

УДК 378.016:621.3]:004

DOI 10.31494/2412-9208-2021-1-2-330-340

DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE FORMATION OF MODELS OF TRANSIENTS IN INDUCTANCE AND CAPACITANCE

ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ У ФОРМУВАННІ МОДЕЛЕЙ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ В ІНДУКТИВНОСТІ ТА ЄМНОСТІ

Gennadiy SHYSHKIN,

doctor of pedagogical sciences,
professor

ur3qugs@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-2617-6699>

*Berdiansk State Pedagogical
University*

✉ 4, Schmidta st., Berdiansk,
Zaporizhia region, 71100

Геннадій ШИШКІН,

доктор педагогічних наук,
професор

*Бердянський державний
педагогічний університет*

✉ вул. Шмідта, 4, м. Бердянськ,
Запорізька обл., 71100

Original manuscript received: June 11, 2021

Revised manuscript accepted: September 15, 2021

ABSTRACT

An important role in the formation of qualitative knowledge of physics in the modern education system is played by students' ability to present the processes being studied at a qualitative level. Formation of students' abilities and skills to construct figurative physical models, finding mathematical dependences between physical quantities is one of the urgent problems of physics teaching methods.

Our research is devoted to the problem of the formation of high-quality imaginary models of physical processes among physics students on the basis of an educational experiment and digital technologies. To improve the quality of teaching physics, the necessity of forming physical and mathematical models of the studied processes among future specialists is substantiated. On the example of experimental study of processes occurring in DC circuits, which contain inductors and capacitors, a method of forming their imaginary and mathematical models is proposed. A digital measuring system with a personal computer was used in the research. It is proved that conducting a physical experiment with simultaneous display of research results in the form of tables and graphs contributes to the formation of a qualitative level of physical models.

To form students' skills of building mathematical models of the studied processes, it is proposed to use software that allows to analyze the results of the experiment. The analysis of graphs of the studied processes allows to select mathematical dependences and to calculate necessary coefficients. The use of digital technologies and related programs provides a quick finding of mathematical models. Changing the parameters of the studied objects while finding the corresponding mathematical dependencies allows students to establish relationships between mathematical symbols and physical quantities. This approach provides students with the ability to find mathematical models of these processes or objects. The results of the implementation of the proposed method showed that the use of digital measuring systems in the educational physical experiment significantly improves the quality of students' learning of new material.

Key words: *physical experiment, model, digital technologies, extra current, inductance, capacitance.*

Вступ. У закладах вищої та середньої освіти розділ «Електродинаміка» курсу фізики є одним з найскладніших. Від інших розділів він відрізняється більш глибоким рівнем абстракції та складністю введення основних фізичних понять. Струнка логіка електродинаміки як розділу науки сприяє формуванню загальних методів пізнання. Розвиток фізичного мислення студентів при вивченні електродинаміки здійснюється шляхом узагальнення та ідеалізації явищ, що вивчаються. З одного боку, вивчення розділу дозволяє ефективно формувати вміння абстрагувати, виділяти головне в явищі або процесі, який вивчається. З іншого – потребує від студентів певного рівня розвитку уяви та умінь будувати фізичні та математичні моделі об'єктів, явищ або процесів. Наші дослідження та практичні роботи свідчать, що вміння студентів формувати фізичні і математичні моделі процесів суттєво впливають на якість засвоєння знань. Перспективним напрямком формування моделей є проведення навчального експерименту з одночасним графічним відображення закономірностей між фізичними величинами, що досліджуються. Таким чином, при вивченні цього розділу необхідно особливу увагу приділяти навчальному фізичному експерименту. Наявне сьогодні в освітніх закладах демонстраційне та лабораторне обладнання не дозволяє повною мірою забезпечити наочність і доступність введення основних понять розділу. Виникає потреба в розробці більш ефективних експериментальних методів навчання на основі цифрових вимірювальних приладів.

Методи та методики дослідження. На початковому етапі нами було проведено пілотне педагогічне дослідження з метою виявлення чинників, що впливають на якість знань з фізики студентів молодших курсів та учнів старших класів закладів загальної середньої освіти. Зроблено аналіз сучасної наукової та методичної літератури з проблем підвищення якості фізичної освіти молоді. Встановлено, що навчальний фізичний експеримент забезпечує наочність, підвищує мотивацію та пізнавальну активність здобувачів освіти при вивченні фізики.

