

УДК 371.671:004.087

## ПРОЄКТУВАННЯ ІНТЕРАКТИВНОГО ЕЛЕКТРОННОГО ПІДРУЧНИКА

**Піх І.В.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> д.т.н, професор, кафедра «Комп'ютерні науки та інформаційні технології»,  
Українська академія друкарства

<sup>2</sup> д.т.н, професор, кафедра «Автоматизовані системи управління»  
Національний університет «Львівська політехніка»,

**Сеньківський В.М.**

д.т.н, професор, кафедра «Комп'ютерні науки та інформаційні технології»,  
Українська академія друкарства

**Кудряшова А.В.**

к.т.н, доцент, кафедра «Комп'ютерні науки та інформаційні технології»,  
Українська академія друкарства

***Анотація.** Розроблено семантичну мережу та синтезовано багаторівневу модель факторів впливу на якість проектування інтерактивного електронного підручника. Створено прототип електронного підручника, що міститиме значну кількість інтерактивних елементів та забезпечить ефективне навчання відповідно до вимог МОН України. Може бути шаблоном для створення електронних навчальних підручників.*

***Ключові слова:** ЕЛЕКТРОННИЙ ПІДРУЧНИК, ФАКТОРИ ЯКОСТІ, СЕМАНТИЧНА МЕРЕЖА, МОДЕЛЬ, ОПТИМІЗАЦІЯ, ІНТЕРАКТИВНІ ЕЛЕМЕНТИ, СКЕТЧ, СПЛИВАЮЧІ ПІДКАЗКИ, НАВІГАЦІЯ, ФРЕЙМВОРК, ДИНАМІЧНИЙ КОНТЕНТ, КОНТЕКСТНА МОДЕЛЬ, АДАПТИВНІСТЬ.*

### **Вступ**

Сучасний світ стає все більш інформаційним, технологічно цифровізованим та залежним від електронних пристроїв, що, у свою чергу, обумовлює потребу модернізації традиційного підходу до навчання. Передумовою вирішення вказаної проблеми є наявність у молодого покоління значного досвіду комунікативного «спілкування» з електронними пристроями та навичок до інтерактивної форми отримання різномірної інформації.

Один з напрямів використання цифрових технологій у навчальному процесі полягає у розробленні та впровадженні у навчальних закладах інтерактивних електронних підручників (ІЕП). Їх використання покращить рівень знань школярів та студентів за допомогою різних способів і форм подання текстової, графічної, аудіо та відео інформації та інструментарію для закріплення пройденого матеріалу у вигляді інтерактивного тестування, навчальних ігор, тощо. Інтерактивні електронні підручники стали невід'ємною частиною сучасної освіти. Вони забезпечують студентів і викладачів зручним та ефективним інструментом для навчання та викладання. Водночас,

проектування інтерактивного електронного підручника є складним процесом, який вимагає ґрунтовних знань та навичок у багатьох галузях.

Розвиток ІЕП залежить від багатьох факторів, основні з яких стосуються досягнень у сфері інформаційних технологій, зацікавленості сторін (МОН, розробників, видавництв, вчителів та інших учасників освітнього процесу) у створенні якісних електронних підручників, законодавчої бази. На сьогоднішній день різними видавництвами реалізовано декілька прототипів електронних підручників, проте вони мають ряд недоліків та не задовольняють вимогам МОН. Основні з них полягають у недостатній взаємодії з іншими користувачами та викладачами, можливій неповній інтерактивності при виконанні завдань. Також електронний підручник може містити помилки, а під час збою електронного пристрою втрачається корисна інформація та час користування ІЕП.

Згідно з проведеним аналізом існуючих форматів е-книг виявлено, що найоптимальнішим варіантом для підручників можна вважати книгу-додаток, оскільки даний формат максимально задовольняє вимоги, враховує потреби користувачів і має великі перспективи для розвитку.

Переваги електронного підручника полягають у зручності доступу до інформації та можливості зберігати нотатки та розв'язання завдань, що дозволяє зосередитися на змісті. Інтерактивність та віртуальні лабораторії дозволяють учням краще розуміти матеріал та підвищувати ефективність навчання. Крім того, електронний підручник може забезпечити вільний доступ до контенту, що зменшує витрати на його придбання.

Вимоги до змісту електронного підручника полягають у зручності використання та доступності інформації. Він повинен містити чіткий та лаконічний зміст з багатими ілюстраціями та відео, що забезпечує зрозумілість та простоту викладу. Також важливо дотримуватися принципу адаптивності та інтерактивності підручника до потреб та можливостей користувачів.

Належні умови функціонування електронного підручника полягають у його доступності на різних електронних пристроях та операційних системах, а також можливості зберігання та друкування матеріалів при потребі. Крім того, електронний підручник повинен бути зручним у використанні та мати простий та зрозумілий інтерфейс для користувачів.

### **Мета та задачі дослідження**

Вивчити існуючі формати електронних книг на відповідність вимогам МОН та обрати оптимальний з них; проаналізувати інструментарій для створення ІЕП та визначити найбільш придатний; ознайомитися з технологіями розроблення ІЕП та обрати оптимальну; створити прототип на основі виокремлених інструментальних засобів і технологій; провести апробацію інтерактивного електронного підручника; оцінити отримані результати та визначити шляхи покращення ІЕП.

## Основна частина

При проектуванні нового продукту на початковому етапі, задовго до того як продукт буде реалізований, для проведення досліджень звичайно використовуються відповідні наукові методи. Наявність подібного підходу забезпечує досягнення бажаного результату, мінімізує уникнення непередбачуваних труднощів на різних етапах процесу розроблення, значно пришвидшує реалізацію готового проекту.

Для завдань, подібних до озвученого в назві публікації, це методи та засоби системного аналізу, суть якого полягатиме у вивченні проблематики та аналізу вимог, дотичних відносно задекларованого дослідження, та розбитті майбутнього продукту на складові частини з метою вивчення, наскільки ці складові працюють та взаємодіють для досягнення поставленої мети [1]. Важливою процедурою системного підходу вважається синтез, суть якого полягає у тому, що основний процес поділяється на етапи, які в свою чергу розділяються на підпроцеси, що дозволяє на детальному рівні визначити зв'язки між ними та їхні залежності. За допомогою вказаних процедур окремі елементи або компоненти поєднуються в єдине ціле [2]. Елементи синтезу використаємо під час моделювання процесу проектування інтелектуального електронного підручника, початковим етапом якого стане визначення та упорядкування за важливістю факторів впливу на якість процесу розроблення прототипу підручника для середньої школи [3].

З використанням інформаційного пошуку [4-9] здійснено визначення сучасного стану ІЕП, ознайомлення зі створеними електронними підручниками, вивчення сучасних технологій для вибору придатної для реалізації; аналіз та синтез – проектування процесу розроблення прототипу ІЕП, виокремлення факторів, які впливають на якість процесу виготовлення електронних підручників; метод бінарних (попарних) порівнянь – для визначені вагового пріоритету факторів впливу на якість за індексом узгодженості; моделювання – створення моделей, які відображають процес реалізації електронного підручника з врахуванням ресурсів, механізмів та засобів керування [10].

