розвитку своєї дитини. Ну і дуже важливі поради вчителя, який проконсультує учня з багатьох питань щодо проведення домашніх дослідів та спостережень. У дітей дуже велика фантазія, важливо їх підтримати і направити в правильне русло. Підтвердженням цього є важлива, з нашої точки зору, думка німецького педагога XIX століття А. Дістервега: «Учень повинен сприймати істину не як готовий результат, а повинен її відкрити. Учитель керує цією експедицією відкриттів». А домашній експеримент, крім радості відкриття, ще й допоможе згуртувати родину.

Перед тим як розпочати виконання домашнього експерименту або спостереження необхідно дати учням порядок їх планування.

Пропонуємо порядок проведення *спостереження*:

1. Формулюємо цілі спостереження (Для чого ми спостерігаємо?)
2. Вибираємо об'єкти спостереження (Що спостерігаємо?)
3. Досліджуємо умови спостереження (Де спостерігаємо?)
4. Складаємо план спостереження (Як спостерігаємо?)
5. Вибираємо спосіб фіксування інформації, одержуваної в ході спостереження (Чим спостерігаємо?)
6. Проводимо власне спостереження, що супроводжується фіксуванням отриманої інформації обраним способом (Спостерігаємо !!!)
7. Аналізуємо отримані в ході спостереження дані (Що вийшло?)
8. Формулюємо висновки.

Для здійснення домашнього експерименту пропонуємо наступну послідовність:

1. Формулюємо цілі експерименту (Вирішити, що потрібно зробити і для чого?).
2. Формулюємо гіпотези експерименту (Що припускаємо отримати?).
3. Виявляємо умови, необхідні для досягнення поставленої мети (Усунути всі перешкоди).
4. Проектуємо експеримент (Уявний експеримент).
5. Відбираємо необхідні прилади та матеріали (Знайти, виготовити!).
6. Збираємо установку (Зібрати, перевірити).
7. Проводимо досліди в запланованій послідовності,

супроводжуємо їх фіксуванням отриманих результатів (Зарисовуємо, заповнюємо таблиці).

8. Обробляємо результати вимірювань (Обчислюємо, будуємо графіки).

9. Аналізуємо результати експерименту (Перевіряємо, порівнюємо, з'ясовуємо причини).

10. Формулюємо висновки (Узагальнюємо, підтверджуй або спростовував свою гіпотезу).

Завдання можуть бути запропоновані для виконання

а) фронтально,

б) деякі завдання або кілька завдань з теми можуть бути задані групам учнів.

Наприклад, під час вивчення теплових явищ у 8 класі розглядається тема «Пароутворення і конденсація». Вчитель учням може запропонувати наступний домашній експеримент.

Завдання. Встановлення залежності швидкості випаровування від площі вільної поверхні рідини

1. Наповніть пробірку (невелику пляшку чи пляшечку) водою і вилийте на піднос чи пласку тарілку.

2. Знову наповніть ту ж саму ємкість водою і поставте поруч із тарілкою в спокійному місці.

3. Запишіть дату початку досліду.

4. Коли вода на тарілці випарується, знову запишіть дату і зазначте час. Подивіться, яка частина води випарувалась з пробірки (пляшки).

5. Зробіть висновки.

В результаті виконання даного завдання в учнів сформуються чіткі уявлення про особливості перебігу процесу випаровування. Також учням можна запропонувати ряд інших завдань:

1. Відкрийте на короткий час флакон з парфумами (одеколоном), що ви відчули? Поясніть поширення запаху парфумів та інших пахучих речовин з точки зору молекулярної будови речовини.

2. Визначте і запишіть межі вимірювання і ціну поділки мірних кухлів, медичного шприца, дитячих пляшечок для молока. Визначте об’єм посуду (чашки, склянки, тарілки), якою ви користуєтеся.

3.Запропонуйте метод визначення діаметра ниток і тонкого дроту, користуючись міліметровою лінійкою і круглим олівцем. Користуючись цим методом, визначте діаметр голки, зубочистки або цвяха.

4.Визначте товщину аркуша паперу в підручнику за допомогою лінійки.

5. У циліндричний або плоский прозорий флакон з-під одеколону (клею) налийте слабкий розчин крохмалю або суміші води з графітом (від олівця). Помістіть цей флакон між електричною лампочкою, яка світиться і оком. Між лампочкою і флаконом помістіть шматок картону або чорного паперу з невеликим отвором. Поспостерігайте за рухом однієї, двох частинок і опишіть їх рух.

Наступний домашній експеримент «Спостереження дифузії» варто запропонувати учням під час вивчення розділу «Фізика як природнича наука. Пізнання природи» у 7 класі (рис. 1).

Обладнання: стакан, цукровий пісок, тепла вода, ложка.

Хід роботи:

1. Насипати в склянку чайну ложку цукрового піску.

2. Налити теплу воду, вливати обережно, не перемішуючи її з цукром.

Рис.1. Домашній експеримент «Спостереження дифузії»

3. Через деякий час на дні чарки можна побачити шар помутнілої рідини. Це цукровий сироп.

4. Спробувати воду на смак.

5. Описати спостереження.

6. Зробити висновки.

Питання: Для чого ми використовували теплу воду, а не холодну?

Під час вивчення розділу «Взаємодія тіл» у 7 класі можна запропонувати учням наступний домашній експеримент «Густина речовини» (рис. 2).

Обладнання: стакан з водою, сире яйце, сіль, ложка.

Хід роботи:

1. Опустити в склянку з водою сире яйце.

2. Поспостерігати явище.
3. Насипати в стакан 5-6 ложок солі.
4. Знову опустити яйце, в уже підсолену воду.
5. Описати спостереження.
6. Зробити висновки.

Питання: Чому після додавання солі яйце початок спливати?

Рис.2. Домашній експеримент «Густина речовини»

Наступний домашній експеримент про утримання стакану з водою варто запропонувати учням під час вивчення теми «Тиск рідин і газів» у 7 класі (рис. 3).

Обладнання: стакан з водою, аркуш паперу.

Хід роботи:

1. Налити воду в стакан до краю.
2. Накрити склянку з водою білим аркушем паперу.
3. Обережно перевернути склянку з листом над раковиною.
4. Акуратно опустити руку з листа, тримати лише за стакан.

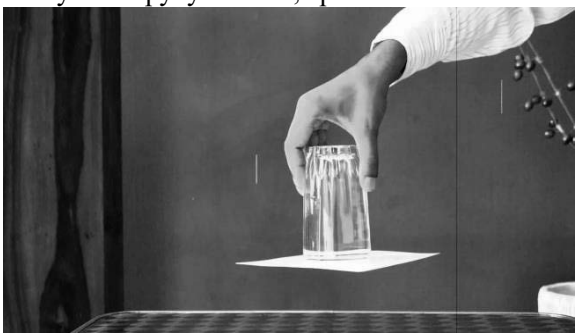


Рис.3. Домашній експеримент «Стакан з водою»

5. Описати спостереження.
6. Зробити висновки.

Питання: Чому вода не витікає?

Під час вивчення розділу «Механічна робота і енергія» у 7 класі можна запропонувати учням домашній експеримент побудови мосту для іграшкових автомобілів (рис. 4).

Обладнання: папір (щільний) або картон, елементи будівельного конструктора (можна замінити наприклад книгами), стаканчик від йогурту, квасоля, іграшкові автомобілі.

Хід роботи:

1. Складемо опори моста і з'єднаємо їх мостом з листка паперу (або тонкого картону).

2. Встановимо на папері стаканчик з-під йогурту і подивимося, скільки квасолин ми зможемо опустити в стаканчик, перш ніж наш міст завалиться.

3. Зробимо міст з такого ж листа паперу, але складемо його гармошкою.

4. Скільки тепер квасолин він може витримати.

5. Описати спостереження.

6. Зробити висновки.

Питання: Який міст надійніше? Чому?

Отже, якщо вчителі будуть використовувати домашні експериментальні завдання в своїй роботі, то це позитивно відіб'ється на процесі навчання школярів фізики, а також на їх загальному розвитку. Результатом навчання буде розвиток різностороннього, оригінального мислення.

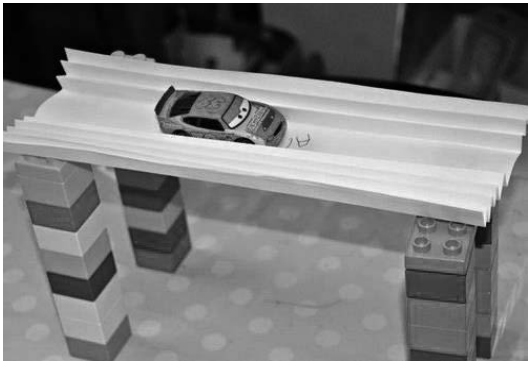


Рис.4. Домашній експеримент «Міст для автомобіля»

А це – шлях до розвитку високої інтелектуальної активності школярів… Учні зможуть не лише по-справжньому зрозуміти багато процесів, що відбуваються навколо нього, але й застосовувати

отримані знання і досвід у своєму житті.

7.3. Методика організації та проведення домашніх лабораторних робіт з фізики

Сутність і мета сучасної освіти полягає у розвитку загальних здібностей особистості і її універсальних способів діяльності засобами навчальних предметів. Все більшої значущості у цьому випадку набуває роль вчителя як організатора діяльності учнів в школі.