Проблемами організації різних видів навчального експерименту займалися багато науковців. Принцип наочності як основний принцип дидактики був уведений Я. А. Коменським, який зазначав, що все, що тільки можна, слід представляти для сприйняття почуттями. Якщо ж предмети можна сприймати одночасно кількома почуттями, то його відразу треба охоплювати кількома почуттями (Коменський, 1955).

Навчання фізики завжди спиралося на чуттєвий досвід студента, наочність та його пізнавальну активність і здійснювалося через навчальний фізичний експеримент. Саме поняття «наочність» має на увазі доступність візуального спостереження того явища або процесу, що вивчається. Наочність освітнього процесу можна забезпечити шляхом виористання сучасного фізичного обладнання. Фізичні об'єкти або процеси, що чуттєво сприймаються, стають наочними тільки в тому випадку, якщо вони складаються із знайомих для студента елементів.

Процеси, що вивчаються у розділі «Електродинаміка», безпосередньо спостерігати складно. Тому можемо уявляти та спостерігати їх тільки за результатами взаємодії з іншими об'єктами.

У результаті непрямих спостережень об'єктів та встановлення залежностей між основними параметрами, які описуються певними фізичними величинами, виявляються суттєві ознаки і закономірності. На підставі визначених закономірностей формується теоретична (фізична, математична) модель процесу або об'єкта. Зв'язки між параметрами, що описують об'єкт або процес, є прихованими. Тому важливу роль в успішному засвоєнні фізики як навчальної дисципліни відіграють правильно сформовані графічні, математичні, фізичні моделі об'єктів та процесів. Наші дослідження (Шишкін та Зикова, 2018) свідчать, що розвиток пізнавального інтересу студентів відбувається одночасно з розвитком пізнавальних здібностей. Мотивація та активне подолання студентами труднощів у процесі засвоєння навчального матеріалу є рушійною силою розумового розвитку. Пізнавальний інтерес є одним з важливих мотивів навчання (Барканов, 2018). На розвиток мотивації суттєво впливають джерела інформації, якими користуються студенти, та практична значимість матеріалу, що вивчається. На сьогодні, студентам доступні найрізноманітніші джерела інформації. Проведені дослідження довели, що студенти та учні все частіше джерелом інформації використовують сучасні інтернет ресурси та інші цифрові джерела (Шишкін та Зикова, 2018; Косоков та Шишкін, 2017).

Практика навчання фізики свідчить про те, що наявність великої кількості готової інформації ще не є запорукою інтелектуального розвитку людини. Для розв'язання проблеми активізації пізнавальної діяльності студентів під час вивчення фізики необхідно більше уваги приділяти цифровим технологіям навчання та виконанню практико-орієнтованих завдань (Косоков та Шишкін, 2017; Shyshkin & Zykova, 2014; Зикова та Шишкін, 2020).

У роботі Зикової та Шишкіна (2017) проведено аналіз стану дослідження проблеми засвоєння здобувачами освіти базових знань на основі формування фізичних моделей процесів, що вивчаються. Розглянуто основні визначення поняття моделі, класифікація моделей за якісними первинними характеристиками, види моделювання. Наголошено на важливій ролі фізичних моделей для формування базових знань та підвищення якості фізичної освіти молоді. Запропоновано поетапне формування в учнів різних типів моделей фізичних процесів і явищ. Розглянуто особливості моделювання процесу розв'язування творчих фізичних задач. Звертається увага на важливу роль фізичних моделей у формуванні практико-орієнтованих знань учнів профільних класів закладів середньої освіти.

Проблеми використання цифрових технологій при вивченні фізики для розвитку творчих здібностей, розв'язанні фізичних задач, дослідженні фізичних явищ і процесів розглянуті в роботах (Keller at al., 2006; Gregorcic & Vodin, 2017), методика проведення віртуальних

лабораторних робіт (Finkelstein at al., 2005). Практичне використання набутих навичок застосування цифрових технологій та моделювання фізичних процесів у подальшій практичній роботі знайшли своє відображення в працях (Vandurov at al., 2019; Suchikova at al., 2020. 2021) випускників університету.

