

## **КОМПЛЕКСНА МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ У ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

**Лаптев О.А., Собчук В.В., Станжицький О.М.,  
Лукова-Чуйко Н.В.**

### **ВСТУП**

Сучасні тенденції розвитку освітніх технологій, а також основні напрями державної політики України у цій сфері потребують спрямування зусиль на розвиток дистанційного навчання як одного з дієвих інструментів реалізації моделі безперервного навчання<sup>1</sup>. Актуалізація цього питання набуває характерних ознак в умовах санітарно-епідемічних обмежень у світових масштабах і потребує вдосконалення процедур надання якісних освітніх послуг.

Дистанційне навчання – особлива форма цілеспрямованого процесу засвоєння знань, умінь і навичок, відмінною особливістю якої є взаємодія віддалених учасників навчального процесу у спеціалізованому середовищі, яке функціонує на базі сучасних психолого-педагогічних та інформаційно-комунікаційних технологій<sup>2</sup>.

Технології дистанційного навчання можуть бути використані в інших формах навчання: очній, заочній та змішаних формах навчання, системі перепідготовки та підвищення кваліфікації, системі індивідуальної підготовки під час вивчення окремих дисциплін (тем) або блоків дисциплін.

Світові тенденції розвитку дистанційного навчання у передових країнах світу вказують на намагання забезпечити, з одного боку, наближення віртуального навчального середовища до реального життя через використання технологій імітаційного моделювання та

---

<sup>1</sup> National strategy for the development of education in Ukraine for the period up to 2021: approved. Decree of the President of Ukraine of June 25, 2013 № 344/2013. Official Gazette of the President of Ukraine. 2013. 05 July. № 17. P. 31.

<sup>2</sup> Oleg Barabash, Andrii Musienko, Spartak Hohoniants, Oleksandr Laptiev, Oleg Salash, Yevgen Rudenko, Alla Klochko. Comprehensive Methods of Evaluation of Efficiency of Distance Learning System Functioning. International Journal of Computer Network and Information Security(IJCNIS). 2021. Vol. 13. № 1. P. 16–28.

гейміфікацію, з іншого – здійснення навчання з урахуванням індивідуальних можливостей та наявних знань тих, хто навчається. Розглядаються можливості використання результатів проходження дистанційних навчальних курсів із метою відбору персоналу для участі у конкретних операціях (місіях) з урахуванням відповідних вимог. Перспективні засоби дистанційного навчання мають забезпечити ефективну індивідуальну підготовку відповідних фахівців з урахуванням прикладної необхідності та можливостей фахівців, упровадження рейтингової системи їх оцінювання на рівні відомств, а також дистанційне підвищення кваліфікації.

Аналіз тенденцій розвитку освітнього середовища показав, що найраціональнішим є застосування змішаної форми навчання з використанням сучасних інформаційно-комунікаційних технологій. Використання технологій дистанційного навчання дає змогу поряд із підвищенням якості освіти за рахунок використання новітніх технологій знизити витрати на освіту завдяки суттєвій економії видатків на утримання аудиторного фонду та обладнанні, зменшенню термінів та кількості міграції здобувачів освіти до освітянських центрів, мінімізації необхідної кількості друкованих видань тощо.

Отже, розроблення комплексної моделі безперервної освіти на основі сучасних наукових методів є актуальним завданням.

## **1. Виникнення передумов проблеми та формулювання проблеми**

Дистанційне навчання являє собою сучасну складно організовану форму освіти, здатну задовольнити освітні потреби здобувачів незалежно від їх просторового й часового розташування відносно освітніх установ. Воно містить у собі засоби, процес і відповідний освітнім стандартам результат реалізованої за допомогою інформаційно-комунікаційних та телекомунікаційних технологій взаємодії викладача та здобувачів у специфічному інформаційно-освітньому середовищі.

Складники дистанційного навчання, які не можуть існувати й розглядатися окремо, однак слід зазначити, що саме ефективні організація, наповнення та використання інформаційно-освітнього середовища є необхідною умовою високої якості дистанційного навчання й у поєднанні з ефективною методикою викладання дають можливість ефективно функціонувати системі у цілому розглянуто у

роботі<sup>3</sup>. Однак дослідники мало уваги приділили тому факту, що значну роль відіграє комплекс програмних засобів дистанційного навчання, який складається із: засобів організації та управління навчанням, засобів розроблення ресурсів дистанційного навчання (у першу чергу – дистанційних курсів), засобів організації взаємодії між викладачем та учнями та учнями між собою (засоби вебкомунікацій).

Відокремленому оцінюванню окремих елементів системи та показників якості їх функціонування, зокрема процесів розроблення навчального контенту, програмних продуктів тощо, відводиться окрема роль у сучасному освітньому процесі<sup>4,5</sup>. Однак у цілому не описано комплексного урахування характеру впливу і внеску в результат функціонування системи дистанційного навчання.

Під час оцінювання за показниками якості мало вивчено проблему комплексного оцінювання показників якості й обсягу задоволених потреб (заявок) споживачів освітніх послуг<sup>6</sup>. Зокрема, додаткового урахування потребують результати функціонування підсистем нормативно-правового забезпечення; організаційного забезпечення; науково-методичного забезпечення; інформаційно-телекомунікаційного забезпечення; математичного та програмного забезпечення; матеріально-технічного забезпечення; кадрового забезпечення; фінансово-економічного забезпечення.

Аналіз сучасної літератури засвідчує, що повною мірою не досліджено процес спільного функціонування підсистем, який забезпечує виконання завдань системи дистанційного навчання. Урахування характеру показників навчання та їхнього впливу на показники ефективності може стати основою для визначення напрямів досягнення очікуваних програмних результатів в освітньому процесі, особливо в критичний період діючого військового стану. Тому існує гостра необхідність удосконалення відповідного науково-методичного апарату та створення

---

<sup>3</sup> Бурячок В. Л., Толубко В. Б., Хорошко В. О., Толюпа С. В. Інформаційна та кібербезпека : соціотехнічний аспект. Київ : ДУТ, 2015.

<sup>4</sup> M. Moore, and G. Kearsley, Distance education: A systems view of online learning. USA: Cengage Learning, 2017.

<sup>5</sup> V. Ruhe, and B.D. Zumbo, Evaluation in distance education and e-learning: The unfolding model. New York, USA : Guilford Press, 2018.