Процес розроблення ІЕП звичайно поділяється на такі складові: створення прототипу; формування дизайну; верстання підручника; проектування бази даних; підключення функціональних модулів; тестування та виправлення. Під час моделювання процесів враховуються необхідні ресурси, механізми, засоби керування та визначено результати, що будуть отримані внаслідок діяльності певного виду. Вхідними ресурсами є текстовий та графічний матеріал, аудіо та відеоматеріал [5-8]. Основними механізмами керування слугують авторське право, «Положення про електронний підручник», навчальні програми для 5-9 класів, МОН, Державна служба якості освіти України [11, 12]. До механізмів відносимо також розробників, апаратне та програмне забезпечення, учителів та учнів. На рис. 1 відтворена запроєктована контекстна модель процесу розроблення інтерактивного електронного підручника для середньої школи.



Рисунок 1 – Контекстна модель процесу розроблення ІЕП

Наступний етап – конкретизація системи, яка полягає у декомпозиції контекстної моделі – модель *IDEF0* (рис. 2).

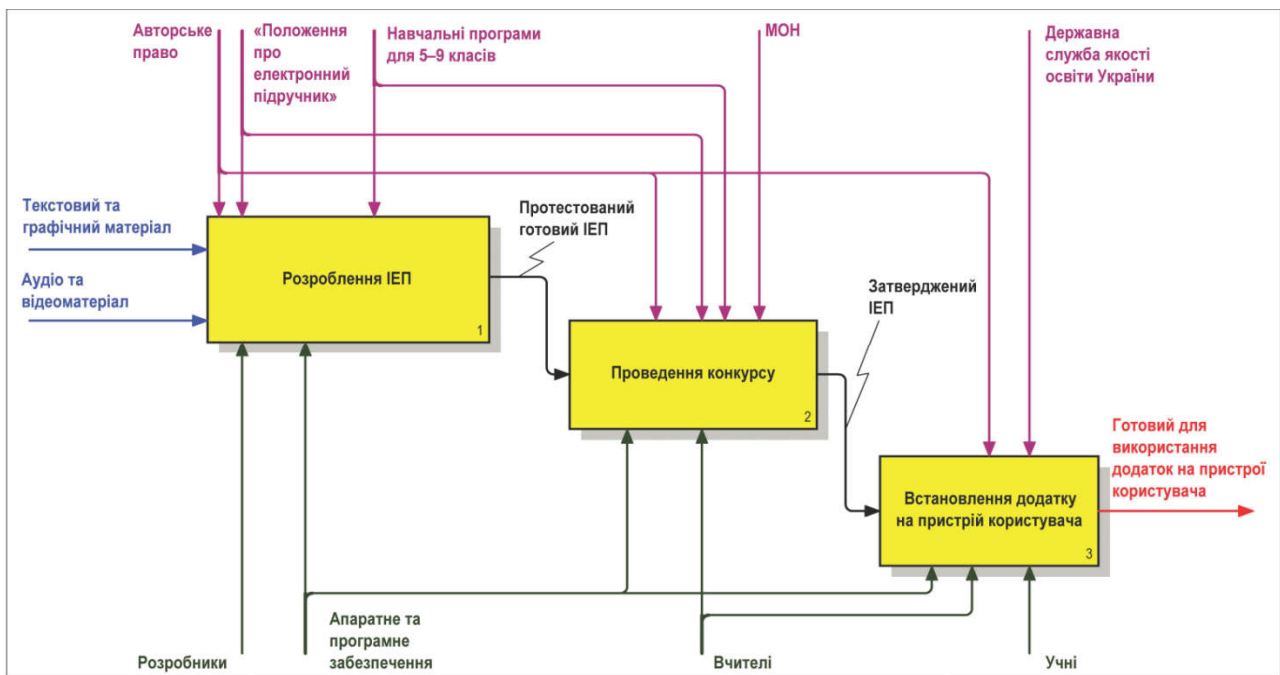


Рисунок 2 – Модель декомпозиції IDEF0

Вона містить функціональні блоки та логічні зв'язки між ними. Для розроблення інтерактивного електронного підручника для середньої школи достатньо трьох функціональних блоків, між якими існують зв'язки типу «вхід-вихід». Перший функціональний блок – «Розроблення ІЕП». Вхідними даними вважаються «Текстовий та графічний матеріал» і «Аудіо та відеоматеріал». Контроль розроблення ІЕП здійснюється на підставі авторського права, «Положення про електронний підручник», навчальної програми для 5-9 класів.

Безпосередню участь у створенні додатку беруть розробники, апаратне та програмне забезпечення. На виході отримуємо протестований готовий електронний підручник.

Завдяки моделюванню візуалізовано всі етапи розроблення ІЕП та шлях його проходження до кінцевого користувача (учнів), у результаті чого отримуємо готовий для використання додаток на пристроях учасників освітнього процесу. Шляхом декомпозиції здійснюється конкретизація кожного етапу.

Формуючи вимоги до якості інтерактивного електронного підручника, необхідно попередньо визначити фактори, що впливають на цю важливу категорію, та їх вагові характеристики. Визначити їх можна за допомогою методу моделювання ієрархій, методу попарних порівнянь та імітаційної моделі опрацювання матриці попарних порівнянь. Внаслідок синтезуємо багаторівневу моделі пріоритетного впливу факторів на процес розроблення ІЕП, а отже і на якість підручника.

Якість виготовлення ІЕП, як і будь якого іншого технологічного процесу, залежить від багатьох факторів.

$X_1$  – *прототип* – чорновий дизайн, який передує розробленню електронного макету та призначений для візуалізації структури майбутньої електронної книги, наочно позначаючи зв'язки між окремими компонентами. Детальна реалізація прототипу дозволяє значно спростити наступні операції та є ключем до успіху.

$X_2$  – *електронний макет* – представлення текстової, графічної, аудіо та відео інформації в комплексі. Це вигляд майбутньої електронної книги, який увійде в основу дизайну.

$X_3$  – *текстовий матеріал* – формує змістову частину електронного підручника та служить підґрунтям для наповнення іншими матеріалами (графічними, аудіо та відео). Перед тим, як потрапити до підручника, текстовий матеріал проходить редакторське опрацювання, вичитку та коректурну правку.

$X_4$  – *графічний матеріал* – ілюстрації, фото, анімації, графіки, схеми, що служать доповненням до текстового матеріалу.

$X_5$  – *аудіоматеріал* – зазвичай дублює текстовий матеріал, може містити доповнення до нього. Вважається обов'язковим елементом в інтерактивних електронних підручниках.

$X_6$  – *відеоматеріал* – доповнення до текстової інформації з елементами візуалізації.

$X_7$  – *верстання ІЕП* – компонування елементів в межах сторінок, надання їм стильового оформлення.

$X_8$  – *інтерактивні елементи* – забезпечують взаємодію користувача з підручником, впливають на процес запам'ятовування та засвоєння матеріалу.

$X_9$  – *дизайн ІЕП* – загальний вигляд підручника. Сукупність елементів таких, як текстовий, графічний, відео та аудіо матеріали, інтерактивні елементи, які формують одне ціле.