У зв'язку з цим особливої актуальності набуває самостійна навчальна діяльність учнів, особливо пов'язана з експериментальним методом пізнання.

Дійсно, роль фізичного експерименту не можна недооцінювати, адже за допомогою його в учнів формуються експериментальні вміння: вони вчаться визначати цілі експерименту, ставити перед собою завдання і досягати їх вирішення, висувати гіпотези і доводити їх або ж спростовувати, також вони вчаться збирати установки, спостерігати і обґрунтовувати з наукової точки зору явища, що відбуваються. Це може допомогти учням в житті пояснювати те, що відбувається.

Можливість застосування домашніх лабораторних робіт в процесі навчання фізики на першому етапі в середній школі виявляється вельми доцільною.

Особливо це актуально в ситуації скорочення годин у шкільній програмі на навчання фізики, причому обсяг матеріалу не зменшується. Учителям необхідно за менший час дати таку саму кількість знань, що і раніше. На жаль, найчастіше практикуючі вчителі скорочують саме експериментальну частину.

Фізичні експерименти, що існують в сучасній в школі, діляться на демонстраційний експеримент, фронтальні лабораторні роботи і фізичний практикум [30], [41]. І лише деякі методисти виділяють окремою групою домашні експериментальні роботи. Ми ж вважаємо за необхідне проводити домашні лабораторні роботи з перших років навчання фізики.

Домашні експериментальні роботи - найпростіший самостійний експеримент, який виконується учнями вдома, поза школою, без безпосереднього контролю з боку вчителя за ходом роботи. Завдання робіт даного виду - це формування вміння спостерігати фізичні явища в природі і в домашніх умовах, виконувати вимірювання за допомогою вимірювальних засобів, використовуваних в побуті, формування інтересу до експерименту і вивчення фізики. Даний вид робіт може

бути виконаний учнями з допомогу приладів, які вони зробили самостійно, за допомогою предметів домашнього вжитку, або ж за допомогою приладів, які випускаються промисловістю.

Відмінною рисою домашніх лабораторних робіт є те, що вчитель під час складання завдань не повинен враховувати те, що різні учні виконують завдання з різною швидкістю. Це дає можливість дати всім учням однакові завдання.

Лабораторна домашня робота може бути дана вчителем:

1) в ході вивчення теми;

2) в кінці вивчення теми;

3) в якості контрольної роботи за темами, які вимагають перевірки не вміння вирішувати завдання, а знання теорії та вміння застосовувати її на практиці, в такому випадку теоретична частина повинна бути виключена з опису роботи;

4) фронтально, коли всьому класу дається один експеримент;

5) варіативно, коли кожному учню або групам учнів дають різні досліди.

У процесі виконання роботи учні повинні не тільки провести і описати експеримент, але і зробити висновки, виходячи з знань, які вони мають з даної теми. Якщо учні правильно засвоїли матеріал, то у них не виникне проблем зробити висновки зі спостережуваного явища.

Домашні лабораторні роботи можна розділити на роботи, в яких [36], [40]:

- головним видом діяльності є спостереження оточуючих нас явищ;
- необхідно провести вимірювання за допомогою приладів, які використовуються в повсякденному житті;
- необхідно провести вимірювання за допомогою приладів, які учні повинні зробити своїми руками.

Домашній експеримент може носити також дослідницький характер. У цьому випадку учням пропонується створити певні умови, протягом певного проміжку часу спостерігати за тим, що відбувається і зробити висновки про побачене після закінчення цього часу.

Роль самостійної роботи при виконанні домашніх лабораторних робіт дуже велика. Вони сприяють появі інтересу учнів до предмету, що, як уже говорилося, важливо. Тому вчитель повинен значну увагу приділити саме цьому виду робіт при складанні навчальних планів, куди самостійні роботи повинні постійно включатися [47]. Самостійна робота сформує в учнів уміння вирішувати проблеми без будь-чиєї допомоги, що допоможе їм у подальшому житті.

Домашні лабораторні роботи повинні відповідати особливим

вимогам. Всі експерименти, які підбираються для проведення учнями вдома, не повинні жодним чином завдати шкоди учням, отже, однією з головних вимог є безпека. У домашніх лабораторних роботах не повинні використовуватися джерела підвищеної небезпеки. У разі роботи з нагрітими об'єктами в описі лабораторної роботи необхідно вказувати, що вона повинна проводитися тільки в присутності батьків.

Оскільки лабораторні роботи проводяться вдома, вони повинні виконуватися не на якомусь складному обладнанні, а за допомогою предметів, які є в кожному будинку, тобто учень не повинен нести будь-яких матеріальних витрат.

Хоча домашня лабораторна робота повинна бути проста у виконанні, вона несе в собі велике теоретичне навантаження. Опис лабораторної роботи має містити не тільки послідовне виконання, але і теорію, яка допоможе учням не тільки пояснити побачене явище, але і сприятиме повторенню вивченого матеріалу.

Звіти з виконання роботи повинні бути письмово оформлені. Про форму звітів вчитель повинен заздалегідь поговорити з учнями, наприклад, він може зажадати від учнів такого оформлення, яке вони роблять при виконанні фронтальних лабораторних робіт.

Після закінчення роботи кожен студент складає звіт за схемою:

1) дата, найменування і номер роботи;

2) перелік обладнання;

3) схема або замальовка установки;

4) запис ціни поділки шкали вимірювального приладу;

5) таблиця результатів вимірювань і обчислень заповнюється у процесі виконання роботи;

6) висновки.

Такий вид звітів допоможе вчителю оцінити роботу кожного учня. Результати робіт повинні бути обговорені учителем з класом, це допоможе учням розібратися в питаннях, які їм були незрозумілі при виконанні.

Недбале оформлення звіту, виправлення вже написаного неприпустимо.

Таким чином, експерименти, які вчитель вибирає для домашніх лабораторних робіт, повинні відповідати наступним вимогам [36]:

1. Безпека.
2. Простота виконання.
3. Відсутність матеріальних витрат.
4. Звіти по роботах.
5. Обговорення результатів.

Проведення домашніх лабораторних робіт обумовлено також психологічним розвитком дітей в підлітковому віці.

Підлітковий період за традиційною класифікацією - це період життя від 11-12 до 14-16 років. Цей період найкоротший з усіх, але саме в цей період людина робить великий ривок у своєму розвитку. Саме в цей період вони стають особистістю [4].

Необхідно також враховувати розвиток вищих психічних функцій в цьому віці, а саме: пам'яті, уваги, сприйняття і мислення в цілому. Розвиток цих функцій багато в чому залежить від мотивації навчання. У підлітковому віці переважає теоретичне мислення, за допомогою якого дитина вчиться встановлювати зв'язки.

Нижче наведемо декілька інструкцій для лабораторних робіт, виконання яких дає можливість учням в домашніх умовах визначити характеристики їх руху та виконаних дій.

Лабораторна робота №

Визначення пройденого шляху з дому до школи

Мета роботи: визначити відстань від будинку до школи.

Обладнання: сантиметрова стрічка.

Хід роботи

1. Вибрати маршрут руху.

2. Приблизно обчислити за допомогою рулетки або сантиметрової стрічки довжину одного кроку (l_0).

3. Обчислити кількість кроків під час руху за вибраним маршрутом (N).

4. Обчислити довжину шляху: $l = l_0 \cdot N$, в сантиметрах, метрах, кілометрах та заповнити таблицю.

№	l_0, см	N, шт.	l, см	l, м	l, км

5. Зробити висновки.

Лабораторна робота №

Визначення середньої швидкості руху людини

Мета роботи: навчитися розраховувати середню швидкість, яку розвиває людина під час ходьби.

Обладнання: рулетка або вимірювальна стрічка, секундомір.

Хід роботи

Повторіть теоретичний матеріал з теми «Середня швидкість».

1. Зробіть 10-20 кроків в приміщенні. Число кроків - n.

2. Виміряйте за допомогою рулетки або вимірювальної стрічки

довжину цього відрізка шляху. Довжина шляху - *l*. (Вимірювання виконуйте в СІ).

3. За кількістю кроків і виміряним шляхом розрахуйте довжину свого кроку за формулою $l_0=l/n$.

4. Виберіть маршрут свого руху, наприклад зі школи додому. Виконайте креслення маршруту свого руху на карті. Можна використовувати карту з будь-якої пошукової системи. Створіть файл з маршрутом.

5. Розрахуйте кількість кроків, які ви робите, щоб подолати цей шлях. Число кроків - *N*.

6. Виміряйте час свого руху за цією траєкторією. Час русі *t* виміряйте за допомогою годинника (секундоміра) і запишіть у секундах.

7. Знаючи довжину свого кроку, число кроків на пройдений шлях, визначте довжину шляху по формулі $L=l_0 \cdot N$

8. Знайдіть середню швидкість, яку ви розвивали під час ходи за формулою $\upsilon=L/t$.

9. Результати вимірювань занесіть в таблицю.

№	*l*, м	*n*, шт.	l_0, см	*N*, шт.	*t*, с	*L*, м	υ, м/с

10. Зробити висновки.

Лабораторна робота №
Обчислення роботи, яку виконує учень під час підйому з першого на другий поверх школи або будинку.

Мета: визначити величину роботи, яку виконує учень під час підйому з першого на другий поверх школи або будинку.