<sup>6</sup> Oleg Barabash, Oleksandr Laptiev, Valentyn Sobchuk, Ivanna Salanda, Yulia Melnychuk, Valerii Lishchyna. Comprehensive Methods of Evaluation of Distance Learning System Functioning. International Journal of Computer Network and Information Security (IJCNIS). 2021. Vol. 13. № 3. P. 62–71.

комплексної методики оцінювання ефективності функціонування системи дистанційного навчання.

## 2. Теоретичні основи дослідження

В основу методики покладено комплексний підхід до оцінювання ефективності функціонування системи ДН на основі врахування внесків підсистем нормативно-правового, організаційного, науково-методичного, інформаційно-телекомунікаційного, математичного, програмного, матеріально-технічного, кадрового та фінансово-економічного забезпечення. Вона ґрунтується на методах теорії ймовірностей<sup>7,8,9</sup> та аналізу ієрархій<sup>10,11</sup> для опису впливу важливості внесків підсистем системи ДН.

Структурно-логічну схему методики оцінювання ефективності функціонування системи дистанційного навчання подано на рис. 1.

У блоці «Вихідні дані» формуються вихідні дані щодо: завдань системи та її підсистем, укомплектованості підрозділів дистанційного навчання та забезпеченості технічними засобами навчання, кількості споживачів та потреб в освітніх послугах, що необхідно задовільнити.

У блоці «Оцінювання ефективності функціонування підсистеми СДН» визначаються показники ефективності функціонування підсистеми СДН: імовірності виконання завдань підсистемами нормативно-правового, організаційного, науково-методичного, інформаційно-телекомунікаційного, математичного та програмного, матеріально-технічного, кадрового, фінансово-економічного

---

<sup>7</sup> Хорошко В. О., Хохлачова Ю. Є. Інформаційна війна. ЗМІ як інструмент інформаційного впливу на суспільство. Т. 22. Ч. 1: Безпека інформації. 2016.

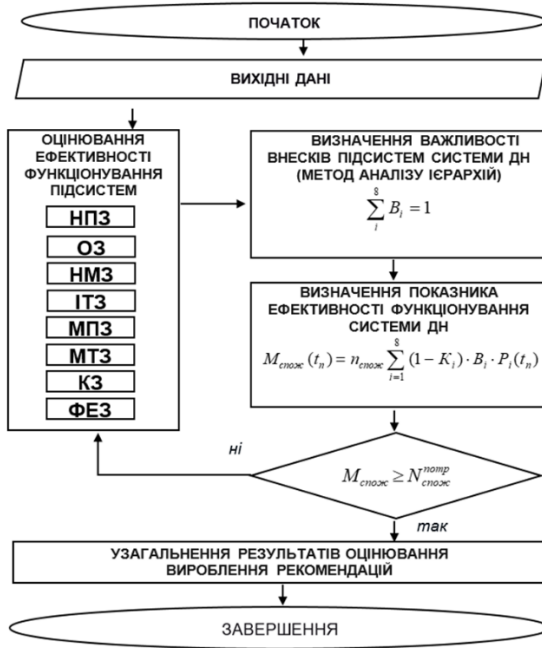
<sup>8</sup> Удосконалена методика вибору послідовності пріоритетів обслуговування потоків інформації / О. А. Лаптев та ін. Зв'язок. 2020. № 4(146). С. 27–31.

<sup>9</sup> Лаптев О. А., Собчук В. В., Барабаш А. О., Мусієнко А. П. Методи структуризації даних щодо відомих вразливостей програмних та апаратних платформ. Математика. Інформаційні технології. Освіта. 2022 рік : збірка тез допов. уч. XI Міжнар. наук.-практ. конф., 3–5 червня 2022 р. Луцьк – Світязь : СНУ імені Лесі Українки, 2022. С. 89–95.

<sup>10</sup> 10 популярных «фишинговых» тем в 2021 году по версии Positive Technologies. URL: <https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/10-populyarnyh-fishingovyh-tem-v-2021-godu-po-versii-positive-technologies>.

<sup>11</sup> К. Passerini, and M. J. Granger. A developmental model for distance learning using the Internet. Computers & Education. 2018. P. 1–15.

забезпечення<sup>12</sup> системи ДН як функції ступеня реалізації комплексу відповідних заходів.



**Рис. 1. Структурно-логічна схема методики оцінювання ефективності функціонування системи дистанційного навчання**

У блоці «Визначення важливості внесків підсистем системи ДН» за допомогою методу аналізу ієрархій (МАІ) проводиться визначення важливості внесків підсистем нормативно-правового, організаційного, науково-методичного, інформаційно-телекомунікаційного, математичного та програмного, матеріально-технічного, кадрового, фінансово-економічного забезпечення у результат (ефективність) функціонування системи ДН.

<sup>12</sup> Oleksandr Laptiev, Valentyn Sobchuk, Andrii Sobchuk, Serhii Laptiev, Tetiana Laptieva. Удосконалена модель оцінювання економічних витрат на систему захисту інформації в соціальних мережах. Кібербезпека: освіта, наука, техніка. 2021. Т. 4 №12(2021). С. 19–28.

За допомогою МАІ описується вплив формалізованих і неформалізованих чинників на ступінь важливості внесків підсистем за відсутності аналітичних залежностей між ними. Головною перевагою методу є раціональне поєднання суб'єктивних оцінок фахівців щодо відносної важливості основних характеристик та об'єктивних (розрахункових) параметрів процесів, що характеризують властивості підсистем. Для опису властивостей підсистем вибрано: кількість завдань, що покладаються на підсистеми; середнє значення продуктивності виконання типових технологічних операцій виконавчими елементами відповідних підсистем; кількість виконавчих елементів у складі кожної з підсистем.

На кожному рівні ієрархії здійснюється складання необхідної кількості матриць парних порівнянь – по одній матриці для кожного елемента на відповідному рівні ієрархії. Здійснюється формування з групи матриць парних порівнянь локальних пріоритетів, які характеризують вплив множини елементів на елементи відповідного рівня ієрархії. Далі визначається глобальний пріоритет та перевіряється узгодженість усієї ієрархії.

Передбачається ранжування проблеми у вигляді ієрархії. Ієрархія будується з вершини – це загальна ціль проблеми, визначення важливості внесків підсистем нормативно-правового, організаційного, науково-методичного, інформаційно-телекомунікаційного, математичного та програмного, матеріально-технічного, кадрового та фінансово-економічного забезпечення.