Таблиця 1 – Предикати семантичної мережі

$l$	Лінгвістичне трактування предикату (вплив)	$k_{1, p_i}$	Лінгвістичне трактування предикату (залежність)	$k_{2, p_i}$
1	визначає	4	визначається	4
2	формує	4	формується	4
3	обумовлює	3	обумовлюється	3
4	стає основою	4	ґрунтується	4
5	передбачає	2.5	передбачається	2.5
6	враховує	2.5	враховується	2.5
7	впливає	3	отримує	3

Внаслідок отримуємо такий формально-лінгвістичний опис семантичної мережі – вихідної інформаційної бази даних:

$(\forall x_i)[\exists(x_1, \text{прототип}) \leftarrow \text{визначає}(x_1, x_2) \wedge \text{впливає}(x_1, x_8) \wedge \text{формує}(x_1, x_9)] \wedge \text{обумовлює}(x_1, x_{10})$ ;

$(\forall x_i)[\exists(x_2, \text{електронний макет}) \leftarrow \text{визначає}(x_2, x_3) \wedge \text{обумовлює}(x_2, x_4) \wedge \text{визначає}(x_2, x_5) \wedge \text{впливає}(x_2, x_6) \wedge \text{передбачає}(x_2, x_7) \wedge \text{стає основою}(x_2, x_9)]$ ;

$(\forall x_i)[\exists(x_3, \text{текстовий матеріал}) \leftarrow \text{визначається}(x_2, x_3) \wedge \text{передбачає}(x_3, x_4) \wedge \text{обумовлює}(x_3, x_5) \wedge \text{впливає}(x_3, x_6) \wedge \text{визначає}(x_3, x_7) \wedge \text{формує}(x_3, x_8) \wedge \text{стає основою}(x_3, x_9)]$ ;

$(\forall x_i)[\exists(x_4, \text{графічний матеріал}) \leftarrow \text{обумовлюється}(x_4, x_2) \wedge \text{передбачається}(x_4, x_3) \wedge \text{формується}(x_4, x_5) \wedge \text{визначає}(x_4, x_7) \wedge \text{обумовлює}(x_4, x_8) \wedge \text{стає основою}(x_4, x_9)]$ ;

$(\forall x_i)[\exists(x_5, \text{аудіоматеріал}) \leftarrow \text{визначається}(x_5, x_2) \wedge \text{обумовлюється}(x_5, x_3) \wedge \text{визначає}(x_5, x_4) \wedge \text{впливає}(x_5, x_6) \wedge \text{передбачає}(x_5, x_7) \wedge \text{формує}(x_5, x_9)]$ ;

$(\forall x_i)[\exists(x_6, \text{відеоматеріал}) \leftarrow \text{ґрунтується}(x_6, x_2) \wedge \text{передбачається}(x_6, x_3) \wedge \text{визначається}(x_6, x_5) \wedge \text{визначає}(x_6, x_7) \wedge \text{формує}(x_6, x_9)]$ ;

$(\forall x_i)[\exists(x_7, \text{верстання ІЕП}) \leftarrow \text{передбачається}(x_7, x_2) \wedge \text{визначається}(x_7, x_3) \wedge \text{формується}(x_7, x_4) \wedge \text{передбачається}(x_7, x_5) \wedge \text{обумовлюється}(x_7, x_6) \wedge \text{отримує}(x_7, x_{12}) \wedge \text{враховує}(x_7, x_8) \wedge \text{формує}(x_7, x_9)]$ ;

$(\forall x_i)[\exists(x_8, \text{інтерактивні елементи}) \leftarrow \text{отримує}(x_8, x_1) \wedge \text{формується}(x_8, x_3) \wedge \text{обумовлюється}(x_8, x_4) \wedge \text{враховується}(x_8, x_7) \wedge \text{передбачається}(x_8, x_{12}) \wedge \text{впливає}(x_8, x_9) \wedge \text{стає основою}(x_8, x_{11})]$ .

$(\forall x_i)[\exists(x_9, \text{дизайн ІЕП}) \leftarrow \text{формується } (x_9, x_1) \wedge \text{ґрунтується } (x_9, x_2) \wedge \text{формується } (x_9, x_3) \wedge \text{обумовлюється } (x_9, x_4) \wedge \text{враховується } (x_9, x_5) \wedge \text{передбачається } (x_9, x_6) \wedge \text{отримує } (x_9, x_7) \wedge \text{визначається } (x_9, x_8) \wedge \text{впливає } (x_9, x_{10}) \wedge \text{обумовлює } (x_9, x_{11})];$

$(\forall x_i)[\exists(x_{10}, \text{бекенд розробка}) \leftarrow \text{визначає } (x_{10}, x_{11}) \wedge \text{обумовлюється } (x_{10}, x_1) \wedge \text{отримує } (x_{10}, x_9)] \wedge \text{враховується } (x_{10}, x_{12});$

$(\forall x_i)[\exists(x_{11}, \text{тестування}) \leftarrow \text{стає основою } (x_{11}, x_{12}) \wedge \text{ґрунтується } (x_{11}, x_8) \wedge \text{визначається } (x_{11}, x_{10})];$

$(\forall x_i)[\exists(x_{12}, \text{виправлення}) \leftarrow \text{впливає } (x_{12}, x_7) \wedge \text{передбачає } (x_{12}, x_8) \wedge \text{отримує } (x_{12}, x_{10})] \wedge \text{ґрунтується } (x_{12}, x_{11}).$

Для встановлення рівнів важливості факторів будемо на основі семантичної мережі бінарну матрицю досяжності, суть якої зводиться до заповнення таблиці (табл. 2), елементи якої визначаються за таким логічним правилом:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо з вершини } i \text{ мережі досягається вершина } j; \\ 0 \text{ в іншому випадку.} \end{cases} \quad (1)$$

Таблиця 2 – Матриця досяжності

	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>
X <sub>1</sub>	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
X <sub>2</sub>	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0
X <sub>3</sub>	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
X <sub>4</sub>	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0
X <sub>5</sub>	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0
X <sub>6</sub>	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0
X <sub>7</sub>	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
X <sub>8</sub>	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0
X <sub>9</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
X <sub>10</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
X <sub>11</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
X <sub>12</sub>	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1

Подальші дії можуть мати два варіанти. Перший полягає у побудові та використанні так званих ітераційних таблиць. Однак, через велику кількість ітерацій та, відповідно, таблиць реалізуємо більш простий варіант, що передбачає аналіз кількісних показників залежностей між факторами, відображених одиницями у відповідних стовпцях матриці. Розрахунок і порівняння умовних сумарних вагових характеристик залежностей визначає попередні рівні ранжування факторів та вихідну базову модель їх впливу на якість процесу проектування електронного підручника.

Опускаючи розрахунки, наведемо результат застосування пропонованого алгоритму, відмічаючи кількість приєднаних залежностей до факторів кожного з рівнів, що обумовить багаторівневу графічну модель рис. 4.

Остаточно перший рівень (0 залежностей) формує фактор  $X_1$  – *прототип*, другий (1) – фактори  $X_2$  – *електронний макет*,  $X_3$  – *текстовий матеріал*,  $X_{12}$  – *виправлення*, третій (2) –  $X_5$  – *аудіоматеріал*, четвертий (3) утворюють фактори  $X_4$  – *графічний матеріал*,  $X_6$  – *відеоматеріал*,  $X_{10}$  – *бекенд розробка*,  $X_{11}$  – *тестування*, п'ятий (5) –  $X_8$  – *інтерактивні елементи*, шостий (6) –  $X_7$  – *верстання ІЕП*, сьомий(8) –  $X_9$  – *дизайн ІЕП*.