Обладнання: рулетка.

Хід роботи:

1. За допомогою рулетки виміряти висоту однієї сходинки: h_0.

2. Визначити кількість сходинок: *n*

3. Визначити висоту сходів: $h= h_0 \cdot n$.

4. Якщо це можливо, визначити масу свого тіла, якщо немає, взяти приблизні дані: *m*, кг.

5. Обчислити силу ваги свого тіла: $P=mg$.

6. Визначити роботу: $A = Ph$.

7. Заповнити таблицю:

h_0, м	n, шт.	h, м	m, кг	P, Н	A, Дж

8. Зробити висновки.

Лабораторна робота №

Визначення потужності, яку учень розвиває, поступово піднімаючись повільно і швидко з першого на другий поверх.

Мета: визначити величину потужності, що розвивається студентом під час підйому з першого на другий поверх школи або будинку.

Обладнання: дані з попередньої роботи, секундомір.

Хід роботи:

1. Використовуючи дані попередньої лабораторної роботи визначити роботу, що здійснюються під час підйому сходами: A, Дж.

2. За допомогою секундоміра визначити час, витрачений на повільне підняття сходами: t_1, с.

3. За допомогою секундоміра визначити час, витрачений на швидке підняття сходами: t_2, с.

4. Обчислити потужність в обох випадках: N_1, N_2, $N_1=A/t_1$, $N_2=A/t_2$.

5. Результати записати в таблицю:

A, Дж	t_1, с	t_2, с	N_1, Вт	N_2, Вт

6. Зробити висновки.

Під час виконання такого типу робіт учні поглиблюють свої знання, повторюють вивчений на уроках матеріал розвивають пам'ять і мислення, вчаться аналізувати ідею і результати експериментів, самостійно роблять висновки. Роботи викликають у учнів почуття подиву, захоплення і задоволення від самостійно зробленого наукового експерименту, а отримані в результаті цього позитивні емоції надовго закріплюють в пам'яті потрібну інформацію. Усі пропоновані роботи пов'язані з життям дитини, дають можливість навчитися давати пояснення оточуючим його явищам природи.

Таким чином, застосування під час вивчення фізики домашніх лабораторних робіт активно впливає на вироблення практико-орієнтованих умінь учнів і підвищує їх інтерес до предмету.

7.4. Виготовлення саморобних приладів та методика їх використання під час проведення домашніх експериментів з фізики

Учителі фізики завжди приділяли особливу увагу поповненню кабінетів необхідним обладнанням. Особливо гострою ця проблема стала нині, коли кабінети шкіл рідко забезпечуються новим обладнанням, а старе поступово виходить з ладу. Виготовляючи прилади для кабінету фізики, учителі віддають перевагу тим, які надійні в роботі й пов'язані з основними напрямками науково-технічного прогресу.

Питанню про виготовлення та використання саморобних приладів постійно приділялася належна увага вчених та вчителів-практиків. Також присвячена значна кількість методичних посібників та статей у науково-методичній літературі. Але воно залишається актуальним і на сьогоднішній день [7].

Необхідність подальшого вивчення та розробки питання про саморобні прилади в навчальному процесі обумовлена тим, що на даний час склалися нові умови з забезпеченням загальноосвітніх шкіл фізичними приладами, можливості для використання сучасних матеріалів та обладнання для виготовлення таких приладів.

Часто виникає питання: чи варто займатися виготовленням саморобних приладів з фізики? Дійсно, в забезпеченні кабінетів фізики саморобні прилади не грають вирішальної ролі. Проте відмовлятися від виготовлення саморобних приладів було б неправильно. Як би добре не працювала промисловість навчально-оглядових посібників, її відставання від зростаючих потреб школи неминуче. Тому перед вчителем фізики постає питання вдосконалення приладів, що вже існують і конструювання нових. Крім того, слід підкреслити, що робота для виготовленням приладів відкриває можливості для вирішення цілого ряду завдань виховного характеру. Виготовляючи обладнання, учень не може не думати над тим, чи не можна змінити або спростити конструкцію приладу і одночасно удосконалити його так, щоб при мінімально витрачених матеріалах і конструктивних засобах досягнути кращих результатів [33].

Саморобні прилади в кабінеті фізики завжди займали і будуть займатимуть чільне місце. І хоч такі прилади офіційно не визнаються і не входять до жодної групи класифікації засобів навчання, але їх виготовленню творчо працюючі вчителі приділяють значну увагу.

Курс фізики є важливою науковою основою підготовки учнів до праці у сфері матеріального виробництва. Тому вчитель фізики

повинен допомогти учням не лише глибоко й міцно засвоїти основний навчальний матеріал, й навчити їх застосовувати здобуті знання на практиці, тобто сформувати в них необхідні практичні уміння і навички.

До саморобних приладів висувають, досить високі вимоги: практична цінність, бездоганна робота, естетичний, «заводський» вигляд. При їх виготовленні необхідно здійснювати зв'язок з виробництвом, отримувати технічну допомогу, виконувати складні операції на заводських верстатах. Це сприятиме тому, що саморобні прилади відповідатимуть вищезазначеним вимогам.

Особливістю методики виготовлення фізичного обладнання учнями на позакласних заняттях і в домашніх умовах є застосування таких методів навчання, які сприяють швидкому й свідомому засвоєнню ними наукових знань, формуванню у них стійких практичних навичок і вмінь. Формування практичних, загальнотрудових та професійних вмінь і навичок є одним з головних завдань навчання і виховання молоді. Допомогти учневі в оволодінні відповідними уміннями і навичками, повна реалізація його можливостей ключове завдання шкільної освіти.

Підкреслюючи важливість роботи з виготовлення фізичного обладнання і роль цього процесу в розвитку пізнавальних інтересів слід мати на увазі, що для учнів основний інтерес полягає не у володінні готовою істиною, а у її пошуках, в творчому подоланні труднощів на шляху до опанування істини. При роботі над саморобними приладами постійно виникає необхідність в творчому подоланні перешкод, створюються ситуації, при яких ці перешкоди змушують учнів, які працюють над приладами, мобілізовувати всі свої здібності, усю винахідливість, знання на пошук істини.

Робота з виготовлення саморобних приладів для учнів дуже важлива, як засіб виховання, як основа формування в них практичних умінь та навичок, як засіб розвитку їх конструкторських і практичних здібностей. В той же час ця діяльність дає можливість постійно покращувати і удосконалювати обладнання кабінету фізики, поповнювати кабінет приладами. Виготовлення саморобних приладів ще є потужним важелем вдосконалення демонстраційного експерименту з фізики, вдосконалення методики викладання фізики [7].

Розробка саморобних приладів дає можливість учителю залучити окремих учнів до елементів технічної творчості, дати їм можливість «відчути» фізику руками. Шкільна фізика в дослідах з такими

приладами як би стає ближчою до життя, до побутових умов, до практики. Учні починають виразніше розуміти, що фізика дійсно усюди довкола нас, а не лише у фізичному кабінеті.

Як відомо, залучення учнів до конструювання та виготовлення саморобних приладів створює сприятливі умови для розвитку сприйняття, уваги, спостережливості. Виконуючи монтування, випробування, налагодження приладу, учні спостерігають та контролюють за допомогою зорових сприймань. Зазвичай, під час роботи учні ведуть спостереження за матеріалами, інструментами, прийомами роботи, розвиваючи при цьому спостережливість, яка є однією з найважливіших рис людської психіки. При виготовленні приладів часто доводиться зосереджувати увагу на певній частині приладу, його взаємодії з іншими частинами, концентруючи чи розподіляючи увагу між різними об’єктами, і тим самим розвиваючи її. Виготовляючи прилади, учні розвивають технічне мислення, навчаються читати креслення, обробляти матеріали, надавати приладам естетичного вигляду.

Виготовлення саморобних приладів у навчальному процесі проводиться в певній послідовності:

- ознайомлення з призначенням та конструюванням приладу;
- аналіз механічних, фізичних і інших процесів, які лежать в основі роботи із виготовлення саморобного обладнання;
- вивчення загальнотехнічної та довідкової літератури для вибору найкращого розв'язання поставленого завдання;
- розробка ескізних варіантів виробу та вибір найраціональнішого із них;
- розробка технічного проекту виробу;
- виготовлення та регулювання окремих деталей, вузлів та виробу в цілому;
- виявлення недоліків у роботі приладу та їх усунення;
- обробка приладу.

При цьому перед учнями можуть ставитись завдання різноманітного характеру, які передбачають виготовлення приладів, виходячи із різних джерел інформації про них. Так, учням може бути запропоноване завдання на виготовлення приладу за повною технічною документацією. У такому випадку складаються сприятливі умови для розвитку практичних умінь та навичок, суб'єктивної творчості учнів, оскільки школярам доводиться проявляти певну самостійність та навчатися елементам конструювання: читати креслення, визначати призначення кожної деталі, знаходити

взаємозв'язок і взаємодію окремих деталей і вузлів приладу.

Виготовлення приладу за скороченою технічною документацією, коли не зазначено деяких розмірів, немає вказівок щодо способу з'єднання та обробки окремих деталей, послідовності технологічного процесу, дозволяє в значній мірі розвивати навички, вміння та творчі здібності учнів. Проте такі завдання доцільно пропонувати учням, які вже мають певний досвід виконання конструкторських завдань.