Навчальний експеримент дає можливість ефективно та більш точно формувати уявлення про те чи інше коло фізичних явищ, встановлювати взаємозв'язок між фізичними величинами процесів, що досліджуються. Уміння правильно спостерігати фізичні явища стає одним з основних джерел формування фізичних та уявних моделей цих процесів. З метою вдосконалення методики вивчення відповідних тем з розділу «Електродинаміки» нами розроблено і виготовлено зручний у використанні лабораторний стенд, який може бути підключений до персонального комп'ютера, що дозволяє графічно відображати закономірності між фізичними величинами. Стенд містить клеми для підключення активного опору, конденсаторів, котушок індуктивності та вимірювальних приладів. Стенд живиться від джерел постійного та змінного струмів і дозволяє проводити дослідження у відповідних електричних колах (рис. 1).

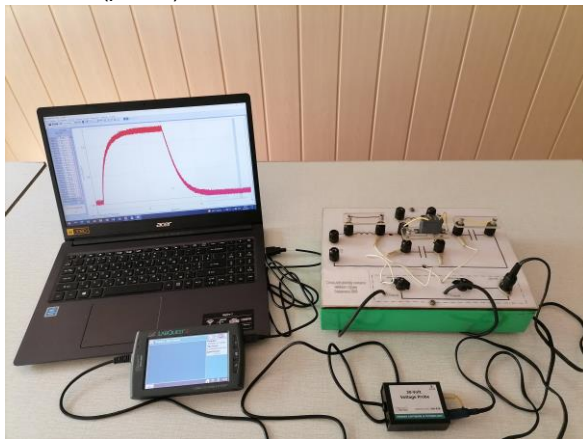


Рис. 1. Загальний вигляд установки

В експериментальних дослідженнях екстраструмів у котушках індуктивності та конденсаторах ми використовували цифровий вимірювальний комплекс Vernier LabQuest 2, який за допомогою датчиків і вбудованого додатку для побудови графіків може бути з успіхом використані в технологіях STEM навчання. Великий сенсорний екран має високу роздільну здатність й дозволяє легко та наочно збирати, аналізувати та обмінюватися експериментальними даними. Його бездротовий зв'язок дає можливість передавати інформацію на гаджети студентів та здійснювати індивідуальне навчання. Комплекс можна

використовувати як окремо, так і спільно з ПК. За допомогою програмного забезпечення LoggerPro комплекс можна використовувати як інтерфейс USB-датчиків. У наших дослідженнях за допомогою датчиків струму та напруги вимірювальний комплекс був підключений до стенду та ПК з програмним забезпеченням LoggerPro 3.15, що дало можливість досліджувати закономірності зростання і спадання струму в котушках індуктивності та зміни напруги в конденсаторах при їх підключенні до джерел постійного струму.

Результати та дискусії. Дослідження процесу розряду конденсаторів. Конденсатор у колах постійного струму має нескінченно великий опір. Однак, при підключенні до джерела постійного струму протягом короткого відрізка часу він заряджається, що призводить до збільшення напруги до певного максимального значення. При підключенні до зарядженого конденсатора резистора відбувається короткочасний процес зменшення струму від деякого максимального значення до нуля. Глибоке розуміння студентами цих процесів важливе при подальшому вивченні реактивних опорів у колах змінної та імпульсної напруги, при вивченні електротехніки, радіоелектроніки. Для успішного подальшого вивчення процесів, що відбуваються в електричних колах при протіканні екстраструмів, важливо, щоб у студентів була сформована якісна модель процесів зростання та спадання напруги на конденсаторах.

Якщо заряджений конденсатор C підключити до резистора R то $U_C + U_R = 0$ (де $U_C = q/C$ і $U_R = IR$) та, враховуючи, що $I = dq/dt$ отримуємо: $q/C + dq/dt R = 0$. У результаті перетворень отримуємо: $\ln q/q_0 = -1/CR t$. Звідси виходить закон зміни заряду на обкладинках конденсатора при розряді: $q = q_0 e^{-1/CR t}$. Поділимо обидві частини рівняння на ємність C і врахуємо, що $q/C = U$, отримуємо закон зміни напруги при розряді конденсатора:

$$U = U_0 e^{-1/CR t} \quad (1)$$

Для дослідження процесу розряду конденсатора студенти на стенді збирали електричне коло, яке складалася з конденсатора ємністю $C=15$ мкФ та резистора $R=200$ кОм. Конденсатор від джерела постійного струму заряджали до напруги живлення ($U_0=15$ В) і підключали до резистора. На екрані монітора ПК відображалися таблиця значень напруги та часу, а також графік відповідної залежності (рис. 2а), за допомогою якого з достатньою точністю можна визначити час розряду конденсатора ($\tau=4,345$ с).