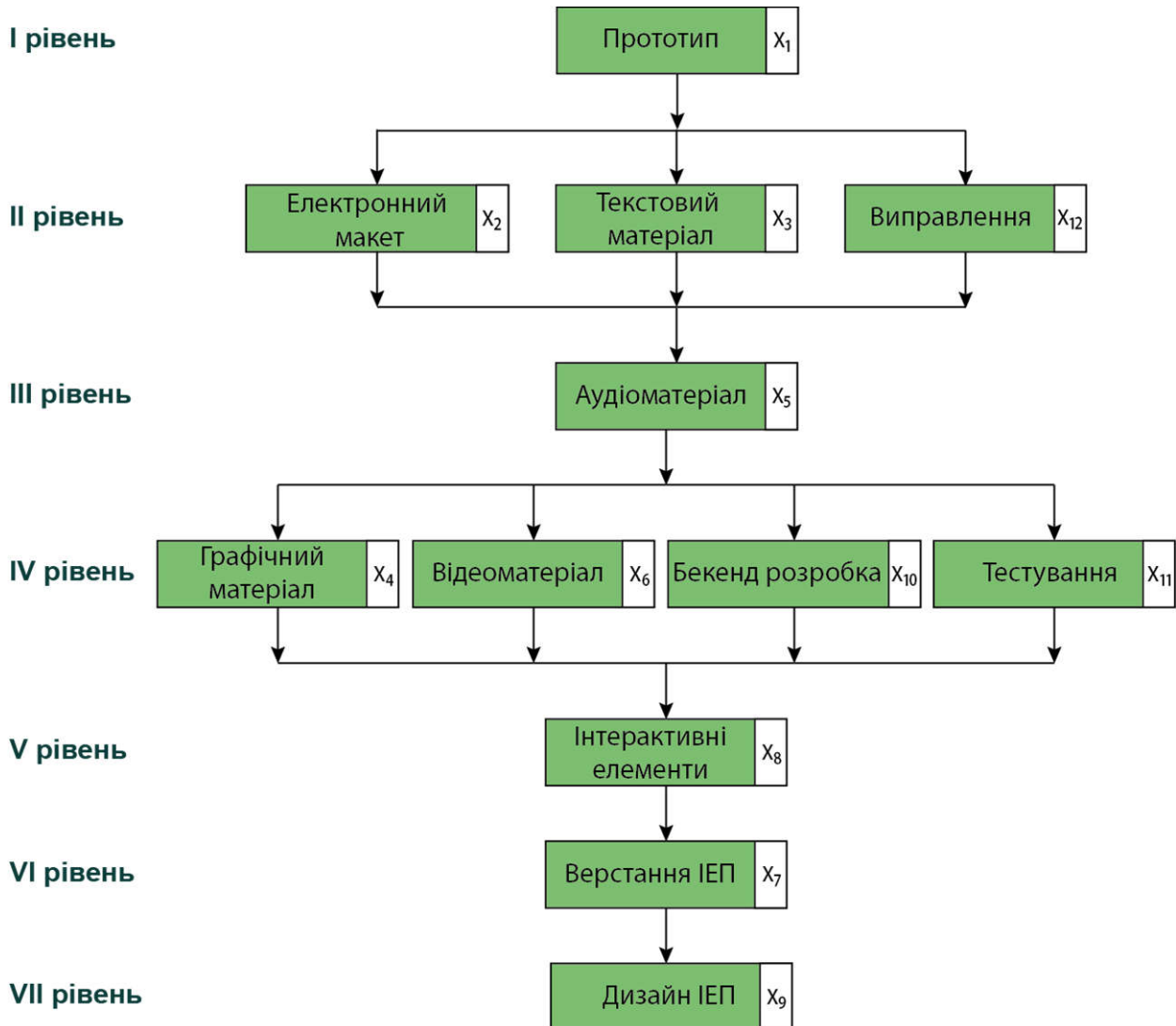


Рисунок 4 – Модель пріоритетного впливу факторів на процес виготовлення ІЕП

Після розподілення за рівнями пріоритетності розрахуємо вагові пріоритети факторів, що обумовить оптимізацію моделі рис.4. З цією метою будемо матрицю попарних порівнянь, алгоритм формування якої полягає у порівнянні між собою умовних переваг факторів, що «займають» відповідний рівень. Кожен фактор порівнюється з іншими факторами та отримує відповідну оцінку важливості, яка вноситься у квадратну обернено симетричну матрицю.

Для більш об'єктивного оцінювання використовується шкала відносної важливості об'єктів [10], суть якої наведено у (табл. 3).

Таблиця 3 – Шкала відносної важливості об'єктів

Оцінка важливості	Критерії порівняння	Пояснення щодо вибору критерію
1	Об'єкти рівноцінні	Відсутність переваги $f_1$ над $f_2$
3	Один об'єкт дещо переважає інший	Існує підстава наявності слабкої переваги $f_1$ над $f_2$
5	Один об'єкт переважає Інший	Існує підстава наявності суттєвої переваги $f_1$ над $f_2$
7	Один об'єкт значно переважає інший	Існує підстава присутності явної переваги $f_1$ над $f_2$
9	Один об'єкт абсолютно переважає інший	Абсолютна перевага $f_1$ над $f_2$ не викликає сумніву
2,4,6,8	Компромісні проміжні значення	Допоміжні порівняльні оцінки

Застосувавши таблицю до моделі рис. 4, отримаємо матрицю, відтворену табл. 4 Звернемо увагу, що оскільки матриця обернено симетрична, тобто  $a_{ji} = 1/a_{ij}$ , тоді її нижня частина міститиме елементи 1/3, 1/5, 1/7, 1/9.

Таблиця 4 – Матриця попарних порівнянь

	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>
X <sub>1</sub>	1	3	3	6	4	6	8	7	9	6	6	3
X <sub>2</sub>	1/3	1	2	5	3	5	7	6	8	5	5	2
X <sub>3</sub>	1/3	1/2	1	5	3	5	7	6	8	5	5	2
X <sub>4</sub>	1/6	1/5	1/5	1	1/3	2	4	3	5	2	2	1/5
X <sub>5</sub>	1/4	1/3	1/3	3	1	3	5	4	6	3	3	1/3
X <sub>6</sub>	1/6	1/5	1/5	1/2	1/3	1	4	3	5	2	2	1/5
X <sub>7</sub>	1/8	1/7	1/7	1/4	1/5	1/4	1	1/2	2	1/4	1/4	1/7
X <sub>8</sub>	1/7	1/6	1/6	1/3	1/4	1/3	2	1	3	1/3	1/3	1/6
X <sub>9</sub>	1/9	1/8	1/8	1/5	1/7	1/5	1/2	1/3	1	1/5	1/5	1/8
X <sub>10</sub>	1/6	1/5	1/5	1/2	1/3	1/2	4	3	5	1	2	1/5
X <sub>11</sub>	1/6	1/5	1/5	1/2	1/3	1/2	4	3	5	1/2	1	1/5
X <sub>12</sub>	1/3	1/2	1/2	5	3	5	7	6	8	5	5	1

Опрацювання матриці починається із знаходження головного власного вектора  $X(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , для чого використаємо відому формулу, побудовану на обчисленні середнього геометричного елементів рядків матриці, а саме

$$x_i = \sqrt[n]{a_{i1} \cdot a_{i2} \cdot \dots \cdot a_{in}} \quad i = \overline{1, n}. \quad (2)$$

Розрахунок за формулою (2) та наступні перетворення, пов'язані з опрацюванням матриці, виконуються в середовищі спеціалізованої програми «Імітаційне моделювання в системному аналізі методом бінарних порівнянь» [14], інтерфейс якої наведений на рис. 5.