Пропонуючи учням виготовити прилад за зразком, спочатку складають його ескіз, а лише потім працюють за його ескізом. В процесі такої роботи учні навчаються читати та виконувати креслення, що є необхідним при виконанні складних завдань.

Приступаючи до виготовлення приладів за малюнком та описом, учень має чітко уявляти фізичні основи або технічні умови дії даного приладу. З цією метою спочатку доцільно визначити габарити приладу, розміри окремих деталей та з'єднувальних вузлів, визначитися із необхідними матеріалами, скласти порядок виконання робіт, визначити необхідні інструменти та пристрої, передбачити зовнішнє оформлення майбутнього приладу.

Виготовлення приладів за технічними умовами доцільно пропонувати учням, які вже мають певний досвід конструкторської роботи. Складність такого виготовлення полягає в тому, що тут немає унаочнення чи конкретно поставленого завдання.

Виготовлення приладів за власним задумом посильне тільки тим учням, які вже мають значний досвід конструкторської роботи. У цьому напрямку розрізняють два види завдань: виготовлення приладів, які учень уже бачив раніше, та виготовлення зовсім нових, оригінальних приладів.

Виготовляючи саморобні прилади, слід дотримуватися таких вимог [7]:

- прилади під час демонстрування повинні діяти безвідмовно як у руках вчителя, так і в руках учнів;
- розміри приладу повинні бути такими, щоб учні добре бачили його дію та поділки на шкалах;
- у конструкції приладу не повинно бути зайвих деталей;
- розміри всіх деталей повинні бути пропорційними, а сам прилад не громіздким;
- всі деталі повинні мати естетичний зовнішній вигляд;
- для виготовлення приладу слід застосовувати просте обладнання та оснащення.

Саморобні прилади можуть бути виготовленні учнями самостійно

та використанні для проведення фронтального чи лабораторного експерименту при вивченні відповідного матеріалу в курсі фізики середньої школи. Вони дозволяють значно урізноманітнити експериментальну та конструкторську роботу учнів.

Якщо раніше наявні в кабінеті обладнання, матеріали давали можливість проводити гурткову роботу в цьому напрямі безпосередньо в школі, то на сучасному етапі учні в основному виконують її вдома. Тому слід враховувати можливості учнів, надавати допомогу матеріалами й деталями, які є в кабінеті.

Найчастіше використовують такі варіанти залучення учнів до виготовлення найпростіших саморобних приладів [22].

1. На початку навчального року в кабінеті фізики оприлюднюється список саморобних приладів і роздаткових матеріалів (окремо для кожного класу). Обравши прилад, учень консультується, а через кілька днів надає план роботи над приладом, вказує його розміри, необхідні матеріали й деталі. У результаті обговорення й узгодження з учителем учень розпочинає виготовлення приладу.

2. На початку вивчення тієї чи іншої теми повідомляються дата підсумкового уроку з цієї теми, тематика рефератів та список саморобних приладів. На підсумковому уроці учні представляють виготовлені ними прилади. Їхня робота оцінюється, а це впливає на підсумкову оцінку з теми.

Саморобні прилади, які виготовляють учні, не завжди претендують на новизну й оригінальність, але, разом з тим, мають велике виховне значення, сприяють глибшому й міцнішому засвоєнню знань, розширюють можливості виконання дослідів у кабінеті фізики та вдома.

7.5. Використання саморобного фізичного обладнання під час проведенні демонстраційного експерименту

Фізика, як наука природнича, пов’язана із спостереженнями за явищами природи, які вчитель або учень відтворюють за допомогою спеціально виготовлених приладів. Майже кожне заняття з фізики передбачає експеримент у вигляді демонстрацій, лабораторних робіт фізичного практикуму. Прилади є своєрідними підсилювачами відчуттів, які одержують учні, а демонстрації сприяють творчому засвоєнню фізичних знань, слугують інструментом переконливої мотивації освітнього процесу. Саме через експеримент учитель найповніше реалізує свої наукові та методичні установки. Ефективний вчитель фізики повинен не лише ґрунтовно опанувати фундаментальні

знання, але й володіти уміннями їх застосування у практичній діяльності, тобто володіти мистецтвом дослідника, експериментатора, творця [28].

Методика навчання фізики показує, що досконало підготовлений демонстраційний експеримент, який дає стабільні, близькі до табличних результати, можливий лише під час створення обладнаного і впорядкованого кабінету фізики. Такі прилади та установки повністю забезпечують навчальний процес, надійно працюють, безпечні у експлуатації, мають естетичний вигляд.

Ряд приладів під керівництвом вчителя учні можуть створювати самостійно. Сьогодні, в період широкого використання інформаційних технологій, впровадження у навчальний процес мультимедійних засобів, така робота може здатися непотрібною і примітивною. Але така думка помилкова. Насправді робота для виготовлення приладів сприяє трудовому вихованню учнів, розкриттю її здібностей і талантів, підвищує творчу та пошукову активність, розвиває технічну кмітливість, спостережливість, здатність генерувати ідеї, формує новий для них спосіб мислення – схемами, зоровими образами [11].

Технічна творчість розвиває модельне мислення. Пізнаючи який-небудь процес чи об’єкт, учні будують в своїй свідомості їхні моделі. Приймаючи якесь життєве рішення, подумки моделюють ситуацію, програють на моделі можливий хід подій..

«Живе» унаочнення, прилади, створені власними руками та розумом, відіграють визначну мотиваційну роль у процесі навчання, особливо тоді, коли учні виступають як автори проектів, виконавці і демонстратори одночасно. Дуже важливий і виховний аспект: спільна розробка приладів учнями виробляє почуття колективізму, взаємодопомоги, збагачує емоційну їх культуру. Вчитель, який працює з учнями над виготовленням приладів, систематично вдосконалює свою майстерність. Можна зазначити, що наявність саморобних приладів у фізичному кабінеті є своєрідним критерієм працездатності вчителя і його учнів.

Ефективність виконання демонстраційного експерименту значною мірою зумовлена тим, наскільки його системи відповідають дидактичним вимогам. Вибираючи експеримент відповідно до дидактичних вимог, учитель керується такими критеріями [34]:

- відповідність принципу дії установки змісту фізичного явища чи процесу, який відтворюється;
- простота і зручність демонстраційної установки;
- незначна затрата часу на виконання експерименту;

- наявність у фізичному кабінеті необхідного обладнання;
- відповідність правилам техніки безпеки.

Обладнання шкільних фізичних кабінетів не дає змоги повною мірою реалізувати ці вимоги. Основною причиною цього є недосконаліть або відсутність відповідного обладнання. Зокрема, при виготовлені саморобного обладнання для демонстраційного експерименту мало уваги приділено діяльності і психофізіологічним особливостям сприймання учнями інформації [31].

Для удосконалення демонстрацій, наприклад, з кінематики і частково з динаміки треба розробити якісно нові вимірювальні прилади, які дали б змогу:

- використовувати їх як окремо, так і в демонстраційних установках для вимірювання і фіксації фізичної величини;
- змінювати точність і межі вимірювання відповідної величини;
- відображати інформацію на цифровому табло;
- забезпечувати можливість винесення органів керування і висвітлення інформації в робочу зону демонстратора.

При вивченні законів ідеального газу учитель може використати саморобні прилади для проведення демонстрацій.

Наприклад, для розгляду закону Бойля-Маріотта можна продемонструвати експеримент (рис.5). Причому, оскільки усі частини приладів є прозорими, учитель може використати тіньову проекції для кращої наочності.

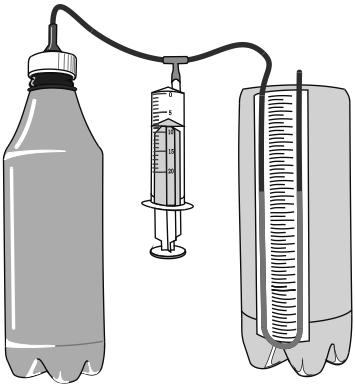


Рис.5. Установки для перевірки закону Бойля–Маріотта

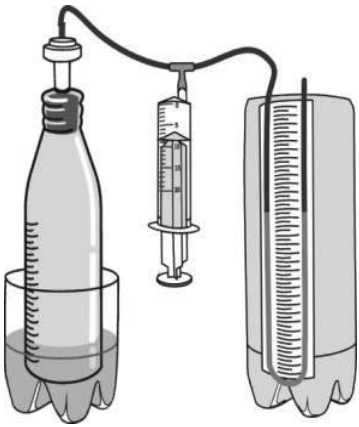


Рис.6. Установки для перевірки закону Гей–Люссака

При вивченні закону Гей–Люссака варто було б продемонструвати

наступний експеримент (рис.6).

Таким чином, розробка навчального фізичного експерименту і відповідного обладнання має комплексно відповідати вимогам і здійснюватися згідно із сучасними тенденціями створення обладнання з використанням новітніх технологій.

7.6. Проведення лабораторних робіт з фізики з використанням саморобного обладнання.

Особливе місце для формування практичних умінь та навичок належить лабораторним роботам.