Першим етапом визначення пріоритетів параметрів (характеристик) підсистем є їх експертна оцінка.

Для цього використовуються результати експертного оцінювання групою експертів у цій галузі. Особа, яка приймає рішення під час побудови ієрархії, повинна вникнути в проблему. Від цього етапу залежать кінцеві результати прийняття рішень.

Уважається, що оптимальна за чисельністю група експертів становитиме 10–15 осіб. У цьому разі ймовірність істинності колективного експертного висновку<sup>13</sup> дорівнює приблизно 0,8.

---

<sup>13</sup>Roman Kyrychok, Oleksandr Laptiev, Rostyslav Lisnevsky, Valeri Kozlovsky, Vitaliy Klobukov. Development of a method for checking vulnerabilities of a corporate network using bernstein transformations. Eastern-European journal of enterprise technologies. 2022. Vol. 1. № 9(115). P. 93–101. ISSN (print)1729 – 3774. ISSN (online) 1729-4061. DOI: 10.15587/1729-4061.2022.253530.



**Рис. 2. Ієрархічна схема задачі визначення важливості внесків підсистем у результат (ефективність) функціонування системи дистанційного навчання**

На наступному рівні ієрархічної структури дано характеристики підсистем, які впливають на величини внесків (рис. 2) відповідних підсистем СДН:

кількість завдань, що покладаються на підсистемі;

середнє значення продуктивності відповідних виконавчих елементів підсистем;

кількість виконавчих елементів зі складу кожної з підсистем.

Співвідношення показників між собою за важливістю на кожному з рівнів ієрархічної структури визначаються методом парних порівнянь на основі суджень спеціалістів-експертів за шкалою відносної важливості.

Результати обчислювання локальних пріоритетів для нижчого рівня ієрархії є вихідними даними для визначення такого показника, як важливість внесків результатів функціонування підсистем у результаті (ефективність) функціонування СДН.

Таким чином, використання методу аналізу ієрархій для оцінювання важливості внеску кожної підсистемі в результаті функціонування системи дистанційного навчання є змістовною частиною методики оцінювання ефективності функціонування системи дистанційного навчання.

У блоці «Визначення показника ефективності функціонування системи ДН» визначається математичне сподівання кількості споживачів, чії потреби в освітніх послугах були задоволені  $M_{\text{спож}}$ .

За результатами оцінювання показників ефективності функціонування системи ДН у зазначеному блоці проводиться порівняння значення показника ефективності з його потрібним значенням  $N_{\text{спож}}^{\text{нотр}}$ , за якого забезпечується виконання завдань системою дистанційного навчання (1)

$$M_{\text{спож}} \geq N_{\text{спож}}^{\text{нотр}}. \quad (1)$$

За умови задоволення вимог до рівня ефективності СДН у наступному блоці проводиться узагальнення результатів оцінювання та формуються практичні рекомендації щодо проведення комплексу заходів.

### 3. Модель гетерогенної інформаційної мережі

Математичною моделлю, яка дає змогу описати мережеві процеси, а саме процеси перебудови, самовідновлення та самоналаштування в умовах неоднорідних комп'ютерних ресурсів, є гіпермережа.

Формально абстрактну гіпермережу можна описати так:

$$AS = (X, V, R, P, F, W),$$

де

–  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  – кількість вершин;

–  $V = (v_1, v_2, \dots, v_g)$  – кількість відділень;

–  $R = (r_1, r_2, \dots, r_m)$  – кількість ребер;

–  $P: V \rightarrow 2^X$  – це карта, яка відповідає кожному елементу  $v \in V$  набір  $P(v)$  з  $X$  його вершин. Отже, карта  $P$  визначає гіперграф  $PS = (X, V; P)$ ;

–  $F: R \rightarrow 2^V_{PS}$  – це карта, яка відповідає кожному елементу  $r \in R$  набір  $F(r)$  його гілок, а сім'я підмножин гілок містить такі підмножини, гілки яких утворюють зв'язну частину гіперграфа  $PS$ ; карта  $F$  визначає гіперграф  $FS = (V, R; F)$ ;

–  $W: r \rightarrow 2^{P(F(r))^\vee}$   $r \in R$  – відображення, яке порівнює кожен елемент  $r \in R$  підмножина  $W(r)$  з  $P(F(r))$  його вершини, де



$P(F(r))$  є множиною вершин у  $PS$ , інцидентні гілки  $F(r)$  з  $V$ . Таким чином, карта  $W$  визначає гіперграф  $WS = (X, R; W)$ .

Нехай гіперграфи  $PS = (X, V; P)$  та  $WS = (Y, R; W)$  задано, то відображення визначає абстрактну гіпермережу  $AS = (PS, WS, \Phi)$ , яка утворює зв'язану частину гіперграфа  $PS$ .

Звідси випливає, що пари гіперграфів  $PS$  та  $WS$  можуть відповідати різним абстрактним гіпермережам. У подальшому ми будемо використовувати різні позначення гіпермереж, де це буде зручно.

На рис. 3 між вершинами  $x_1$  та  $x_5$  немає пари ланцюжків, незалежних від вершин, але вершини  $x_1$  та  $x_5$  цієї гіпермережі зовнішньо 2-зв'язані, тобто зовнішнє видалення будь-якої пари вершин із множини  $\{x_2, x_3, x_4\}$  руйнує всі схеми, що з'єднують вершини  $x_1$  та  $x_5$ .

Зв'язність  $\omega = \omega(S)$  гіпермережі  $S$  є найменшою кількістю вершин, видалення яких призводить до некогерентної гіпермережі спеціального вигляду (рис. 3). Зауважимо, що  $\omega$ -зв'язність гіпермережі  $S$  неможливо розрахувати відомими методами теорії графів.

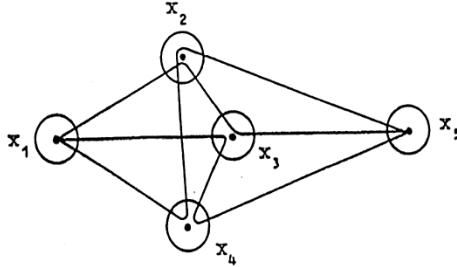


Рис. 3. Гіпермережева модель

#### 4. Спосіб синтезу структури мережі за критерієм максимальної функціональної стійкості на основі впровадження коригувальних ліній зв'язку

Нехай графіки первинної мережі  $PS = (X, Y)$  і вторинної мережі  $WS = (Y, R)$  будуть відомими. Позначимо:

$\rho(v_{ij})$  та  $\rho PS(v_{ij})$  – довжина гілки  $v_{ij} \in V$ ;

$\rho(r_{ij})$  та  $\rho WS(r_{ij})$  – довжина ребра  $r_{ij} \in R$ ;

$\partial(v_{ij})$  – потужність віддалення  $v_{ij} \in V$ ;

$\partial(r_{ij})$  – точність ребра  $r_{ij} \in R$

$\omega(S)$  – підключення до гіпермережі  $S$ .