Введіть число критеріїв:

Вивід проміжних результатів

Введіть назви критеріїв

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
X1	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12

Введення експертних оцінок переваг критеріїв

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12
X1	1	3	3	6	4	6	8	7	9	6	6	3
X2	1/3	1	2	5	3	5	7	6	8	5	5	2
X3	1/3	1/2	1	5	3	5	7	6	8	5	5	2
X4	1/6	1/5	1/5	1	1/3	2	4	3	5	2	2	1/5
X5	1/4	1/3	1/3	3	1	3	5	4	6	3	3	1/3
X6	1/6	1/5	1/5	1/2	1/3	1	4	3	5	2	2	1/5
X7	1/8	1/7	1/7	1/4	1/5	1/4	1	1/2	2	1/4	1/4	1/7
X8	1/7	1/6	1/6	1/3	1/4	1/3	2	1	3	1/3	1/3	1/6
X9	1/9	1/8	1/8	1/5	1/7	1/5	1/2	1/3	1	1/5	1/5	1/8
X10	1/6	1/5	1/5	1/2	1/3	1/2	4	3	5	1	2	1/5
X11	1/6	1/5	1/5	1/2	1/3	1/2	4	3	5	1/2	1	1/5
X12	1/3	1/2	1/2	5	3	5	7	6	8	5	5	1

	BI	E	En	En1	En2
1	0	4,508	0,247	3,309	13,36
2	0	3,116	0,171	2,221	12,96
3	0,58	2,776	0,152	1,982	12,99
4	0,9	0,879	0,048	0,624	12,92
5	1,12	1,454	0,079	1,020	12,76
6	1,24	0,783	0,043	0,557	12,94
7	1,32	0,284	0,015	0,203	12,98
8	1,41	0,389	0,021	0,274	12,81
9	1,45	0,212	0,011	0,155	13,37
10	1,49	0,697	0,038	0,497	12,96
11	1,51	0,621	0,034	0,443	12,99
12	1,48	2,473	0,135	1,770	13,02

Результати методу

$\Lambda_{\max}$  13,0105421187584

ІП 0,091867465341676

ВП 0,062072611717349

Рисунок 5 – Інтерфейс програми «Імітаційне моделювання в системному аналізі методом бінарних порівнянь» із введеними даними та отриманими результатами

Після введення кількості та умовних позначень факторів й елементів матриці попарних порівнянь опція «застосувати» ініціює розрахунок та отримання вікна проміжних результатів з опціями E, E<sub>n</sub>, E<sub>n1</sub>, E<sub>n2</sub>. Одночасно у нижньому вікні отримуємо значення критеріїв їх достовірності.

Для кращого розуміння наведемо скорочено основні кроки обчислень.

Компоненти головного власного вектора матриці попарних порівнянь характеризує опція E:

$$X = (4,508; 3,116; 2,776; 0,879; 1,454; 0,783; 0,284; 0,389; 0,212; 0,697; 0,621; 2,473).$$

Водночас здійснюється нормалізація вектора X за формулою

$$x_{i \text{ норм}} = \frac{\sqrt[n]{a_{i1} \cdot a_{i2} \cdot \dots \cdot a_{in}}}{\sum_{i=1}^n \sqrt[n]{a_{i1} \cdot a_{i2} \cdot \dots \cdot a_{in}}} \quad i = \overline{1, n} \quad (3)$$

У результаті отримуємо нормалізований вектор (опція E<sub>n</sub>)

$$X_{\text{норм}} = (0,247; 0,171; 0,152; 0,048; 0,079; 0,043; 0,015; 0,021; 0,011; 0,038; 0,034; 0,135).$$

Отже, розраховано уточнені числові пріоритети факторів впливу на якість виготовлення ІЕП для середньої школи, що обумовлює попередній формальний результат розв'язання задачі. Для кращого візуального сприйняття вагових значень факторів помножимо компоненти вектора  $X_{\text{норм}}$  на коефіцієнт масштабування, наприклад,  $k = 500$ . Дістанемо такі нові значення:

$$X_{\text{норм}} \times k = (123,5; 85,5; 76; 24; 39,5; 21,5; 7,5; 10,5; 5,5; 19; 17; 67,5).$$

Отриманий результат забезпечує синтез моделі пріоритетів факторів.

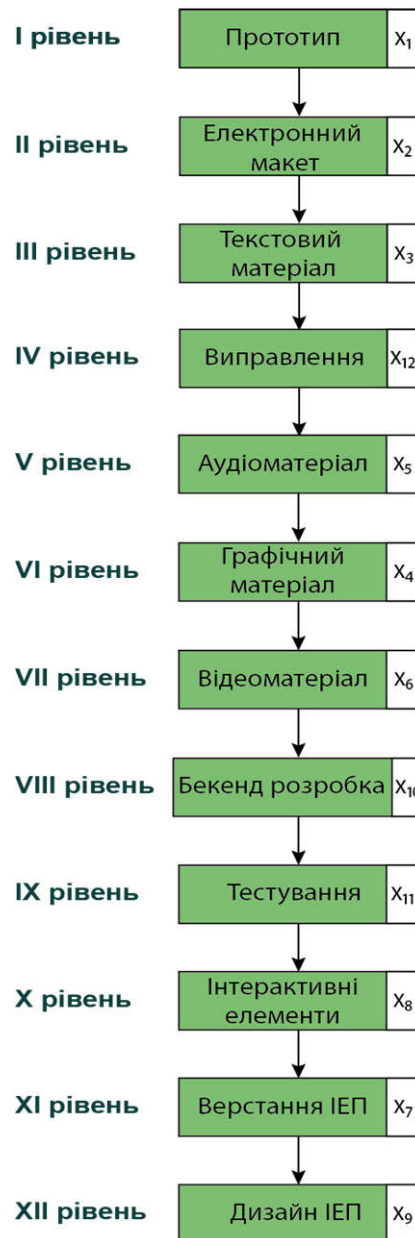


Рисунок 6 – Оптимізована модель пріоритетного впливу факторів на процес виготовлення ІЕП

Узгодженість числових пріоритетів факторів визначається критеріями, отриманими в опції «Результати методу» рис.5. Важливим показником вважається максимальне власне значення додатної обернено-симетричної

матриці  $\lambda_{\max}$ . Для його розрахунку матрицю попарних порівнянь множимо справа на вектор  $X_{\text{норм}}$ . Отримуємо вектор, заданий опцією  $E_{n1}$ :

$$X_{\text{норм}1} = (3,309; 2,221; 1,982; 0,624; 1,020; 0,557; 0,203; 0,274; 0,155; 0,497; 0,443; 1,770).$$