Студентам пропонували провести дослідження при різних значеннях ємності конденсаторів та опору резисторів. На рис. 2б представлено графік розряду конденсатора ємністю 30 мкФ. При цьому

час розрядження конденсатора складав $\tau = 5,3$ с. Студенти на якісному рівні встановлювали залежності між значеннями параметрів електричного кола та часом розряду конденсаторів. Аналогічні дослідження проводили для опору 100 кОм.

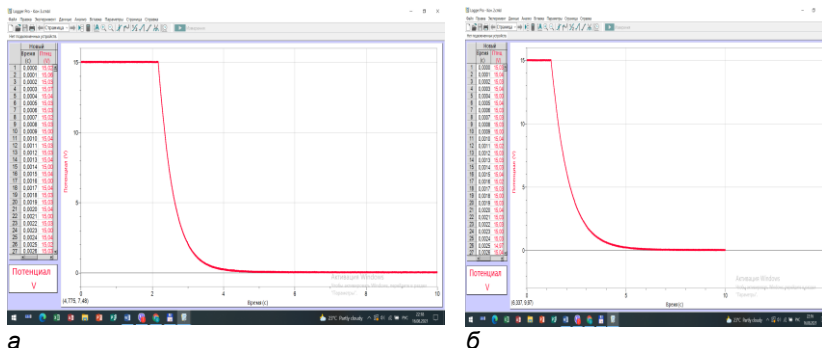


Рис. 2. Процес розряду конденсаторів: а – для $C=15$ мкФ; б – для $C=30$ мкФ

Для кожного випадку студенти проводили аналіз графіків з використанням програмного забезпечення LoggerPro 3.15 та знаходили відповідні математичні залежності напруги від часу. На рис. 3 представлені результати аналізу експериментальних даних та визначені математичні залежності для конденсатора ємністю $C=30$ мкФ при напрузі 15 В для опору 200 кОм (рис. 3а) та 100 кОм (рис. 3б).

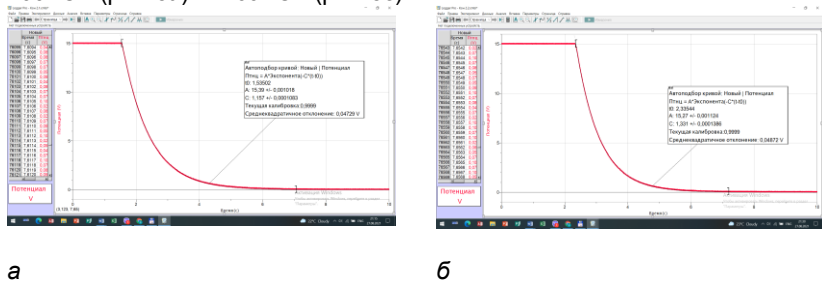


Рис. 3. Значення коефіцієнтів та математичні залежності: а – для ємності $C=30$ мкФ і $R=200$ кОм; б – для ємності $C=30$ мкФ і $R=100$ кОм

Програмне забезпечення дозволяє підібрати відповідні математичні залежності для кожного експерименту та розрахувати необхідні коефіцієнти. За визначеними коефіцієнтами та математичними залежностями студентам пропонували побудувати математичну модель процесу для різних значень C і R . Так, для значень $C=30$ мкФ і $R=200$ кОм математична залежність має вигляд: $U = U_0 \text{ Експонента}(-C(t - t_0))$, де: $A = 15,39$; $C = 1,157$; середнє квадратичне відхилення – 0,0473. Таким чином,

отримали математичну модель розряду конденсатора з моменту часу $t_0 = 1,53$ с у вигляді: $U = 15,39e^{-1,157(t-t_0)}$. (2)

При опорі кола $R=100$ кОм (рис. 3б) аналіз графіка дав такі результати: $t_0=2,33$ с ; $A = 15,27$; $C = 1,33$; середнє квадратичне відхилення – 0,048. Математична модель розряду конденсатора з моменту часу $t_0 = 2,33$ с має вигляд

$$U = 15,27e^{-1,33(t-t_0)}. \quad (3)$$

Аналізуючи результати проведених досліджень, студенти перевіряли математичні моделі та відповідності між отриманими коефіцієнтами та реальними значеннями величин ємності та опору.