Потрібно створити гіпермережу  $S = (PS; WS; \Phi)$ , для якої виконуються умови:  $k \leq \omega(S) \rightarrow \max$ , (2)

$$\forall v \in V : \sum_{r \in \Phi^{-1}} \partial(v) \leq \partial(v) \quad (3)$$

і який мінімізує деякі функціональні можливості  $\varphi(S)$  – витрати на проектування та експлуатацію мережі  $S$ .

Рішенням цієї проблеми є алгоритм штучного інтелекту, який шукає деяку дійсну гіпермережу, яка задовольняє описаному вище критерію максимальної функціональної стабільності. Алгоритм має вигляд:

Крок 1. Якщо  $\omega(PS) \geq k$  та  $\omega(WS) \geq k$ , перейдіть до кроку 2, якщо ні – то до кроку 15.

Крок 2. Між усіма парами вершин  $x_i, x_j \in X$  знайти максимальні потоки на графіках  $PS$  та  $WS$ , тобто обчислити  $\mu_{PS}(x_i, x_j)$  та  $\mu_{WS}(x_i, x_j)$ . Якщо є пара вершин,  $x_i, x_j$ , для котрих  $\mu_{PS}(x_i, x_j) < \mu_{WS}(x_i, x_j)$ , тоді перейдіть до кроку 15, якщо ні – то до кроку 3.

Крок 3. Реалізуйте ребра графа  $WS$  за найкоротшим шляхом на графіку  $PS$ . Якщо умова (2) задовольняється, то переходимо до кроку 8, якщо ні – то до кроку 4.

Крок 4. Для всіх гілок  $v_{it}$  із максимальним значенням  $\Delta_{it} = \sum_{r \in \Phi^{-1}(v_{it})} \partial(r) / \partial(v_{it})$ . Якщо для деяких гілок  $v_{it}$   $\Delta_{it} > 1$ , тоді граф називають перенасиченим.

Крок 5. Серед перенасичених гілок вибирають гілку  $v_{it}$  із максимальним значенням  $\Delta_{it}$  та знаходять ребро  $r = (x, y) \in \Phi^{-1}(v_{it})$  із мінімальним значенням  $\partial(r)$ . Для кожної гілки  $v_{ij}$  обчислюємо значення  $\delta_{it}$  за формулою:

$$\delta_{ij} = \begin{cases} V_{ij}, v_{ij} \notin \Phi(r) \\ at \sum_{r_{\alpha\beta} \in \Phi^{-1}(v_{ij})} (v_{ij}) \times \partial(r_{\alpha\beta}) \leq \partial(v_{ij}) - \partial(r) \\ 1, v_{ij} \notin \Phi(r) \\ at \sum_{r_{\alpha\beta} \in \Phi^{-1}(v_{ij})} \partial(r_{\alpha\beta}) > \partial(v_{ij}) - \partial(r); \\ V_{ij} - \frac{\partial(r)}{\partial(v_{ij})}, v_{ij} \in \Phi(r); \\ 1, v_{ij} \in \Phi(r). \end{cases} \quad (4)$$

Так само для кожної гілки  $v_{ij}$  ми встановили  $p(v_{ij}) = p(v_{ij}) / (1 - \delta_{ij})$ .

Якщо  $\delta_{ij}$  тоді очевидно, що  $p(v_{ij}) = \infty$ .

Крок 6. Виберіть найкоротший шлях між вершинами  $x, y$  на графі  $PS$  із вагою гілок  $p(v)$ . Якщо цей маршрут має кінцеву вагу, то перейдіть до кроку 7, якщо ні – то до кроку 15.

Крок 7. Пройдіть ребром  $r$  за найкоротшим маршрутом, знайденим на кроці 6. Та перерахуйте усі  $\Delta_{it}$  за формулою:

$$\Delta_{it} = \sum_{r_{\alpha\beta} \in \Phi^{-1}(v_{it})} \frac{\partial(r)}{\partial(v_{it})}. \quad (5)$$

Якщо в отриманій гіпермережі немає перенасичених гілок, то перейдіть до кроку 8, якщо є – то до кроку 5.

Крок 8. Якщо  $\omega(s) \geq k$ , перейдіть до кроку 14, якщо ні – то до кроку 9.

Крок 9. Знайти мінімальний переріз  $\{x_1, \dots, x_p\}$   $p < k$  гіпермережі за вершинами.

Крок 10. Знайти всі ребра  $r$ , шляхи якого містять вершини  $z$ , а кінцеві вершини лежать у різних компонентах зв'язності  $S_1$  та  $S_2$  гіпермережі  $S / \{x_1, \dots, x_p\}$ . Хоча б одне таке ребро знайдеться, оскільки  $WS$  є  $k$ - зв'язаним. Виберіть серед них ребро  $r = (x, y)$  із найбільшим значенням  $\partial(r)$ .

Крок 11. Для кожної гілки  $v_{ij}$  розраховуємо  $\delta_{ij}$  за формулою:

$$\delta_{ij} \begin{cases} 1, \text{ if } v_{ij} \notin \Phi(r) \text{ and} \\ \sum_{r' \in \Phi^{-1}(v_{ij})} \partial(r') > (v_{ij}) - \partial(r) \\ \frac{1}{\partial(v_{ij})} \sum_{r' \in \Phi^{-1}(v_{ij})} \partial(r'), \text{ in all other cases} \end{cases} \quad (6)$$

Аналогічно для кожної гілки  $v_{ij}$  ми покладемо  $p(v_{ij}) = p(v_{ij}) / (1 - \delta_{ij})$ . Якщо  $\delta_{ij} = 1$ , то  $p(v_{ij}) = \infty$ .

Крок 12. Знайти найкоротший шлях між вершинами  $x$ ,  $y$  на графі  $PS / \{x_1, \dots, x_p\}$  з вагою гілок  $p(v)$ . Якщо цей маршрут має кінцеву вагу, то перейдіть до кроку 13, якщо ні – то до кроку 15.