Далі ділимо покомпонентно вектор  $X_{\text{норм}1}$  на  $X_{\text{норм}}$ , що дає вектор ( $E_{n2}$ )

$$X_{\text{норм}2} = (13,36; 12,96; 12,99; 12,92; 12,76; 12,94; 12,98; 12,81; 13,37; 12,96; 12,99; 13,02).$$

Розрахунок критерію  $\lambda_{\max}$  отримано як середнє арифметичне компонент вектора  $X_{\text{норм}2}$ . У вікні інтерфейсу рис. 5 в опції «Результати методу» маємо  $\lambda_{\max} = 13,01$ . Достовірність результатів забезпечується індексом узгодженості  $IU$  (у вікні – індекс погодженості ІП), який свідчить про адекватність попарних порівнянь факторів на основі шкали відносної важливості об'єктів. Його значення залежить від  $\lambda_{\max}$  та кількості факторів і розраховується за формулою:

$$IU = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1). \quad (4)$$

Отримане за програмою значення  $IU = 0,09$ .

Значення індексу узгодженості повинно корелювати з еталонним показником узгодженості – випадковим індексом), величина якого згенерована програмним способом для різної кількості об'єктів (матриць різного порядку) і задається окремою таблицею [10].

Таблиця 5 – Значення випадкового індексу для матриць різного порядку

Кількість об'єктів	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Еталонне значення індексу	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,54

Величина індексу узгодженості перевіряється виконанням нерівності  $IU < 0,1 \times WI$ . Для використаної нами матриці матимемо  $0,09 < 0,1 \times 1,54$ , що свідчить про адекватність результатів.

Завершує перевірку отриманих результатів відношення узгодженості  $WU = IU / WI$  (у вікні інтерфейсу ВП). Згідно програми для табличного  $WI = 1,54$  маємо  $WU = 0,06$ , що забезпечує умову адекватності результату:  $WU \leq 0,1$ .

Отже, як слідує з попереднього аналізу, вважаємо, що результати опрацювання матриці попарних порівнянь відповідають згаданим вище критеріям, що обумовлює достатньо високий рівень збіжності процесу. Досягнуто належну узгодженість експертних оцінок стосовно попарних порівнянь факторів, відображених у відповідній матриці.

У результаті на першому етапі дослідження отримано модель факторів, оптимізовану за пріоритетністю впливу на процес виготовлення ІЕП для середньої школи. Як впливає з моделі, визначальним у цьому процесі є фактор 1 – *прототип*, який створюється на початковому етапі та визначає майбутню

структуру електронної книги, важливі її елементи та їхнє розміщення в межах сторінок додатку, крім того відбувається проектування функцій книги. На другому рівні знаходиться *електронний макет*, який відображає майбутній дизайн ІЕП, відображає оформлення та розміщення всіх компонентів сторінок.

На третьому рівні – *текстовий матеріал*, це якісна складова ІЕП. Саме від змісту текстової частини залежить якість книги та її ефективність в навчальному процесі. На четвертому рівні – *виправлення*. Проект вважається незавершеним, поки всі помилки, виявлені в процесі тестування, не будуть виправлені. П'ятий рівень – *аудіо матеріал*, що уособлює відтворення текстової інформації у аудіо форматі. На шостому рівні – *графічний матеріал*, який слугує візуальним доповненням до аудіо та текстового матеріалів. На сьомому рівні – *відеоматеріал*, використовується з метою доповнення текстового матеріалу, закріплення пройденого матеріалу. На восьмому – *бекенд розробка* впливає на якість функціональної складової електронного підручника, зокрема завантаження контенту, додавання коментарів, друкування, додавання слів до словника. На дев'ятому рівні – *тестування* – етап, на якому відбувається перевірка на скільки якісно виконані попередні етапи. На десятому рівні – *інтерактивні елементи*, впливають на якість засвоєння пройденого матеріалу користувачами, чим більше користувач взаємодіє з електронною книгою, тим краще запам'ятовується пройдений матеріал. На одинадцятому рівні – *верстання ІЕП*. Правильне компонування елементів на сторінці електронної книги впливає на якість вивчення матеріалу. На дванадцятому рівні – *дизайн ІЕП*. Якісний дизайн здатний зацікавити користувача вивчати матеріал, а погано продуманий – навпаки відштовхнути.

Таким чином, побудова оптимізованої моделі дає краще розуміння важливості кожного з факторів, що уможливило більш обґрунтовано підійти до реалізації проекту з виготовлення інтерактивного електронного підручника для середньої школи. Його початок полягає у розробленні прототипу як одного з найважливіших етапів створення нового продукту. Прототип забезпечує візуальне відтворення майбутнього проекту, що містить у собі основні функції, які повинен виконувати додаток, його загальний дизайн, слугує основою під час створення електронного макету. При якісному його виконанні можна спростити процес виготовлення, зменшити час реалізації проекту та мінімізувати ресурси, необхідні у процесі реалізації. Чим більше нюансів зможе охопити прототип, тим якісніший продукт можна отримати на виході. Прототип ІЕП повинен містити загальну структуру додатку, відображати елементи інтерактивності. Також у ньому повинна відображатися загальна концепція дизайну – так званий чорновий дизайн.

Прототипування здійснюється за допомогою програми Axure RP (рис. 7). Однією з головних її переваг вважається можливість програмування «поведінки» кнопок, текстових полів, панелей та інших віджетів, внаслідок чого отримані макети або прототипи наближені до остаточного результату і доступні для тестування. Взаємодія з багатьма віджетами, що поставляються разом з

Axure RP, може бути налаштована за допомогою створення тестових випадків, умов, оброблюваних подій і виконуваних дій. Наприклад, для списку можна обробляти такі події, як натиснення, зміна елемента, фокус і втрата фокусу.



Рисунок 7 – Відображення прототипу ІЕП у програмі Axure RP

Дизайн відіграє важливу роль при створенні ІЕП і саме йому слід присвятити велику увагу при створенні прототипу-шаблону. Дизайн повинен виконувати не лише естетичну, але й функціональну роль.

При розробленні дизайну будь-якого додатку незалежно від його функціонального призначення слід враховувати вимоги UX та UI дизайну. Всі вимоги можна сформулювати наступними тезами:

- *додаток повинен орієнтуватися на певну цільову аудиторію*. Так, зокрема, при реалізації прототипу ІЕП з фізики потрібно враховувати особливості вікової групи школярів, її особливості;

- *інтерфейс додатку повинен бути інтуїтивним та зрозумілим для користувача*;

- *необхідно проводити аналіз поведінки користувачів з метою удосконалення продукту*. Аналіз містить відслідковування дій користувачів, їхні уподобання, частоту використання тих чи інших функцій;

- *тестування*. Перед запуском здійснювати тестування функцій, поєднання колірної гами, зручності користування, кросплатформеності та кросбраузерності.

При виборі колірної гами слід враховувати багато факторів. Серед них є символічне сприйняття кольорів, їхній фізичний, оптичний, емоційний вплив на користувача, особливості сприйняття різної вікової групи населення. Науковцями були проведені дослідження і доведено, що оранжевий та червоний кольори збуджують зорові та слухові центри мозку, їх ще називають «кричущими», в той час як зелений та синій кольори послаблюють збудження слухового центру, компенсують напруження, створене іншими кольорами.