Дослідження екстраструмів у котушках індуктивності. Аналогічні дослідження студенти проводили з котушками індуктивності. При підключенні котушки до джерела струму у колі за певний час змінювався від нуля до деякого максимального значення. Унаслідок закону електромагнітної індукції в котушках виникає е.р.с. самоіндукції та додатковий струм (струм самоіндукції або екстраструм). Таким чином, крім зовнішньої е.р.с. E виникає е.р.с. самоіндукції $E_i = -L \frac{dI}{dt}$, яка

перешкоджає згідно з правилом Ленца зростанню струму. За законом Ома: $IR = E + E_i$ або $IR = E - L \frac{dI}{dt}$.

Увівши нову змінну $u = IR - E$, наведемо це рівняння до виду $\frac{du}{u} = -\frac{dt}{\tau}$, де τ – час релаксації. У момент замикання ($t = 0$) сила струму $I = 0$ і $u = -E$. Отже, інтегруючи за u (від $-E$ до $IR - E$) і t (від 0 до τ), знаходимо $\ln [(IR - E) / -E] = -t / \tau$, або

$$I = I_0(1 - e^{-t/\tau}), \quad (4)$$

де $I_0 = E/R$ – значення сталого струму. При підключенні котушки до джерела зростання сили струму в колі задається рівнянням (4). Сила струму зростає від початкового значення $I=0$ і асимптотично прагне до сталого значення $I_0=E/R$. Швидкість зростання струму визначається часом релаксації $\tau=L/R$. Встановлення струму відбувається тим швидше, чим менше індуктивність котушки і більший її опір.

Розглянемо процес спадання струму в колі, що містить джерело постійного струму з е.р.с. E , резистор R і котушку індуктивності L . Під дією зовнішньої е.р.с. в колі тече постійний струм: $I = E / R$ (внутрішнім опором джерела струму нехтуємо). Струм у котушці індуктивністю L почне зменшуватися, що призведе до виникнення е.р.с. самоіндукції E_i , яка перешкоджає зменшенню струму згідно з правилом Ленца. У кожен момент часу струм у колі визначається законом Ома $I = \frac{E_i}{R}$, або

$$IR = -L \frac{dI}{dt}. \quad (5)$$

З рівняння (5) маємо $\frac{dI}{I} = -\frac{R}{L} dt$. Інтегруючи це рівняння по I (від I_0 до I) і t (від 0 до τ), знаходимо $\ln (I / I_0) = -Rt/L$, або

$$I = I_0 e^{-t/\tau} \quad (6)$$

де $\tau = L/R$ – час релаксації, тобто час, протягом якого сила струму зменшується в e разів. Таким чином, у процесі відключення джерела струму сила струму зменшується за експоненціальним законом (6). Чим більше індуктивність котушки і менше її опір, тим більше τ і, отже, тим повільніше зменшується струм в котушці при розмиканні кола.

Для експериментальної перевірки процесів, що відбуваються в котушках індуктивності при замиканні та розмиканні кола, студентам пропонували зібрати коло, яке складалася з котушки індуктивності $L = 17$ Гн з опором $R=200$ Ом, добротністю $Q=15$ та джерела постійного струму. Датчик струму в котушці підключали до цифрового вимірювального блоку, який, у свою чергу, підключено до ПК (рис. 1). Залежності струму від часу відображаються на екрані монітора (рис. 4). За графіком час зростання струму склав 244 мс. Аналіз результатів проведеного експерименту та використання програмного забезпечення дозволили визначити математичну залежність струму від часу для даної індуктивності при зростанні струму (рис. 4а): $I = 0,179(1 - e^{-9,15(t-t_0)})$. (7)