Дидактична роль лабораторних робіт надзвичайно велика. Сприймання при виконанні лабораторних робіт засновані на більшій і різноманітнішій кількості чуттєвих вражень і стають глибшими і повнішими порівняно із сприйманнями при спостереженні демонстраційного експерименту. При виконанні лабораторних робіт учні навчаються користуватись фізичними приладами як знаряддями експериментального пізнання, набувають умінь та навичок практичного характеру. У деяких випадках наукове трактування поняття стає можливим лише після безпосереднього ознайомлення учнів з явищами, що вимагає відтворення дослідів самими учнями, в тому числі й під час виконання лабораторних робіт. Виконання лабораторних робіт сприяє поглибленню знань учнів з певного розділу фізики, набуттю нових знань, ознайомленню з сучасною експериментальною технікою, розвитку логічного мислення, формуванню практичних умінь та навичок [31].

Лабораторні роботи мають також важливе виховне значення, оскільки вони дисциплінують учнів, привчають їх до самостійної роботи, прищеплюють навички лабораторної культури.

Наведемо приклади розробки лабораторних робіт з використанням саморобного фізичного обладнання на теми «Вимірювання маси тіл за допомогою важільних терезів», «Визначення коефіцієнта поверхневого натягу води методом відриву петлі».

Лабораторна робота

Вимірювання маси тіл за допомогою важільних терезів

Для порівняння мас тіл використовують різні вимірювальні прилади. Одним з таких приладів є

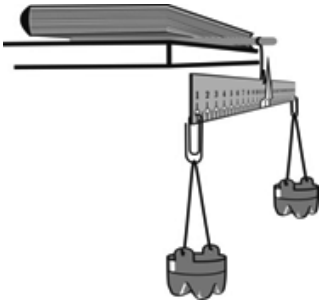


Рис.2.8. Важільні терези

важельні терези, що дозволяють порівнювати досліджуване тіло з іншими тілами і з еталоном маси. У заводських терезах як еталон використовують відомі маси. Виникає питання: як виміряти масу тіл саморобними терезами (рис.2.8), не маючи еталонних. Еталонне тіло можна вибирати довільно. У даній роботі Вам пропонується як еталонне тіло вибрати монету розмірністю в 1 копійку і виразити масу досліджуваного тіла в одиницях маси цієї монети. А потім визначити масу монети в грамах. Можна так само застосовувати скрепки, гайки, болтики. При вимірюванні з великою точністю можна застосовувати краплини води.

Обладнання: саморобні важільні терези; набір монет розмірністю в 1 копійку; шприц 1 мл; вимірюване тіло; картон, ножиці; мензурка з водою.

Послідовність виконання роботи:

- закріпіть терези на краю столу або на штативі;
- зрівноважте важільні терези; для цього:
- визначте, яка із чашок терезів легша;
- наріжте шматочки картону за допомогою ножиць;
- додайте в легку чашу терезів шматочки картону, добийтеся, щобтерези прийшли в рівновагу, тобто стрілка – покажчик збіглася з нульовою відміткою шкали терезів;
- визначте масу кулькової ручки в одиницях мас однокопійкової монети;
- покладіть кулькову ручку на чашу терезів з додатковим тягарцем (картоном);
- притримуючи знизу чашку з ручкою, додайте в протилежну чашку терезів монети до тих пір, поки терези не прийдуть в рівновагу;
- якщо терези не врівноважуються останньою монетою (монети при цьому трохи переважують), вважайте, що рівновага досягнута з точністю до *0,5* монети;
- визначте кількість монет на чашці терезів *N*;
- запишіть результат вимірів у вигляді: *M=n±0,5(монет);*
- визначте масу монети в грамах, для цього:
- покладіть монету в чашку терезів з додатковим тягарцем (картоном);
- наберіть в шприц води (до верхнього краю поділки на шкалі), так, щоб не було бульбашок повітря; маса води в шприці буде рівна 1 грам;
- визначте ціну поділки *(C)* шприца в грамах;
- визначте число найдрібніших поділок шприца*;*
- розділіть масу води в шприці 1 грам на число поділок *(N) C=1 г*

/N.;

- ви отримаєте ціну поділки шприца в грамах;
- виляйте в протилежну чашу терезів воду з шприца до тих пір, поки терези не прийдуть в рівновагу; при цьому необхідно вважати, скільки води ви вилили на чашу терезів в поділках шприца ($N_ш$);
- визначте масу монети по формулі: $M_1=N_ш \cdot C$
- по формулі пункта 11 запишіть масу ручки в грамах:
- $M=N \cdot M_1 \pm 0,5 \cdot M_1$ *(г);*
- визначте масу кулькової ручки, безпосередньо вимірюючи її масу за допомогою шприца і води; для цього визначте кількість води в поділках шприца N_0 необхідне для урівноваження терезів;
- запишіть масу кулькової ручки в грамах: $M=N_0 \cdot M_1 \pm 0,5 \cdot C$ *(г) (похибка вимірювань дорівнює половині ціни поділки шприца в грамах);*
- порівняйте величину маси кулькової ручки і похибку вимірювання в пунктах 20 і 22;
- поясніть відмінності у величині чисельних значень маси і похибки вимірювань;
- зробіть висновки про виконану роботу.

За допомогою даної лабораторної роботи учні можуть виміряти масу тіл важільними терезами, які виготовлені самими учнями.

Лабораторні роботи повинні відповідати пізнавальним можливостям учнів, поступово ускладнюватись, що сприяє поетапному формуванню системи знань, вмінь та навичок учнів. Крім того, вони сприяють також розвитку мислення, оскільки спонукають до виконання розумових операцій (аналізу, синтезу, порівняння, узагальнення та ін.) і створюють умови для самоконтролю.

Таким чином, вміло організоване виготовлення та використання в навчальному процесі саморобних фізичних приладів дає можливість удосконалити та урізноманітнити навчання з фізики, а також створює сприятливі умови для розвитку творчих здібностей учнів.

7.7. Виконання домашніх експериментів з використанням інформаційних технологій

Вдосконалення методів самостійної роботи полягає в підвищенні якості знань учнів, розвитку вміння самостійно здобувати і поглиблювати свої знання, у пошуку раціональних шляхів вирішення поставленої задачі. Будь-яка навчальна діяльність учня неможлива без прояву його активності та внутрішньої мотивації в освітньому процесі [4]. Однією з умов виявлення в учнів пізнавальної активності є стимулювання і мотивація до такого виду діяльності та формування

уміння самостійно набувати і поглиблювати знання. Адже, щоб знання набули практичної ваги і значення, необхідно навчитися застосовувати їх на практиці, наприклад під час виконання лабораторних досліджень, для розв'язування теоретичних та експериментальних фізичних завдань тощо. Виконання навчального експерименту вимагає від учнів як достатніх теоретичних знань, так і певних практичних та експериментальних умінь і навичок; максимально наближає освітній процес до життєвого середовища; відкриває можливість повноцінного та різностороннього розвитку індивідуальних можливостей кожного учня. Їх потенціал розширюється з розвитком інформаційно-комунікаційних технологій та Інтернет-ресурсів.

Домашній експеримент в свою чергу є одним із видів домашньої самостійної навчальної роботи, тому організація його проведення та виконання вимагає врахування загальнодидактичних вимог, які ставляться до домашніх завдань. Необхідність використання домашніх завдань учнів зумовлена тим, що вивчення навчального матеріалу, передбаченого програмою, не можна обмежити лише роботою в класі. Для повноцінного засвоєння матеріалу учні мають опрацювати його в різних ситуаціях і за можливості не один, а декілька разів, розглядати його під новим кутом зору. Реалізувати цей етап вивчення фізики допоможуть інформаційні технології та Інтернет-ресурси, зокрема Phet-симуляції [43].

Як уже зазначалося, для виконання домашнього експерименту широко використовуються різноманітні прилади (побутові та саморобні). Це передбачає можливість залучення учнів до конструювання та винахідництва, що сприятиме розвитку їх творчих здібностей. Разом з тим, завершальним етапом у розвитку розумових операцій учнів є не становлення розумової дії, а реалізація цієї дії в практичній діяльності [6].

Організація виконання учнями домашнього експерименту сприяє формуванню умов для реалізації диференційованого підходу в навчанні. Об'єктивна його необхідність зумовлена анатомо-фізіологічними і психічними особливостями учнів. Вони в свою чергу впливають на відношення учнів до вивчення фізики, на здатність успішно організовувати та проводити фізичний експеримент або розв'язувати задачі, на швидкість і міцність запам'ятовування конкретного матеріалу, вміння логічно мислити тощо. Диференціація навчального домашнього експерименту забезпечує індивідуалізацію навчання, сприяє створенню оптимальних умов для виявлення і розвитку інтересів і здібностей кожного учня.

Таким чином, для успішного виконання домашнього експерименту в освітньому процесі з фізики необхідно, щоб домашні експерименти були органічним продовженням та доповненням практичних і лабораторних робіт в класі, враховували диференційований підхід до навчання, забезпечували можливість використання знань на практиці та в умовах, наближених до життєвих з використанням інформаційно-комунікаційних технологій [5].

Наведемо декілька прикладів реалізації виконання навчального фізичного експерименту, що не потребує складного обладнання і без особливих зусиль виконується в домашніх умовах за допомогою Phet-симуляцій (https://phet.colorado.edu).

Завдання 1. Використовуючи інтерактивну Phet-симуляцію «Стан речовини» (рис. 9) змінюйте температуру і тиск та спостерігайте, як це впливає на атоми і молекули, як вони переходять у твердий, рідкий і газоподібний стани та виконайте наступні завдання: опишіть характеристики трьох станів матерії: твердого, рідкого та газоподібного; передбачте, як зміни температури або тиску впливатимуть на зміну поведінки частинок; порівняйте частинки в трьох різних фазах; поясніть твердніння та плавлення на основі молекулярного рівня деталізації.