Зелений колір вважається заспокійливим, підходить для стомлених людей. Жовтий навпаки збуджує, турбує людину, в той час як синій заставляє заглиблюватись. Чим темніший колір, тим більше наближує людину до нескінченного. Білий колір – це так зване мовчання, сповнене великою кількістю можливостей. Живим кольором вважається червоний. Чорний колір символізує бездіяльність, мовчання без майбутнього.

В інтерактивному електронному підручнику колір відіграє важливу роль. Так, при наведенні або кліку на текст певного кольору будуть виконуватися наступні дії: фіолетовий – гіперпосилання; зелений – відкривається вікно з додатковою інформацією про науковця; оранжевий – переклад; червоний – визначення, яке слід запам'ятати.

Для інтерфейсу за основу обрано зелений колір, оскільки він не буде здійснювати великого навантаження на зір користувача, що дозволяє працювати з підручником більший період часу, ніж би це можливо було з іншими кольорами (наприклад, з червоним). На рис. 8 можна ознайомитися з одним із прототипів, а саме із сторінкою тестування електронного підручника.

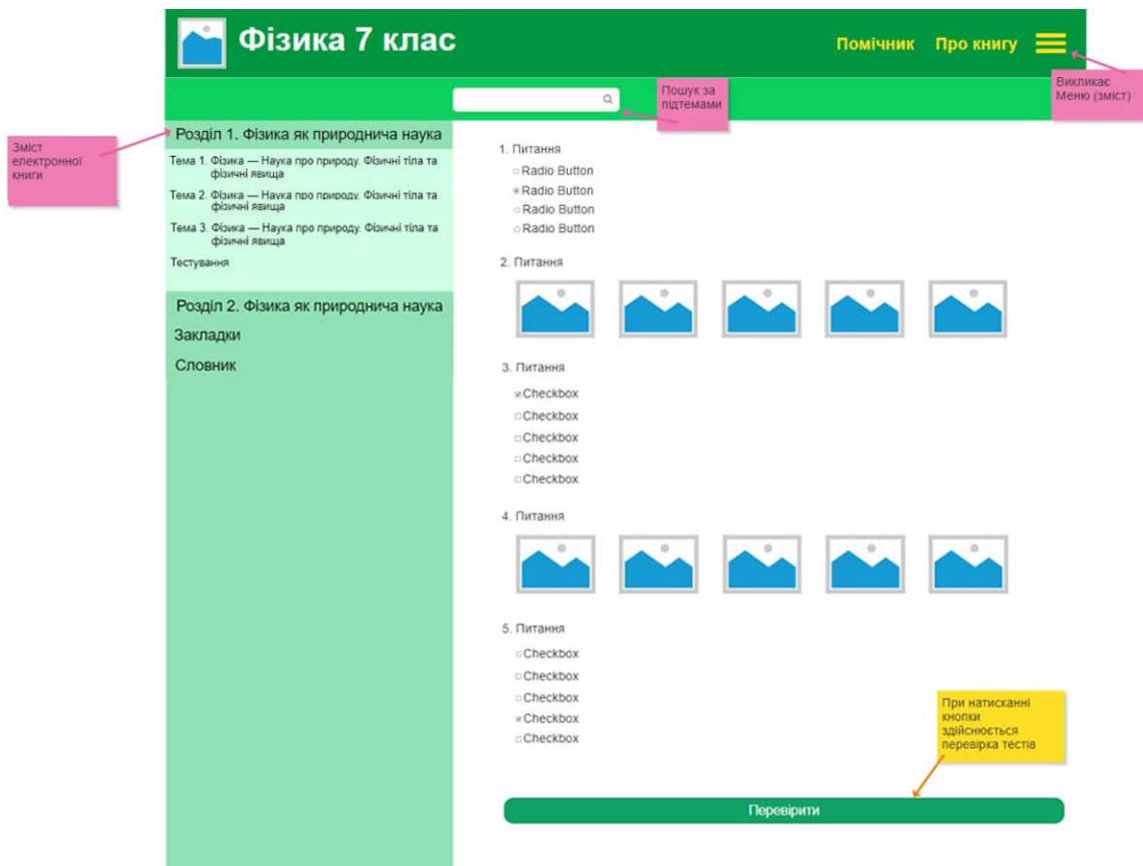


Рисунок 8 – Відображення прототипу у програмі Axure RP

При розробленні дизайну важливо звертати увагу на шрифтове оформлення. Так, для основного тексту рекомендовано використовувати шрифти із засічками (Serif), адже вони забезпечують зручність читання при невеликому кеглі складання тексту. В той час як для інтерфейсу книги-додатку та безпосередньо для заголовків можна використовувати шрифти без засічок

(Sans Serif), які виглядають більш сучасно і при невеликому обсязі тексту досить читабельні, зокрема шрифт Roboto.

Електронний макет розробляється в програмі Adobe Photoshop CC, оскільки вона дозволяє легко працювати з шарами, групувати їх в папки, переміщувати та приховувати. Крім того, присутні напрямляючі відносно яких легко розміщувати елементи, а також лінійки, одиниці вимірювання яких можна задати в налаштуваннях. Наявний арсенал інструментів для роботи з графікою.

З прикладом електронного макету можна ознайомитись на рис. 9.