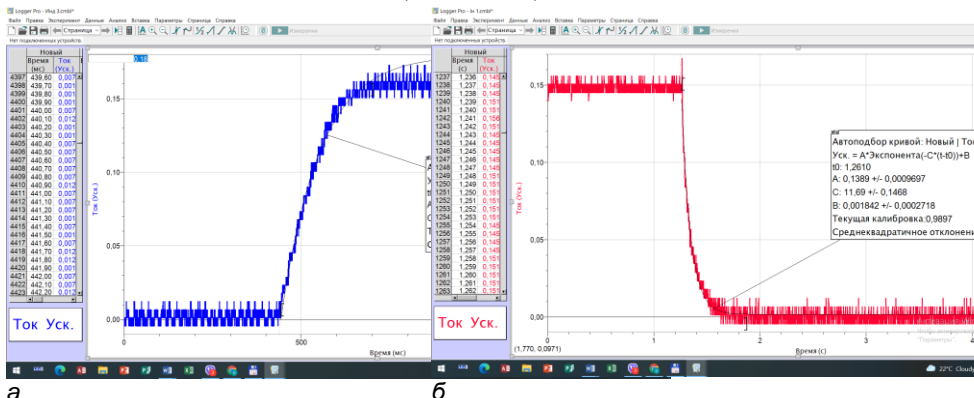


Рис. 4. Екстраструми в колах з індуктивністю: а – зростання струму; б – спадання струму

Спадання струму відбувається за законом (рис. 4б): $I = 0,139e^{-11,69(t-t_0)}$. (8)

Студентам пропонували провести дослідження з різними значеннями величин індуктивності та опору. Порівнюючи значення індуктивності та експериментальне визначення часу зростання або спадання струму, студенти більш глибоко починають розуміти фізичну суть процесів, які досліджуються. Такий підхід, як довели наші дослідження, суттєво впливає на формування якісних фізичних моделей процесів і об'єктів. Більш високий рівень розуміння фізичних процесів, які відбуваються в електричних колах, що містять ємності та

індуктивності, забезпечується формуванням умінь знаходження їх математичних моделей. Програмне забезпечення LoggerPro 3.15 та цифровий вимірювальний комплекс LabQuest 2 дозволяє на достатньо високому рівні проводити вимірювання, аналізувати отримані результати та знаходити математичні моделі процесів. Можливості на якісному та кількісному рівнях аналізувати результати проведеного експерименту, оперативно отримувати математичні залежності дозволяє на більш високому рівні засвоювати навчальний матеріал.

Висновки. Практика застосування цифрових приладів сумісно з ПК в освітньому процесі довела, що проведення реального фізичного експерименту з одночасним відображення результатів дослідження у вигляді таблиць і графіків значно підвищує рівень засвоєння навчального матеріалу. Застосування програмного забезпечення, що дає можливість аналізувати графіки експериментального дослідження процесів та швидко знаходити математичні залежності між фізичними величинами, сприяє формуванню уявних фізичних моделей реальних процесів та їх математичних моделей. Подальших досліджень потребує розробка методики експериментального вивчення більш складних процесів, що відбуваються в колах змінного струму з реактивними опорами. Перспективними напрямками застосування цифрових приладів та відповідного програмного забезпечення ми бачимо в дослідженні коливальних процесів в електричних колах змінного струму. Запропонована методика може бути корисною при організації експериментальної дослідницької роботи студентів.

Література

Барканов А. Б. Визначення мотивації навчання фізики студентів аграрних коледжів. *Наукові записки : РВВ КДПУ ім. В. Винниченка*. Випуск 168. Крапивницький, 2018. С. 23–26.

Зикова К. М., Шишкін Г. О. Формування предметної компетентності при вивченні газових законів з використанням ІКТ. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені І. Огієнка*. Кам'янець-Подільський, 2020. вип. 26. С. 60-63. <https://doi.org/10.326626/2307-4507.2020-26.60-63>

Зикова К. М., Шишкін Г. О. Фізичні моделі та їх формування в системі профільного навчання. *Наукові записки. РВВ КДПУ ім. В. Винниченка*. Ч.1. Кропивницький, 2017. вип. 12. С. 67-73.

Каменский Я. А. Избранные педагогические сочинения. Москва: Учпедгиз, 1955, 655 с.