Крок 13. Реберце шаткуємо  $r$  за найкоротшим маршрутом, знайденим на кроці 12. Якщо всі ребра, шляхи яких містять вершини з перерізу  $\{x_1, \dots, x_p\}$  вичерпані, а кінцеві вершини лежать у різних компонентах зв'язності  $S_1$  та  $S_2$  гіпермережі  $S / \{x_1, \dots, x_p\}$ , потім перейдіть до кроку 9, інакше – до кроку 10. Повторюйте кроки 9–13, поки не буде знайдено гіпермережу, яка задовольняє умови (2) та (3), або поки не буде повторено мінімальний перетин. У першому випадку переходимо до кроку 14, у другому – до кроку 15.

Крок 14. Знайдено гіпермережу, яка задовольняє критерій максимальної функціональної стійкості (2) та (3).

Крок 15. Правильний результат не знайдено.

Окремо також слід розглянути метод синтезу гіпермережі  $S$ , для якої  $\omega(S) = \omega(PS)$ . Цього можна досягти, вставивши ребра корекції (лінії зв'язку) у структуру графіка  $WS$ .

Нехай первинна мережа  $PS = (X, V)$  і вторинна мережа  $WS = (Y, R)$ . Необхідно знайти таку гіпермережу  $S = (PS, WS', \Phi)$  щоб  $\omega(S) = k \leq \omega(PS)$  і виконувалась умова (3), де  $WS' = (X, R \cup U)$ , та  $U$  множина коригуючих ребер. Треба враховувати, що за додавання наступного коригувального ребра ємності ребер  $WS'$  перераховуються.

## 5. Методика оцінювання ефективності функціонування системи дистанційного навчання

1. Формування вихідних даних щодо завдань  $i$ -ї підсистеми СДН ( $N_i$ ), середнє значення продуктивності виконання завдань  $i$ -ю підсистемою ( $\mu_i$ ), кількість виконавчих елементів підсистеми з урахуванням укомплектованості підрозділів дистанційного навчання та забезпеченості технічними засобами навчання ( $n_i$ ):

$R_1 = \{n_1, \mu_1, N_1\}$  – нормативно-правове забезпечення;

$R_2 = \{n_2, \mu_2, N_2\}$  – організаційне забезпечення;

$R_3 = \{n_3, \mu_3, N_3\}$  – науково-методичне забезпечення;

$R_4 = \{n_4, \mu_4, N_4\}$  – інформаційно-телекомунікаційне забезпечення;

$R_5 = \{n_5, \mu_5, N_5\}$  – математичне та програмне забезпечення;

$R_6 = \{n_6, \mu_6, N_6\}$  – матеріально-технічне забезпечення;

$R_7 = \{n_7, \mu_7, N_7\}$  – кадрове забезпечення;

$R_8 = \{n_8, \mu_8, N_8\}$  – фінансово-економічне забезпечення.

2. Оцінювання ефективності функціонування підсистеми СДН здійснюється за показниками ефективності функціонування її підсистеми – ймовірностей виконання завдань підсистемами нормативно-правового, організаційного, науково-методичного, інформаційно-телекомунікаційного, математичного та програмного, матеріально-технічного, кадрового, фінансово-економічного забезпечення системи ДН як функції ступеня реалізації комплексу відповідних заходів:

$$P_i(t_n) = \frac{M_i(t_n)}{N_i} = n_i \frac{\mu_i t_n}{N_i}. \quad (7)$$

3. Визначення важливості внесків підсистем системи ДН.

Вибір параметрів підсистем СДН здійснюється на підставі завдань кожної з підсистем [2] (табл. 1).

Таблиця 1

**Параметри підсистем СДН**

Показник	Назва	Позначення
П1	Кількість виконавчих елементів підсистеми	$n_i$
П2	Середнє значення продуктивності виконання завдань підсистемою	$\mu_i$
П3	Кількість завдань, що виконує підсистема	$N_i$

**Визначення відносної важливості складників системи ДН.**  
Експертами використовується шкала від 1 до 9 (табл. 2).

Таблиця 2

**Шкала відносної важливості**

Кількісна оцінка інтенсивності відносної важливості	Якісна оцінка інтенсивності відносної важливості	Пояснення
1	Рівна важливість	Рівний внесок двох параметрів
3	Помірна перевага одного над іншим	Досвід і судження дають легку перевагу одного параметру над іншим
5	Суттєва або сильна перевага	Досвід і судження дають сильну перевагу одного параметру над іншим
7	Значна перевага	Один параметр має настільки сильну перевагу, що вона стає практично значною
9	Дуже сильна перевага	Очевидність переваги одного параметру над іншим підтверджується найбільш сильно
2,4,6,8	Проміжне рішення між двома сусідніми судженнями	Застосовуються в компромісному випадку

Формування матриці попарних порівнянь (табл. 3), де розміщуються оцінки експертів у вигляді відношень ваг  $i$ -го і  $j$ -го елемента  $(\omega_i / \omega_j)$ , які визначаються шляхом оцінки важливості  $i$ -го елемента порівняно з  $j$ -м по відношенню до визначеного елемента попереднього рівня

Таблиця 3

**Матриця попарних порівнянь пріоритетів параметрів підсистем  
СДН**

Показник	<i>П1</i>	<i>П2</i>	<i>П3</i>	Середнє геометричне	Вагові коефіцієнти	Індекс узгодженості
П1	1	$\omega_1 / \omega_2$	$\omega_1 / \omega_3$	$a_1$	$X_1$	$r_1 X_1$
П2	$\omega_2 / \omega_1$	1	$\omega_2 / \omega_3$	$a_2$	$X_2$	$r_2 X_2$
П3	$\omega_3 / \omega_1$	$\omega_3 / \omega_2$	1	$a_3$	$X_3$	$r_3 X_3$
				$\sum_i a_i$	1	$\lambda_{\max}$
Сума	$r_1$	$r_2$	$r_3$			

4. Обчислюється власний вектор матриці оцінок для визначення значущості кожного елементу. Для цього компоненти рядків перемножуються і потім добувається корінь  $M$ -го ступеня:

$$a_i = \sqrt[M]{(\omega_i / \omega_1)(\omega_i / \omega_2) \dots (\omega_i / \omega_M)} \quad (8)$$

5. Здійснюється нормалізація середніх геометричних (отримуємо оцінку вектору пріоритетів):

$$B_i = \frac{a_i}{\sum_i a_i}, i = \overline{1, M}; \sum_i B_i = 1. \quad (9)$$

6. Узгодженість матриць попарних порівнянь характеризується індексом узгодженості. Для цього визначається сума елементів кожного стовпця матриці попарних порівнянь  $r_j, j = \overline{1, M}$ , обчислюється величина  $\lambda_{\max}$  за формулою:

$$\lambda_{\max} = r_1 X_1 + r_2 X_2 + \dots + r_M X_M \quad (10)$$

7. Індекс узгодженості визначається так:

$$IU = \frac{\lambda_{\max} - M}{M - 1}, M > 1 \quad (11)$$

Для обернено-симетричної матриці завжди  $\lambda_{\max} \geq M$ .