Рис.9. Молекули води при температурі 57К (твердий стан)
https://phet.colorado.edu/uk/simulation/states-of-matter-basics

Завдання 2. Використовуючи Phet-симуляцію «Властивості газу» (рис. 10) накачайте молекули газу в посудину і поспостерігайте, що відбувається, коли змінюється об'єм, підводьте теплоту до посудини або змінюйте потужність нагрівника, змінюйте гравітацію і багато іншого. Виміряйте температуру і тиск, дізнайтеся, як змінюються властивості газу з кожною зміною. Передбачте, як зміна величин *p, V,*

T впливає на інші властивості газу. Передбачте, як зі зміною температури буде варіювати швидкість руху молекул тощо.

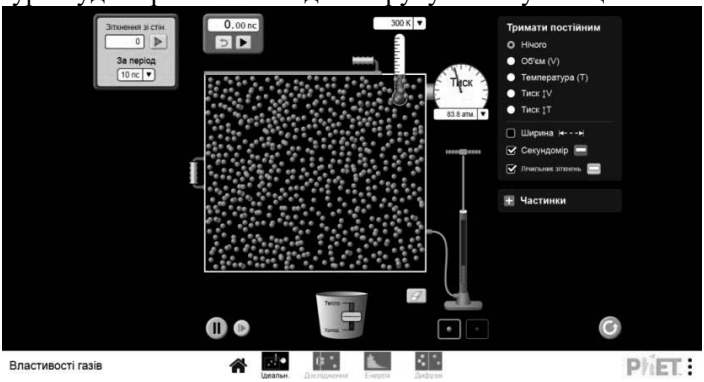


Рис.10. Властивості газу
https://phet.colorado.edu/uk/simulation/gas-properties

Використовуючи Phet-симуляції вчитель має можливість самостійно формулювати завдання для самостійної підготовки учнів в домашніх умовах.

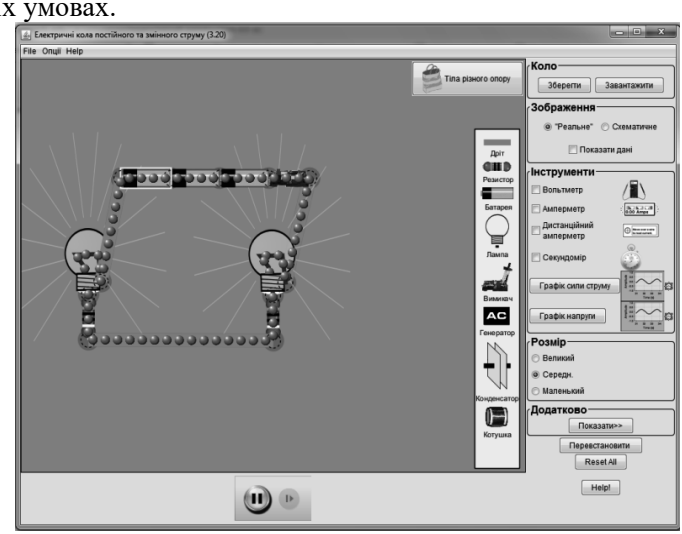


Рис.11. Електричне коло постійного і змінного струму з паралельним з'єднанням
https://phet.colorado.edu/uk/simulations/category/physics/electricity-magnets-and-circuits

Наприклад, використовуючи симуляцію «Електричні кола

постійного і змінного струму», вчитель пропонує учням вдома скласти електричні кола з послідовним та паралельним з'єднанням (рис. 11). Після чого дослідити закономірності щодо визначення величин сили струму, напруги та опору ділянок. Варто зазначити, що проведення навчального фізичного експерименту є однією з найактивніших та дієвіших форм навчальної діяльності учнів з фізики. Його реалізація сприяє розвитку творчого мислення учнів, набуття ними навичок практичного проектування та виконання експериментальних завдань.

Виконуючи домашні експериментальні завдання з використання інформаційних технологій, зокрема Phet-симуляцій, учні здобувають знання на основі здійснення спроб і помилок, а не отримують їх у готовому вигляді. Виконання такого типу експериментальних завдань сприяє розвитку активності й самостійності учнів, удосконалює практичні вміння й навички.

В залежності від обсягу і терміну завдань, які виконують учні та їхнього поєднання, одержані результати досліджень учні можуть оформити у вигляді реферату або проектної роботи.

На основі зазначеного вище можна стверджувати, що навчальний домашній експеримент відрізняються від експерименту в класі тим, що хід виконання, а в деяких випадках і кінцевий результат учневі невідомий і немає чіткого алгоритму для їх виконання.

З усього зазначеного вище можна зробити висновок, що виконання такого навчального домашнього експерименту передбачає використання значного обсягу вже засвоєних учнем знань, умінь та навичок і забезпечує розвиток дивергентного мислення, уяви, фантазії та достатнього рівня інтелектуального розвитку.

Також варто зазначити, що недостатньо уваги приділено питанню використання домашнього експерименту учнів як продовження та доповнення аудиторного практичного заняття чи лабораторного експерименту. Домашній експеримент учнів, будучи невід'ємною складовою частиною системи навчального фізичного експерименту, має свої характерні риси: він має бути органічним продовженням та доповненням виконуваних лабораторних робіт; враховувати диференційований підхід до навчання фізики та індивідуалізацію учнів; передбачати використання знань на практиці та за умов, наближених до повсякденного життя; передбачати довгострокове виконання циклу експериментальних завдань, кожне наступне з яких є розвитком попереднього і базується на ньому; розробка, створення і виготовлення діючих макетів та установок, для яких передбачені різні види завдань та різні види діяльності тощо.

Крім того зазначимо, що організація домашнього експерименту і завдань взагалі повинна враховувати можливості їх виконання тим чи іншим методом. Поряд з тим корисно, з одного боку, намагатися збільшити частку дослідницьких завдань, оскільки саме такого типу роботи мають свої переваги у формуванні практичних умінь і навичок, а також у розвитку творчих здібностей учнів, а з іншого боку - виконання цих завдань з використанням різних технологій суттєво розширює компетенції самого вчителя у галузі методики і техніки навчального експерименту.

Розвиваючи систему навчального фізичного експерименту як важливу складову дидактичної системи навчання фізики, варто більше уваги надати самостійному виконанню навчального домашнього фізичного експерименту з використання інформаційних технологій, зокрема Інтернет-ресурсів. Також варто вдосконалювати методику організації та проведення домашнього фізичного експерименту з використанням ресурсів мережі Інтернет, розглядаючи його як органічне продовження та доповнення аудиторної системи навчального експерименту, практичних завдань і лабораторних робіт з фізики.

Висновки

З'ясовано, що домашні досліди і спостереження з фізики, проведені самими учнями: дають можливість школі розширити область зв'язку теорії з практикою; розвивають в учнів інтерес до фізики й техніки; розвивають в учнів творчу думку й спроможність до винахідництва; привчають учнів до самостійної дослідницької роботи; виробляють цінні якості: спостережливість, увагу, наполегливість, акуратність; доповнюють класні лабораторні роботи тим матеріалом, що ніяк не може бути виконані у класі (ряд тривалих спостережень. спостереження природних явищ тощо); привчають учнів до свідомої, цілеспрямованої праці.

Визначено, що для ефективної організації та проведення учнями домашніх навчальних експериментів та спостережень необхідно дотримуватися ряду загальних педагогічних умов: перша й головна - це виховання в учнів бажання вчитися; друга умов полягає в тому, що коли ми навчаємо учнів чогось нового, то вони разом з тим повинні мати відповідну підготовку; третя - не можна перевантажувати учня навчанням, здатність учня засвоювати нові знання має свої межі, необхідний індивідуальний підхід до дозування і ступеня складності завдань; четверта - потрібно виробити чітку програму, за якою буде

вестися навчання.

Описано можливості проведення домашніх експериментів та спостережень з метою активізація навчальної діяльності учнів з фізики на основі дотримання відповідних принципів навчання: проблемності; забезпечення максимальної адекватності навчально-пізнавальної діяльності характеру практичних завдань; взаємонавчання; дослідницький; індивідуалізації.

З'ясовано, що домашній навчальний експеримент: є засобом для більш глибокого засвоєння навчального матеріалу, який вивчається в класі; є одним із засобів розвитку пізнавального інтересу та активізації навчальної діяльності учнів; дає можливість учням визначити чіткі зв'язки теорії з практикою, з повсякденним життям; виконується з використанням предметів домашнього вжитку і підручних матеріали, які доступні всім учням.

Описано особливості організації та проведення учнями домашніх навчальних експериментів з фізики, в яких:

- головним видом діяльності є спостереження оточуючих нас явищ;
- необхідно провести вимірювання за допомогою приладів, які використовуються в повсякденному житті;
- необхідно провести вимірювання за допомогою приладів, які учні повинні зробити своїми руками.

Запропоновано методичні рекомендації до організації і проведення домашнього навчального експерименту, в тому спостережень та лабораторних робіт.

Розглянуто можливості виготовлення саморобних приладів та методику їх використання під час проведення домашніх експериментів з фізики.