Косогов І. Г., Шишкін Г. О. Практико-орієнтовані задачі з фізики в навчальному процесі загальноосвітньої школи. *Вісник Чернівецького національного педагогічного університету*. Чернівці, 2017. вип. 146 С.144-147.

Шишкін Г. О., Зикова К. М. Аналіз джерел здобуття інформації учнями при вивченні фізики. *Наукові записки: РВВ КДПУ ім. В. Винниченка*. Крапивницький, 2018. вип. 168 С. 292-294.

Bandurov S. O., Lozhkin R. S., Shishkin G. O. Improved burning down protection system of industrial electron accelerators outlet window foil. *Problems of Atomic Science and Technology. Series "Plasma Electronics and New Methods of Acceleration"*, 2019, № 4, p. 169-173. <https://vant.kipt.kharkov.ua/TABFRAME1.html>

Finkelstein N. D., Adams W. K., Keller C. J., Kohl P. B., Perkins K. K., Podolefsky N. S. & LeMaster R. (2005). When learning about the real world is better done

virtually: a study of substituting computer simulations for laboratory equipment. *Phys. Rev. Spec. Top. Phys. Educ. Res.*, 1, 1–8. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.1.010103>

Gregorcic B. & Bodin M. (2017). Algodoo: a tool for encouraging creativity in physics teaching and learning. *Phys. Teach.*, 55, 25–8. <https://doi.org/10.1119/1.4972493>

Keller C. J., Finkelstein N. D., Perkins K. K. & Pollock S. J. (2006). Assessing the effectiveness of a computer simulation in conjunction with tutorials in introductory physics in undergraduate physics recitations. *AIP Conf. Proc.* 818. 109–12. <https://doi.org/10.1063/1.2177035>

Shyshkin G. A., Bandurov S. O. Digital electronics in an educational experiment in physics. *European science review*. Vienna, 2014. № 9-10. pp. 84-87.

Suchikova Y., N. Kosach, V. Bolshakov, G. Shishkin. Synthesized nanostructures formation time effect on their morphological quality indicators – pore diameter increase in nanostructured coatings. *Ukrainian Metrologica Journal*, 2020. №4. p. 43-49. <https://doi.org/10.24027/2306-7039.4.2020.224294>

Suchikova Y. O., Kovachov S. S., Shishkin G. O., Pimenov D. O., Lazarenko A. S., Bondarenko V. V., Bogdanov I. T. Functional model for the synthesis of nanostructures of the given quality level / *Archives of Materials Science and Engineering 2021*; 2 (107): 72-84. DOI: 10.5604/01.3001.0015.0244

References

Barkanov A. B. (2018). Vyznachennya motyvatsiyi navchannya fizyky studentiv ahrarykh koledzhiv [Determining the motivation to teach physics to students of agricultural colleges]. *Naukovi zapysky RVV KDPU im. V. Vynnychenka*. Issue 168. P. 23–26 [in Ukrainian].

Zykova, K. M. & Shyshkin H. O. (2020). Formuvannia predmetnoi kompetentnosti pry vyvchenni hazovykh zakoniv z vykorystanniam IKT. *Zbirnyk naukovykh prats Kamianets-Podilskoho natsionalnoho universytetu imeni Ivana Ohienka*, 26, P. 60-63. <https://doi.org/10.326626/2307-4507.2020-26.60-63> [in Ukrainian].

Zykova, K. M. & Shyshkin H. O. (2017). Fizychni modeli ta yikh formuvannia v systemi profilnoho navchannia. *Naukovi zapysky. RVV KDPU im. V. Vynnychenka*. Chastyna 1. 12, P. 67-73 [in Ukrainian].

Kamenskiy, YA. A. (1955). *Izbrannyye pedagogicheskiye sochineniya*. Moscow: Publishing Uchpedgiz [in Russian].

Kosohov, I. H., & Shyshkin, H. O. (2017). Praktyko-orientovani zadachi z fizyky v navchalnomu protsesi zahalnoosvitnoi shkoly. *Visnyk Chernihivskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu*, 146, P. 144-147 [in Ukrainian].

Shyshkin, H. O., & Zykova, K. M. (2018). Analiz dzherel zdobuttia informatsii uchniamy pry vyvchenni fizyky. *Naukovi zapysky: RVV TsDPU im. V. Vynnychenka*, 168, P. 292-294 [in Ukrainian].