8. У табл. 4 наведено середні узгодженості для випадкових матриць різного порядку.

Таблиця 4

**Середні узгодженості для випадкових матриць**

<b>Розмір матриці</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Середня випадкова узгодженість</b>	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Відношення узгодженості (ВУ) визначається відношенням ІУ до числа, яке відповідає випадковій узгодженості матриці того ж порядку. Величина ВУ повинна бути не більше 10%. Коли ВУ перевищує ці межі, необхідно дослідити правильність постановки завдання та перевірити судження експертів.

Далі аналогічно визначається власний вектор для кожної матриці парних порівнянь.

Таблиця 5

**Матриця парних порівнянь пріоритетів завдань підсистем СДН**

<b>Підсистема</b>	<b>НПЗ</b>	<b>ОЗ</b>	<b>НМЗ</b>	<b>ІТЗ</b>	<b>МПЗ</b>	<b>МТЗ</b>	<b>КЗ</b>	<b>ФЕЗ</b>
НПЗ	1	$N_1 / N_2$	$N_1 / N_3$	$N_1 / N_4$	$N_1 / N_5$	$N_1 / N_6$	$N_1 / N_7$	$N_1 / N_8$
ОЗ	$N_2 / N_1$	1	$N_2 / N_3$	$N_2 / N_4$	$N_2 / N_5$	$N_2 / N_6$	$N_2 / N_7$	$N_2 / N_8$
НМЗ	$N_3 / N_1$	$N_3 / N_2$	1	$N_3 / N_4$	$N_3 / N_5$	$N_3 / N_6$	$N_3 / N_7$	$N_3 / N_8$
ІТЗ	$N_4 / N_1$	$N_4 / N_2$	$N_4 / N_3$	1	$N_4 / N_5$	$N_4 / N_6$	$N_4 / N_7$	$N_4 / N_8$
МПЗ	$N_5 / N_1$	$N_5 / N_2$	$N_5 / N_3$	$N_5 / N_4$	1	$N_5 / N_6$	$N_5 / N_7$	$N_5 / N_8$
МТЗ	$N_6 / N_1$	$N_6 / N_2$	$N_6 / N_3$	$N_6 / N_4$	$N_6 / N_5$	1	$N_6 / N_7$	$N_6 / N_8$
КЗ	$N_7 / N_1$	$N_7 / N_2$	$N_7 / N_3$	$N_7 / N_4$	$N_7 / N_5$	$N_7 / N_6$	1	$N_7 / N_8$
ФЕЗ	$N_8 / N_1$	$N_8 / N_2$	$N_8 / N_3$	$N_8 / N_4$	$N_8 / N_5$	$N_8 / N_6$	$N_8 / N_7$	1

Аналогічно формуються матриці парних порівнянь пріоритетів продуктивності  $\mu_i$  та виконавчих елементів  $n_i$ .

Визначається інтегральний показник важливості внесків підсистем системи ДН.

$$B_1 = X_1 \cdot X_1(N_1) + X_2 \cdot X_2(N_2) + \dots + X_8 \cdot X_8(N_8)$$

$$B_2 = X_1 \cdot X_1(\mu_1) + X_2 \cdot X_2(\mu_2) + \dots + X_8 \cdot X_8(\mu_8)$$

$$\dots \dots \dots$$

$$B_8 = X_1 \cdot X_1(n_1) + X_2 \cdot X_2(n_2) + \dots + X_8 \cdot X_8(n_8)$$



Матриця важливості внесків підсистем СДН

Підсистема	$B_i$
НПЗ	$B_1$
ОЗ	$B_2$
НМЗ	$B_3$
ІТЗ	$B_4$
МПЗ	$B_5$
МТЗ	$B_6$
КЗ	$B_7$
ФЕЗ	$B_8$

9. Визначення показника ефективності функціонування системи ДН проводиться як середньозважене значення ймовірності виконання завдання системою ДН  $P_i(t_n)$  з урахуванням ступеня важливості результатів функціонування підсистем нормативно-правового, організаційного, науково-методичного, інформаційно-телекомунікаційного, математичного та програмного, матеріально-технічного, кадрового, фінансово-економічного забезпечення, а також негативного впливу суттєвих чинників на реалізацію потенційних можливостей системи:

$$M_{\text{слож}}(t_n) = n_{\text{слож}} \sum_{i=1}^8 (1 - K_i) \cdot B_i \cdot P_i(t_n). \quad (12)$$

10. Порівняння значення показника ефективності з його очікуваним значенням, за якого забезпечується виконання завдань системою дистанційного навчання, оцінюється так:

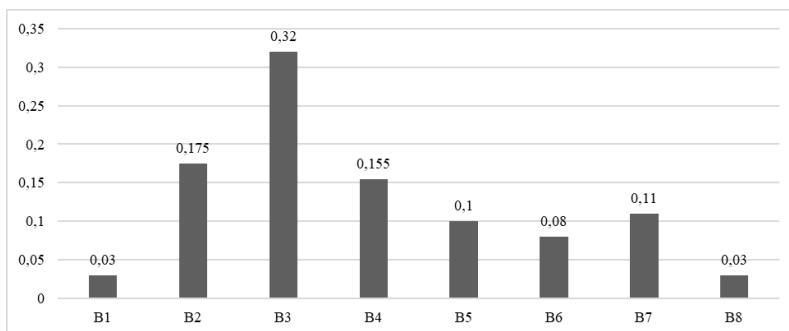
$$M_{\text{слож}} \geq N_{\text{слож}}^{\text{норм}} \quad (13)$$

## 6. Результати дослідження

Оцінювання ефективності функціонування системи дистанційного навчання закладів вищої освіти (ЗВО) здійснювалося для типової структури системи дистанційного навчання, розгорнутої на платформі Moodle, та можливих варіантів її використання в інтересах задоволення потреб споживачів в освітніх послугах, стану опрацьованості методів та способів надання освітніх послуг у ЗВО.