Представлено особливості виконання домашніх експериментів з використанням інформаційних технологій, зокрема за допомогою Phet-симуляцій (https://phet.colorado.edu).

Список використаних джерел

1. Анциферов Л.И., Пищиков И.М. Практикум по методике и технике школьного физического эксперимента [Текст] : учеб. пособие для студентов. - Москва : Просвещение, 1984. - 255 с.

2. Анциферов Л.И. Самодельные приборы для физического практикума в средней школе. Пособие для учителя. – М.: Просвещение, 1985. – 128с.

3. Атаманчук П.С. Методичні основи організації і проведення навчального фізичного експерименту: Навчальний посібник /

П.С. Атаманчук, О.І. Ляшенко, В.В. Мендерецький, А.М. Кух. - Кам'янець-Подільський: ПП Буйницький О.А., 2006. - 216 с.

4. Бабяк В., Моклюк М. Педагогічні умови і організація проведення учнями домашнього фізичного експерименту. Актуальні проблеми математики, інформатики, фізики і технологій: збірник наукових праць / С.В. Подолянчук (голова) [та інші]; Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського. – Вінниця: ТОВ «Твори», 2019. Вип.16. – С.109-112.

5. Барильник-Куракова О. А. Домашній фізичний експеримент як засіб розвитку самостійності і творчості учнів загальноосвітньої школи / О.А. Барильник-Куракова, Н.Ю. Клименко // Пошук молодих: матер. Всеукр. студ. наук.-практ. конф. Актуальні проблеми природничо-математичної освіти в середній і вищій школі.

6. Бузько В. Активізація навчально-пізнавальної діяльності учнів у процесі вивчення фізики в умовах профільного навчання / В. Бузько, С. Величко [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://dspace.kspu.kr.ua/jspui/bitstream/123456789/2249/1.

7. Буряк Ю. Домашні спостереження та досліди з фізики / Ю. Буряк // Наукові записки. – 2009. – №82 (2). – С.297 –300.

8. Величко С.П. Розвиток системи навчального експерименту та обладнання з фізики у середній школі/ С.П. Величко. – Кіровоград, 1998 – 302с.

9. Войтович І. Впровадження творчих експериментальних завдань у структуру шкільного фізичного експерименту / Ігор Войтович, Юрій Галатюк // Наукові записки. - Серія: педагогічні науки. - Кіровоград : РВВ КДПУ ім. В. Винниченка. - 2004. - Вип. 55. - С. 191-195.

10.Галатюк Ю.М. Організація творчої навчально-пізнавальної діяльності у процесі навчання фізики – філософсько-методологічний аспект / Ю.М. Галатюк // Вересень. Науковий часопис. – № 1–2 (70–71). – 2015. – С. 86–92.

11.Гончаренко С.У. Український педагогічний словник / Семен Гончаренко; [гол. ред. С. Головко]. – Київ: Либідь, 1997. – 373 с.

12.Грудинін Б. Творчі домашні експериментальні завдання учнів під час вивчення МКТ та основ термодинаміки./ Борис Грудинін //Фізика та астрономія в школі № 2.- 2003.-С.30-33.

13.Гуржій А.М. Фізичний експеримент у загальноосвітньому навчальному закладі. (Організація та основи методики): [навч. посібн.] / А.М. Гуржій, С.П. Величко, Ю.О. Жук. – К.: ІЗМН, 1999. – 303 с.

14.Давиден А.А. Экспериментальные задачи как средство повышения уровня и качества знаний учащихся по физике: Дис. ...

канд. пед. наук: 13.00.02. – К., 1990. – 182 с.

15.Демонстраційний експеримент з фізики: Навч. посіб. / [М.І. Шут, В.Ю. Биков, О.М. Кучменко, І.І. Адаменко, Ю.О. Жук, О.М. Плахтієнко, А.В. Касперський, Л.Ю. Благодаренко, В.П. Сергієнко, В.Ф. Заболотний; За заг. ред. М.І. Шута, В.Ю. Бикова]. – К.: НПУ, 2003. – 237 с.

16.Домашні спостереження та досліди учнів із фізики. Їх організація [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: http://bukvar.su/pedagogika/page,3,106304

17.Доросевич С. О роли решения экспериментальных задач в активизации учебно-познавательной деятельности школьников./ Сергей Доросевич // Научные записки.-РВЦ КДПУ - 2006.- Вып 66.- С. 56-61.

18.Заболотний В.Ф. Методика навчання фізики. Загальні питання / В.Ф. Заболотний. – Вінниця: «Едельвейс і К», 2009. – 112 с.

19.Заболотний В.Ф. Навчальний фізичний експеримент з використанням цифрової лабораторії Nova-5000 / В.Ф. Заболотний, А.В. Лаврова // Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету ім. Івана Огієнка. Сер.: Педагогічна. – 2013. – Вип. 19. – С. 82-85.

20.Заболотний В.Ф. Підхід до організації і проведення шкільного навчального фізичного експерименту / В.Ф. Заболотний, А.В. Лаврова // Інформаційні технології і засоби навчання. - 2015, Том 50. - №6. – С. 57-70.

21.Закалюжний В.М. Домашні досліди та спостереження з фізики в старшій школі / В.М. Закалюжний, М.П. Руденко // Фізико-математична освіта : науковий журнал. – 2017. – Випуск 2(12). – С. 71-74.

22.Застосування фізичного експерименту на уроках фізики та в позакласній діяльності [Електронний ресурс]. – Режим доступу:URL: http://lib.znaimo.com.ua/docs/166/index-49104.html

23.Коршак Є.В. Методика і техніка шкільного експерименту. Практикум / Є.В. Коршак, Б.Ю. Миргородський. - Київ: Вища школа, 1981. - 280 с.

24.Мендерецький В.В. Навчальний експеримент в системі підготовки вчителя фізики: Монографія. – Кам’янець-Подільський: Кам’янець-Подільський. державний університет, інформаційно-видавничий. відділ, 2006. – 256 с.

25.Мендерецький В.В. Удосконалення експериментальної підготовки школярів в умовах особистісно орієнтованого навчання /

В.В. Мендерецький − Кам'янець-Подільський: ІВВ К-ПДУ, 2003.−Вип.9.− с. 148−150.

26.Методика і техніка експерименту з оптики: [посібн. для студ. фіз. спец. вищ. пед. навч. закл. та вчит. фізики] / [М.І. Садовий, В.П. Сергієнко, О.М. Трифонова, І.А. Сліпухіна, І.С. Войтович]. – Луцьк: Волиньполіграф, 2011. – 292 с.

27.Методика і техніка навчального фізичного експерименту в старшій школі / П.С. Атаманчук, О.І. Ляшенко, В.В. Мендерецький, О.М. Ніколаєв. - Кам'янець-Подільський : Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2011. - 420 с.

28.Миргородський Б.Ю. Шкільний фізичний експеримент / Б.Ю. Миргородський. - К.: Радянська школа, 1972. – 187 с.

29.Моклюк М.О. Навчальний експеримент з фізики в старшій школі: навчально-методичний посібник. – Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2014. - 154 с.

30.Навчальний фізичний експеримент (методичний практикум) : Навчальний посібник для студентів / В.Ф.Савченко, М.П.Бойко, М.М.Дідович, В.М.Закалюжний, М.П.Руденко; заг.ред. В.Ф.Савченка. - Ніжин: Ніжинський державний університет імені М.Гоголя, 2011. - 540 с.

31.Навчальні програми з фізики для 10-11 класів загальноосвітніх навчальних закладів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://mon.gov.ua/ua/osvita/zagalna-serednya-osvita/navchalni-programi/navchalni-programi-dlya-10-11-klasiv.

32.Нечипорук М.Н., Черняшевський В.Т. Прилади для фізичного експерименту. - К.: Радянська школа, 1971. – 144 с.

33.Покровский С.Ф. Опыты и наблюдения в домашних заданиях по физике: Пособие для учителей. / С.Ф. Покровский. – М.: Академия педагогических наук РСФСР, 1951. – 216 с.

34.Работюк М.К Методика проведення домашніх фізичних спостережень та експериментів: навч. посіб. / М.К. Работюк, А.О. Шарабура. – Р. : РМПЛ «Елітар», 2010. – 25 с.

35.Руденко М. Домашні експериментальні диференційовані завдання під час навчання фізики / М.П. Руденко // Фізика та астрономія в школі. - 1997. - №1. - С. 42 - 43.

36.Руденко М. Домашні експериментальні завдання в системі навчання фізики в середній школі / М.П. Руденко // Фізика та астрономія в школі. - 1997. - №4. - С. 39 - 41.

37.Руденко М. Домашні експериментальні задачі / М.П. Руденко // Фізика та астрономія в школі. - 1998. - №3. - С. 47 - 48.

38.Руденко М. Критерії активності пізнавальної діяльності учнів / М.П. Руденко // Фізика та астрономія в школі. - 1999. - №3. - С. 6 - 10.

39.Руденко М. Організація домашнього експерименту / М.П. Руденко // Фізика та астрономія в школі. - 2000. - №2. - С. 33 - 36.

40.Руденко М.П. Домашній експеримент в навчанні фізики учнів основної школи: Дис... канд. пед. наук: 13.00.02 / Чернігівський держ. педагогічний ун-т ім. Т.Г.Шевченка. – Чернігів, 2000. – 180 арк.