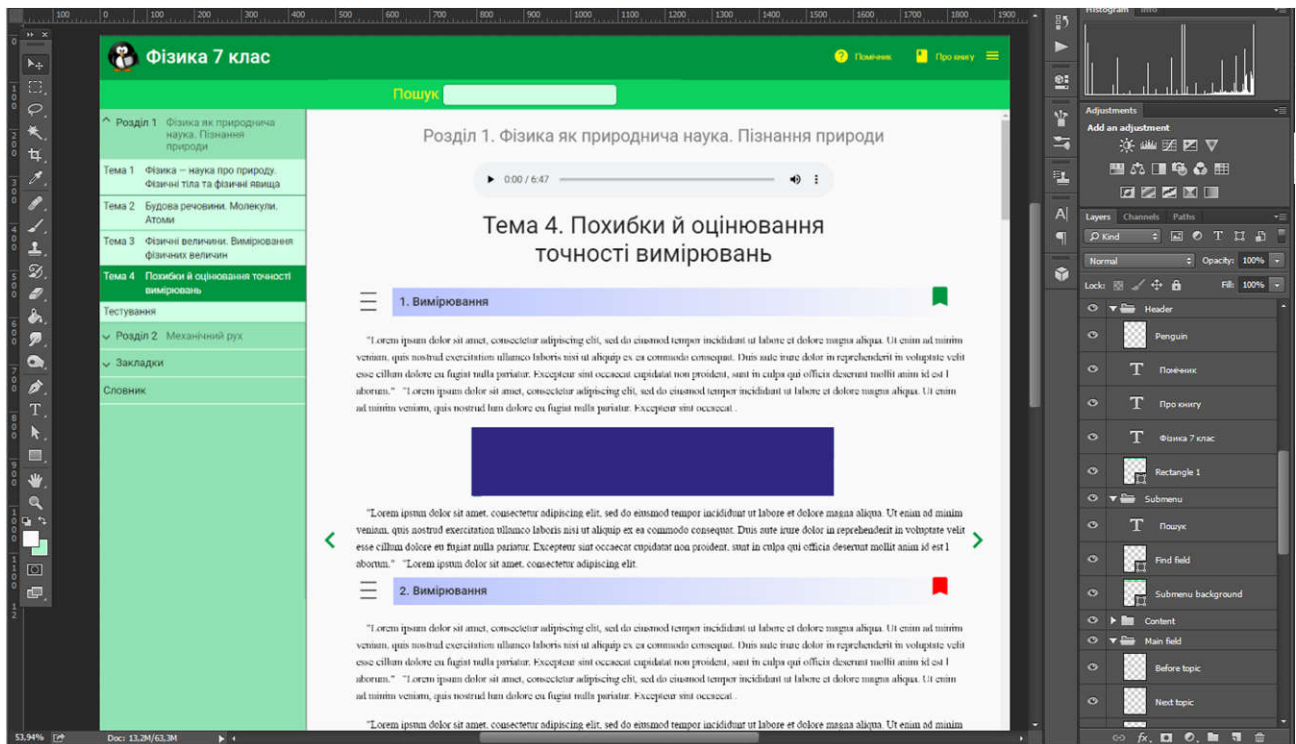


Рисунок 9 – Відображення електронного макету підручника у програмі Adobe Photoshop

В електронному макеті суттєву роль відіграє візуалізація. Інтерфейс додатку повинен бути детально розробленим з врахуванням всіх дрібниць. Зважаючи на специфіку книги, вона має динамічний контент (який змінюється), тому замість тексту та зображення використовують шаблони (це відноситься лише до контенту підручника). Замість тексту застосовують шаблонний «текст-рибу». У ролі прототипів зображень використовують прямокутники – імітатори відтворень. В подальшому верстальник звертає увагу на стиль оформлення окремих функціональних елементів.

Зручність є ключовою вимогою стосовно додатків. Для її забезпечення використовується навігаційна панель. Інтуїтивність, простота у користуванні, можливість при невеликій кількості кліків знайти потрібну інформацію – основні вимоги до навігації різних рівнів.

Перевірка функціональності ІЕП полягає в окремій перевірці кожної реалізованої функції. Серед них можна виділити додавання та видалення закладок, додавання нових термінів до словника, тестування та опрацювання відповідей, спливаючі підказки, відображення додаткової інформації та ін.

Додаток повинен коректно відкриватися на будь-якому пристрої, незалежно від операційної системи.

## **Висновки**

Дослідження зосереджене на проектуванні інтерактивного електронного підручника та містить цінну інформацію для тих, хто цікавиться створенням якісного навчального продукту.

Виконано огляд літературних джерел, дотичних до проблематики виконаного дослідження, що стосується проектування інтерактивного електронного підручника для середньої школи. Особлива увага приділяється важливості збору та аналізу потреб користувачів, а також включенню інтерактивних елементів для підвищення ефективності навчання. Виокремлено фактори впливу на якість процесу створення ІЕП. На основі побудованої семантичної мережі зв'язків між факторами синтезовано оптимальну багаторівневу модель пріоритетного їх впливу на якість електронного підручника.

Описано ключові етапи процесу проектування, зокрема, вибір оптимальної платформи та контенту, розробку інтерактивних елементів та тестування готового продукту. Створено прототип ІЕП у форматі книга-додаток на основі фреймворку Angular JS, HTML, CSS та різноманітних підключених сервісів. Даний додаток доступний на різних пристроях незалежно від операційної системи. Він дозволяє додавати терміни до словника, додавати та видаляти закладки, здійснювати пошук за словом. Додаток має ряд інтерактивних елементів. Серед них можна виділити гіперпосилання, спливаючі підказки, вікна із додатковою інформацією, які з'являються після кліку на імені науковця. Створений прототип дозволяє проводити тестування, після завершення якого видає результат відповідно до правильної кількості відповідей. Результат дослідження може слугувати базовою версією майбутнього електронного підручника, що потребуватиме значних доопрацювань, що обумовлять наступні версії. Серед них можна виділити авторизацію, додавання коментарів, ігор та нових інтерактивних елементів таких, як інтерактивна карта, вбудованих 3D об'єктів та ін.

Розроблений прототип електронного підручника демонструє потенціал інтерактивної форми навчання та підвищує ефективність засвоєння матеріалу учнями. Він містить візуально привабливий дизайн та інтерактивні мультимедійні елементи, такі як зображення, відео та аудіо записи що забезпечують активне та більш глибоке засвоєння матеріалу.

Список літератури.

1. Згуровський, М.З., & Панкратова, Н.Д. (2007). Основи системного аналізу. Київ: Видавнича група ВНУ.

2. Лямець, В.І., & Тевяшев, В.І. (2004). Системний аналіз. Вступний курс. 2-е вид., перероб. та допов. Харків: ХНУРЕ.
3. Medium. (б. д.). (2019). Важливість прототипу в дизайні. <https://medium.com/@uixukr/важливість-прототипу-в-дизайні-cae53f2a6dd5>.
4. Воротникова, І.П. (Ред.). (2019). Інформаційні технології і засоби навчання: зб. наук. праць. Том 71, (3).
5. Інститут модернізації змісту освіти. (б. д.). Електронні версії підручників. <https://lib.imzo.gov.ua/yelektronn-vers-pdruchnikv/>.
6. Видавництво «Генеца». (б. д.). Електронні підручники «Видавництва «Генеца». <https://www.geneza.ua/ebooks>.
7. Dxdigitals. (б. д.). Електронні підручники в Україні, 2020/2021 навчальний рік. <https://www.dxdigitals.info/2013/08/elektronni-shkilni-pidruchniki-Ukraina.html>.
8. Bookri. (2018, 11 червня). Формати електронних книжок. [http://bookri.com.ua/bookri-school/vydy\\_e-knyg.html](http://bookri.com.ua/bookri-school/vydy_e-knyg.html).
9. Розумники. (б. д.). Портал електронних підручників «Розумники». URL: <https://xn---htbboaltok4a8b7l.xn--j1amh/catalog/>.
10. Дурняк, Б.В., Піх, І.В., & Сеньківський, В.М. (2022). Теоретичні основи інформаційної концепції формування та оцінювання якості видавничо-поліграфічних процесів. Монографія. Львів: Українська академія друкарства.
11. Міністерство освіти і науки України. (2019). Положення про електронний підручник: [зі змін. та допов., внесені наказом від 29 травня 2019 року №748]. К.: Офіційний вісник України, № 52, стор. 73, стаття 1799.
12. Євро Освіта. (б. д.) Про переваги і вразливі місця електронних підручників. <http://www.euroosvita.net/prog/print.php/prog/print.php?id=1005>.
13. Матвеев, В. (б. д.) Представлення знань з використанням логіки предикатів. [matveev.kiev/expirt4.pdf](http://matveev.kiev/expirt4.pdf).
14. Гілеті, І.В., Сеньківському, В.М., & Мельникову, О.В. (2012). Імітаційне моделювання в системному аналізі методом бінарних порівнянь. (Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 41832. Україна. [Комп'ютерна програма]. Зареєстровано 17.01.2012).