Результати визначення важливості внесків підсистем системи дистанційного навчання показали (рис. 4), що найбільшу

контрибуцію вносять підсистеми організаційного, науково-методичного, інформаційно-телекомунікаційного забезпечення.



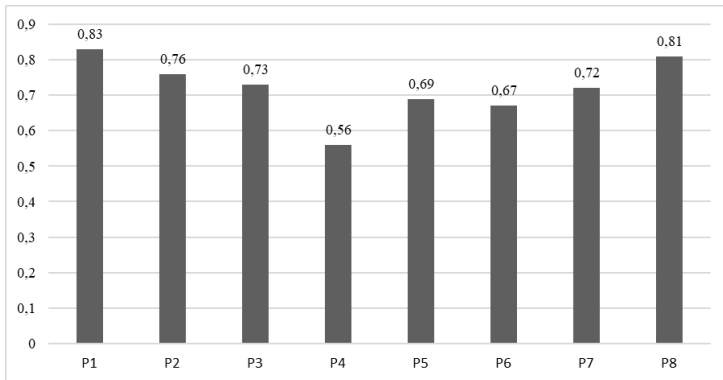
**Рис. 4. Результати визначення показника важливості внесків підсистем системи дистанційного навчання ЗВО, розгорнутої на платформі Moodle**

Саме внески у результат функціонування СДН ЗСУ цих підсистем є найвагомішими. Фізичним змістом значень показників є ступінь їхнього впливу на досягнення основної мети функціонування системи дистанційного навчання щодо задоволення потреб споживачів в освітніх послугах.

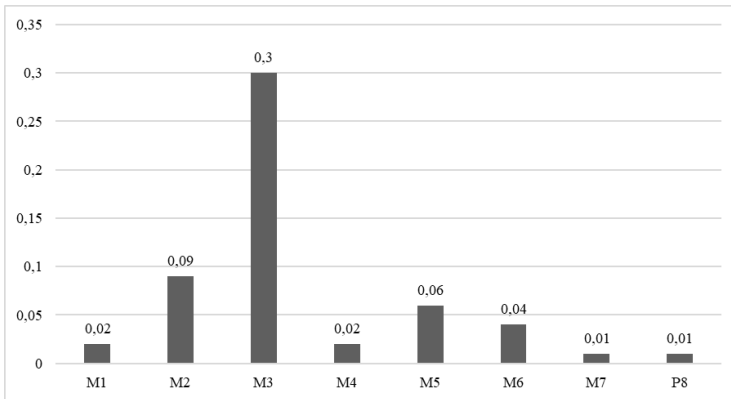
Водночас результати розрахунків дослідження показали, що ступінь відповідності ЗВО вимогам до організаційного, кадрового, науково-методичного, матеріально-технічного, програмного та інформаційного забезпечення вищих навчальних закладів, закладів післядипломної освіти, наукових, освітньо-наукових установ чинять суттєвий вплив на кожний із внесків підсистем  $M_i(tn)$ . Проглядається загальна картина щодо можливості ЗВО надання освітніх послуг із використанням технологій дистанційного навчання.

Такий підхід до аналізу дасть можливість визначення першочерговості проведення заходів щодо усунення невідповідностей та вдосконалення відповідних видів забезпечення освітньої діяльності з використанням технологій дистанційного навчання.

Як видно з рис. 4 та рис. 5, ураховуючи внесок у результат функціонування СДН  $V_i$ , особливої уваги заслуговують підсистеми забезпечення науково-методичного, організаційного, інформаційно-телекомунікаційного як найбільш вагомі контрибутори з низьким і середнім ступенями відповідності.



**Рис. 5. Результати оцінювання спроможностей підсистем СДН**



**Рис. 6. Результати оцінювання внесків підсистем СДН**

Пріоритетність другого рівня мають підсистеми забезпечення решти з групи низького рівня відповідності.

Водночас доцільно враховувати внески підсистем із першої групи. Графік наведено на рис. 6. Їх удосконалення в окремих випадках може дати можливість завершення формування процедур забезпечення функціонування системи дистанційного навчання.

Підтвердженням цього судження є результати використання методики оцінювання ефективності функціонування системи. За існуючим варіантом показали спроможність до стійкого виконання завдань підсистеми із рівнем надійності  $P_i(t_n) \geq 0,75$ , а саме:

нормативно-правового, організаційного, фінансово-економічного забезпечення.

Урахування внесків відповідних підсистем у результат функціонування СДН показав, що, незважаючи на середній ступінь відповідності вимогам, підсистема науково-методичного забезпечення здійснює найбільший внесок. Водночас такий результат оцінювання ефективності функціонування системи дистанційного навчання показав, що потреби споживачів системи в освітніх послугах можуть бути задоволені у межах не нижче 0,55.

Такий стан справ не задовольняє вимоги критерія оцінювання ефективності функціонування системи дистанційного навчання ЗВО, а з урахуванням тенденцій зростання потреб споживачів в освітніх послугах потребує пошуку шляхів підвищення якості відповідних процесів.

## **ВИСНОВКИ**

Основним показником ефективності функціонування системи дистанційного навчання вибрано математичне сподівання кількості споживачів, потреби в освітніх послугах яких задоволені в результаті функціонування системи протягом тривалості підготовки. Даний показник є основною чисельною характеристикою можливостей системи дистанційного навчання щодо надання якісних освітніх послуг і може бути використаний для порівняльного оцінювання ефективності функціонування системи дистанційного навчання.

Запропонована комплексна методика оцінювання ефективності функціонування системи дистанційного навчання базується на методах аналізу ієрархій та аналітичного моделювання процесів надання освітніх послуг і забезпечує комплексне врахування внесків її підсистем у результат функціонування системи дистанційного навчання. Важливість внеску кожної підсистеми в результат функціонування системи дистанційного навчання визначається на основі методу аналізу ієрархій за результатами експертного оцінювання. Запропонована в роботі методика чутлива до опису впливу на результати функціонування підсистем кількості завдань, що виконуються, кількість виконавців і значень їхньої продуктивності та може бути використана для обґрунтування відповідних рекомендацій.