41.Садовий М.І. Вибрані питання загальної методики навчання фізики/ М.І. Садовий, В.П. Вовкотруб, О.М. Трифонома - Кіровоград: ПП «Центр оперативної поліграфії «Авангард», 2013 – 252 с.

42.Садовий М.І. Навчальний експеримент у системі вивчення фізики в загальноосвітній школі / М.І. Садовий. - Наукові записки. – Випуск 109. – Серія: Педагогічні науки. – Кіровоград: РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2012. – С. 3-10.

43.Сиротюк В.Д., Сільвейстр А.М., Моклюк М.О. Фізичні методи дослідження. Навчальний посібник. – К.: Вид-во НПУ імені М.П. Драгоманова, - 2013. – 261 с.

44.Слободяник О.В. Виконання домашніх експериментальних завдань з використанням Phet-симуляцій / О.В. Слободяник // Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна. - Випуск 20. - Кам' янець-Подільський, 2014. – С. 161-165.

45.Слободяник О.В. Домашні експериментальні завдання як засіб активізації самостійної пізнавальної діяльності студентів / О.В. Слободяник // Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти. - Кіровоград : РВВ КДПУ ім. В.Винниченка, 2011. -Вип. 1. - С. 108-113.

46.Соколова С.Ю. Домашний физический эксперимент как фактор формирования научного мировоззрения учащихся старших классов / С.Ю. Соколова // Альманах современной науки и образования. № 5 (5). - Тамбов: Грамота, 2007. - С. 205-207. [Электронный ресурс] – Режим доступа: www.gramota.net/materials/1/2007/5/94.html.

47.Усова А.В. Самостоятельная работа учащихся по физике в средней школе/ А.В. Усова, З.А. Вологодская [пособие].- М.: Просвещение, 1981. - 158с.

48.Шевчук О.В. Домашній фізичний експеримент у контексті фахової підготовки майбутніх учителів фізики / О.В. Шевчук // Молодий вчений. - 2015. - № 4(3). - С. 48-52.

49.Шут М.І. Застосування до навчання фізики складових сучасного навчального середовища. Збірник наукових праць Уманського

державного педагогічного університету ім. Павла Тичини / гол. ред. М.Т. Мартинюк. - Умань: СПД Жовтий, 2008. - Ч. 2. - С. 306 – 317.

50.Бабяк В., Моклюк М. Теоретичні аспекти активізації навчальної діяльності учнів з фізики. Особистість, сім'я і суспільство: питання педагогіки та психології : збірник тез наукових робіт учасників міжнародної науково-практичної конференції (Львів, 22–23 листопада 2019 року). – Львів: ГО «Львівська педагогічна спільнота», 2019. Ч.2. – С. 82–86.

51.Лабораторний практикум з фізики : Навчально-методичний посібник: [для студ. нефізич. спец. пед. вищ. навч. закл.] / В.Ф. Заболотний, А.М. Сільвейстр, М.О. Моклюк. – Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2018. – 347 с.

52.Сільвейстр А.М., Моклюк М.О., Чекурда Ю.А. Тенденції розвитку сучасної загальної середньої освіти в Україні. Збірник наукових праць: Педагогічні науки. – Херсон: Видавничий дім «Гельветика». – Вип. LXXXIII. – Т. 1. – С. 71-76.

53.Адамчук Д.А., Дмитренко Є.Ю., Моклюк М.О. Проведення віртуального і реального навчального фізичного експерименту з використанням цифрової лабораторії Nova-5000. Неперервна освіта в модусах минулого, теперішнього, майбутнього: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. з міжнарод. участю (Луцьк, 24–26 травня 2018 р.) / уклад. В.О. Савош. − Луцьк : Вежа-Друк, 2018. – С.127-130.

54.Моклюк М.О., Сільвейстр А.М.Використання комп’ютерного моделювання у вивченні фізики. Тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції “Сучасні проблеми фізико-математичної освіти і науки”, присвяченої 95-річчю від дня народження доктора технічних наук, професора Душенка В.П. 25-26 травня 2017 року, Київ, Україна. - К.: НПУ імені М.П.Драгоманова, 2017. - С.224-227.

55.Сільвейстр А.М., Моклюк М.О. Використання інформаційних технологій під час проведення навчального фізичного експерименту. Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М.П. Драгоманова. Серія №5. Педагогічні науки: реалії та перспективи. – Випуск 48: збірник наукових праць / за заг. ред. проф. В.Д. Сиротюка. – К.: Вид-во НПУ імені М. П. Драгоманова, 2014. – С.195-201.

56.Сиротюк В.Д., Сільвейстр А.М., Моклюк М.О. Фізичні методи дослідження: навчальний посібник. – К.: Вид-во НПУ імені М.П. Драгоманова, 2013. – 261 с.

Післямова

Перша частина монографії присвячена аналізу ключових питань сучасної фізики, що мають значний вплив на розвиток науки і техніки. Усі розділи цієї частини розкривають важливі аспекти фундаментальних досліджень, а також їх прикладне значення.

Висновки дослідження висвітленого в розділі 1 показують, що термоциклічна обробка значно впливає на формування субструктури матеріалів. Автори встановили основні чинники, які визначають кінетику структурних змін, такі як температура, ступінь деформації, та умови полігонізаційного відпалу. Результати досліджень мають практичне застосування у виробництві, зокрема для покращення фізико-механічних властивостей алюмінієвих сплавів.

У розділі 2 висвітлено вплив температури на внутрішнє тертя в субструктурно зміцнених матеріалах. Аналіз температурних залежностей дозволив авторам визначити оптимальні режими термоциклічної обробки для забезпечення стабільності структури та властивостей матеріалів. Зроблено висновок про можливість застосування цих методик для розробки нових промислових матеріалів із покращеними характеристиками.

Дослідження описані в розділі 3 показали, що концентрація домішок має значний вплив на формування субструктури матеріалів. Автори визначили, що малі концентрації атомів цинку сприяють стабілізації субструктури, тоді як атоми міді, навпаки, ускладнюють ці процеси. Це відкриває перспективи для розробки нових сплавів із прогнозованими характеристиками.

Друга частина монографії зосереджена на питаннях методичної підготовки майбутніх учителів фізики. Вона розглядає впровадження сучасних технологій у освітній процес і їх вплив на формування предметних компетентностей здобувачів освіти з фізики і методики її навчання.

Автори підкреслюють важливість інтеграції прикладних аспектів фізики у навчальний процес. Використання сучасних фізичних методів, таких як оптичні та спектроскопічні дослідження, дозволяє студентам зрозуміти прикладне значення фізичних явищ у різних галузях — від медицини до промисловості. Це сприяє розвитку аналітичного мислення та практичних навичок у студентів.

У розділі 5 детально розглянуто інноваційні підходи до організації навчального процесу за допомогою хмарних технологій. Автори визначили, що інтеграція таких інструментів, як мультимедійні платформи і цифрові сервіси, значно підвищує ефективність навчання.

Це дозволяє майбутнім учителям краще засвоювати методики викладання фізики та бути готовими до викликів сучасної освіти.

Результати досліджень, представлених у розділі 6 підтверджують, що мультимедійні технології є потужним інструментом для підвищення мотивації здобувачів освіти до навчання. Використання інтерактивних симуляцій, відеоуроків та інших мультимедійних засобів сприяє глибшому розумінню складних фізичних явищ і концепцій. Автори рекомендують широке впровадження цих технологій у навчальний процес.

Монографія «Актуальні проблеми сучасної фізики та методики навчання фізики» є важливим кроком у розробці нових підходів до викладання фізики й астрономії. Вона пропонує ефективні рішення для вдосконалення освітнього процесу та розширення меж фізичних досліджень.

Монографія стане корисним ресурсом для науковців, викладачів, студентів та всіх, хто цікавиться сучасними проблемами фізики та освіти. Авторський колектив висловлює сподівання, що ця робота надихне на нові дослідження й ініціативи в галузі фізичної науки та методики навчання фізики.

Для нотаток

Для нотаток

Колективна монографія

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ СУЧАСНОЇ ФІЗИКИ ТА МЕТОДИКИ НАВЧАННЯ ФІЗИКИ

Авторський колектив:
Білюк А.І., Кравчук Н.С., Думенко В.П., Мозговий О.В., Заболотний В.Ф., Мисліцька Н.А., Сільвейстр А.М., Моклюк М.О.

Розглянуто і схвалено на засіданні навчально-методичної комісії факультету математики, фізики і комп'ютерних наук
(протокол № 9 від 18 червня 2020 року)
Рекомендовано до друку вченою радою факультету математики, фізики і комп'ютерних наук Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського
(протокол № 2 від 16 вересня 2020 року)

Підписано до друку .
Формат 64x90/16. Папір офсетний.
Друк цифровий. Гарнітура Times New Roman.
Ум. друк. арк 14,25. Обл.-вид. арк. 13,26.
Наклад 300 прим. Зам. № 788/2.

Віддруковано з оригіналів замовника.
ФОП Корзун Д.Ю.

Видавець ТОВ «ТВОРИ».
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції серія ДК № 6188 від 18.05.2018 р.
21034, м. Вінниця, вул. Немирівське шосе, 62а.
Тел.: 0 (800) 33-00-90, (096) 97-30-934, (093) 89-13-852, (098) 46-98-043.
e-mail: info@tvoru.com.ua
http://www.tvoru.com.ua