Bandurov, S. O., Lozhkin, R. S. & Shishkin, G. O. (2019). Improved burning down protection system of industrial electron accelerators outlet window foil. *Problems of Atomic Science and Technology*, 4, P. 169-173. <https://vant.kipt.kharkov.ua/TABFRAME1.html> [in English].

Finkelstein, N. D., Adams, W. K., Keller, C. J., Kohl, P. B., Perkins, K. K., Podolefsky, N. S. & LeMaster, R. (2005). When learning about the real world is better done virtually: a study of substituting computer simulations for laboratory equipment. *Phys. Rev. Spec. Top. – Phys. Educ. Res.*, 1, P. 1-8. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.1.010103> [in English].

Gregorcic, B. & Bodin, M. (2017). Algodoo: a tool for encouraging creativity in physics teaching and learning. *Phys. Teach.*, 55, P. 25–28. <https://doi.org/10.1119/1.4972493> [in English].

Keller, C. J., Finkelstein N. D., Perkins K. K. & Pollock, S. J. (2006). Assessing the effectiveness of a computer simulation in conjunction with tutorials in introductory physics in undergraduate physics recitations. *AIP Conf. Proc.* 818, P. 109–112. <https://doi.org/10.1063/1.2177035> [in English].

Shyshkin, G. A., & Bandurov, S. O. (2014). Digital electronics in an educational experiment in physics. *European science review.* 9-10, P.84-87 [in English].

Suchikova, Y., Kosach, N., Bolshakov, V. & Shishkin, G. (2020). Synthesized nanostructures formation time effect on their morphological quality indicators – pore diameter increase in nanostructured coatings. *Ukrainian Metrologica Journal*, 4, P. 43-49. <https://doi.org/10.24027/2306-7039.4.2020.224294> [in English].

Suchikova Y. O., Kovachov S. S., Shishkin G. O., Pimenov D. O., Lazarenko A. S., Bondarenko V. V., Bogdanov I. T. (2021). Functional model for the synthesis of nanostructures of the given quality level / *Archives of Materials Science and Engineering*, 2 (107). P. 72-84. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.0244> [in English].

АНОТАЦІЯ

У сучасній системі освіти важливу роль у формуванні глибоких знань з фізики відіграє вміння студентів на якісному рівні уявляти процеси, які вивчаються. Формування в студентів умінь та навичок конструювати образні фізичні моделі, знаходити математичні залежності між фізичними величинами є однією з актуальних проблем методики навчання фізики. Наше дослідження присвячене проблемі формування в студентів-фізиків якісних уявних моделей фізичних процесів на основі навчального експерименту та цифрових технологій. Для підвищення якості навчання фізики обґрунтовується необхідність формування в майбутніх фахівців фізичних та математичних моделей процесів. На прикладі експериментального вивчення процесів, що відбуваються у колах постійного струму, які містять котушки індуктивності або конденсатори, пропонується методика формування їх уявних і математичних моделей. У дослідженні використовували цифровий вимірювальний комплекс разом з персональним комп'ютером. Доведено, що проведення фізичного експерименту з одночасним відображення результатів дослідження у вигляді таблиць і графіків сприяє формуванню на якісному рівні фізичних моделей.

Для формування у студентів навичок побудови математичних моделей, пропонується використовувати програмне забезпечення, яке дозволяє аналізувати результати проведеного експерименту. Аналіз графіків процесів, що досліджуються, дозволяє підібрати математичні залежності та розраховувати необхідні коефіцієнти. Використання цифрових технологій забезпечує швидке знаходження математичних моделей. Зміни параметрів об'єктів з одночасним знаходженням відповідних математичних залежностей дає можливість студентам встановлювати взаємозв'язки між математичними символами та фізичними величинами. Такий підхід сприяє формуванню в студентів умінь знаходити математичні моделі цих процесів або об'єктів. Результати впровадження запропонованої методики довели, що використання цифрових вимірювальних комплексів в навчальному фізичному експерименті значно підвищує якість засвоєння студентами нового матеріалу.

Ключові слова: фізичний експеримент, модель, цифрові технології, екстраструм, індуктивність, ємність.