Запропонований підхід може слугувати базовим орієнтиром розвитку системи цифрової незалежної оцінки якості освіти, що особливої актуальності набуває в особливий період дії надзвичайних

ситуацій, військового стану, коли до притаманного експертним оцінкам суб'єктивізму додається дія стресових факторів та чинників непереборної дії.

## **АНОТАЦІЯ**

Сучасний темп розвитку інформаційних технологій створив передумови до появи широкого спектру інструментів надання освітніх послуг із використанням технологій дистанційного навчання. Підтвердженням цього є активізація використання систем дистанційного навчання в умовах дії санітарно-епідемічних обмежень, пандемій, надзвичайних та воєнних станів і необхідності ефективного використання часових, людських, фінансових ресурсів тощо.

Наявний науково-методичний апарат дослідження якості функціонування систем дистанційного навчання здебільшого базується на підходах до відокремленого оцінювання ефективності функціонування їхніх елементів та відповідних показників якості. Це обмежує можливості врахування вагомих чинників у процесі прийняття відповідних рішень і потребує комплексного врахування внесків відповідних підсистем у результат функціонування системи дистанційного навчання за умов мінімізації чинників суб'єктивізму експертного впливу.

Із метою вирішення цього завдання у дослідженні представлено комплексну методику оцінювання ефективності функціонування системи дистанційного навчання, яка ґрунтується на методах теорії ймовірностей та аналізу ієрархій і описує закономірності впливу на показник ефективності системи дистанційного навчання міри важливості (суттєвості) і внесків її підсистем.

Застосування запропонованої методики дає можливість прогнозу результатів взаємодоповнюючого функціонування відповідних підсистем системи дистанційного навчання з урахуванням їхнього внеску у загальний результат.

## **ЛІТЕРАТУРА**

1. National strategy for the development of education in Ukraine for the period up to 2021: approved. Decree of the President of Ukraine of June 25, 2013 № 344/2013. Official Gazette of the President of Ukraine. 2013. 05 July. № 17. P. 31.

2. Oleg Barabash, Andrii Musienko, Spartak Hohoniants, Oleksandr Laptiev, Oleg Salash, Yevgen Rudenko, Alla Klochko. Comprehensive Methods of Evaluation of Efficiency of Distance Learning System

Functioning. International Journal of Computer Network and Information Security(IJCNIS). 2021. Vol. 13. № 1. P. 16–28. DOI: 10.5815/ijcnis.2021.01.02.

3. Бурячок В. Л., Толубко В. Б., Хорошко В. О., Толюпа С. В. Інформаційна та кібербезпека: соціотехнічний аспект. Київ : ДУТ, 2015.

4. M. Moore, and G. Kearsley, Distance education: A systems view of online learning. USA : Cengage Learning, 2017.

5. V. Ruhe, and B.D. Zumbo, Evaluation in distance education and e-learning: The unfolding model. New York, USA : Guilford Press, 2018.

6. Oleg Barabash, Oleksandr Laptiev, Valentyn Sobchuk, Ivanna Salanda, Yulia Melnychuk, Valerii Lishchyna. Comprehensive Methods of Evaluation of Distance Learning System Functioning. International Journal of Computer Network and Information Security (IJCNIS). 2021. Vol. 13. № 3. P. 62–71. DOI: 10.5815/ijcnis.2021.03.06. <https://www.mecs-press.org/ijcnis/ijcnis-v13-n3/v13n3-6.html>.

7. Хорошко В. О., Хохлачова Ю. Є. Інформаційна війна. ЗМІ як інструмент інформаційного впливу на суспільство. Т. 22. Ч. 1: Безпека інформації. 2016. DOI: 10.18372/2225-5036.22.11104.

8. Удосконалена методика вибору послідовності пріоритетів обслуговування потоків інформації / О. А. Лаптев та ін. Зв'язок. 2020. № 4(146). С. 27–31.

9. Лаптев О. А., Собчук В. В., Барабаш А. О., Мусієнко А. П. Методи структуризації даних щодо відомих вразливостей програмних та апаратних платформ. Математика. Інформаційні технології. Освіта. 2022 рік : збірка тез допов. учасник. XI Міжнар. наук.-практ. конф., 3–5 червня 2022 р. Луцьк – Світязь : СНУ імені Лесі Українки, 2022. С. 89–95.

10. 10 популярных «фишинговых» тем в 2021 году по версии Positive Technologies. URL: <https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/10-populyarnyh-fishingovyh-tem-v-2021-godu-po-versii-positive-technologies>.

11. K. Passerini, and M. J. Granger, A developmental model for distance learning using the Internet. Computers & Education. 2018. P. 1–15.

12. Oleksandr Laptiev, Valentyn Sobchuk, Andrii Sobchuk, Serhii Laptiev, Tetiana Laptieva. Удосконалена модель оцінювання економічних витрат на систему захисту інформації в соціальних мережах. Кібербезпека: освіта, наука, техніка. 2021. Т. 4. № 12(2021). С. 19–28.

13. Roman Kyrychok, Oleksandr Laptiev, Rostyslav Lisnevsky, Valeri Kozlovsky, Vitaliy Klobukov. Development of a method for checking vulnerabilities of a corporate network using bernstein transformations. Eastern-European journal of enterprise technologies. 2022. Vol. 1. № 9(115). P. 93–101. ISSN (print)1729 – 3774. ISSN (online) 1729-4061. DOI: 10.15587/1729-4061.2022.253530.

**Information about the authors:**

**Laptiev Oleksandr**

Doctor of Technical Science, Senior Researcher  
Associate Professor the Department of Cyber Security and  
Information Protection  
Faculty of Information Technology  
Taras Shevchenko National University of Kyiv  
Volodymyrska street, 60, Kiev, 01033

**Sobchuk Valentyn**

Doctor Engineering, Associate Professor  
Professor of the Department of Integral and Differential Equations  
Faculty of Mechanics and Mathematics  
Taras Shevchenko National University of Kyiv  
Volodymyrska Street, 60, Kyiv, 01033

**Stanzhyts'kyi Olexandr**

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor  
Head of the Department of Integral and Differential Equations  
Faculty of Mechanics and Mathematics  
Taras Shevchenko National University of Kyiv  
Volodymyrska Street, 60, Kyiv, 01033

**Lukova-Chuiko Nataliia**

Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Department of Cyberbezpeki and Zachistu Information  
Faculty of Information Technology  
Taras Shevchenko National University of Kyiv  
street Volodymyrska, 60, Kiev, 01033