

**ГРАФОВА МОДЕЛЬ ФОРМАЛІЗАЦІЇ СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНИХ СХЕМ
ОСВІТНІХ ПРОГРАМ**

О.О. Шпинковський, В.О. Болтънков

Національний університет «Одеська політехніка»

1, Шевченко пр., Одеса, 65044, Україна

Emails: alexandr.szpinkowski@gmail.com, vaboltlenkov@gmail.com

Розглянуто проблему формалізацію структурно-логічних схем (СЛС) освітніх програм у закладах вищої освіти. Показано, що існуючі підходи до побудови СЛС мають суб'єктивний характер та часто не відображають реальних логічних залежностей між навчальними компонентами. Запропоновано використання графових методів для об'єктивного аналізу та проектування СЛС на основі компетентнісного підходу *Tuning*. На прикладі восьми загальних компетентностей *Tuning* продемонстровано визначення ключових компетентностей, оптимальної послідовності їх формування та аналіз міжгрупових зв'язків. Результати дослідження навіть такої обмеженої кількості компетентностей, показують, що компетентність «Робота у команді» є найбільш центральною, а компетентності «Стратегічне планування» та «Управління проектами» – ключовими елементами системи. 50% усіх зв'язків є міжгруповими, що підтверджує інтегрований характер сучасної освітньої програми. Запропонований підхід дозволяє усунути суб'єктивізм при проектуванні СЛС, забезпечити баланс між групами компетентностей та підвищити ефективність освітнього процесу.

Ключові слова: структурно-логічна схема, освітня програма, компетентності *Tuning*, матриця суміжності, орієнтований граф, спектральний аналіз, топологічне сортування.

Вступ. Реформа вищої освіти України 2014 року зумовила перехід від підготовки фахівців за спеціальностями до навчання за освітніми програмами. Ця зміна викликала необхідність розробки нових інструментів структурування навчального процесу, серед яких ключове місце займають структурно-логічні схеми (СЛС). СЛС визначають логічну послідовність вивчення дисциплін, узгодження їхнього змісту за темами в часі та встановлення міжпредметних зв'язків. Однак, як показують дані Національного агентства із забезпечення якості вищої освіти, значна частина освітніх програм має проблеми з проектуванням та структурою, що проявляється у формальному ставленні до побудови СЛС [1]. Аналіз практики різних ЗВО свідчить про існування різноманітних підходів до побудови СЛС, які часто носять суб'єктивний характер та не відповідають принципам системності та послідовності. У багатьох випадках СЛС зводяться до простих таблиць з переліком дисциплін за семестрами або схем з неінформативними зв'язками, що не відображають реальних залежностей між навчальними компонентами [2,3]. Це обумовлює актуальність розробки об'єктивних методів формалізації СЛС на основі математичного апарату. Сучасна парадигма вищої освіти базується на компетентнісному підході, зокрема на принципах проекту *Tuning*, який виділяє три групи загальних компетентностей: інструментальні, міжособистісні та системні [4]. Ця класифікація створює теоретичну основу для структурування освітніх програм, однак потребує конкретних інструментів реалізації. У роботі запропоновано використання графових методів для формалізації СЛС на основі компетентностей *Tuning*. Таким що відповідає реаліям часу при розробці освітніх програм у закладах вищої освіти є розробка математичного апарату та алгоритмів для об'єктивного аналізу та проектування структурно-логічних схем. Для обґрунтування актуальності та новизни запропонованого підходу необхідним є аналіз існуючих методологій та визначення їхніх обмежень.

Огляд існуючих підходів. Необхідність у точних, визначених інструментах структурування навчального процесу, особливо у сфері інформаційних технологій, є

очевидною. Аналіз літератури показує, що питання формалізації структурно-логічних схем (СЛС) освітніх програм залишається актуальним, але недостатньо розробленим з точки зору об'єктивних математичних методів [2,4]. Існуючі підходи часто базуються на експертних оцінках, що призводить до суб'єктивізму та недостатньої узгодженості між дисциплінами. У той же час, компетентнісний підхід Tuning став міжнародним стандартом, однак його практична реалізація у вигляді СЛС потребує формальних інструментів [4, 5]. Дослідження в галузі теорії графів та спектрального аналізу мереж показують потенціал використання матрично-графових моделей для аналізу складних систем, що може бути успішно адаптовано для освітніх програм [6].

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є розробка графової моделі формалізації структурно-логічних схем освітніх програм, побудованих на основі компетентнісного підходу Tuning. Для досягнення мети треба вирішити такі задачі: провести практичну реалізацію графової моделі на прикладі восьми загальних компетентностей Tuning та виконати аналіз отриманих результатів.

Теоретичні засади проекту Tuning. Проект Tuning визначає загальні (універсальні) компетентності як основу для розробки освітніх програм. Їхня ключова ідея полягає у створенні збалансованої структури, що охоплює різні аспекти підготовки сучасного фахівця. Усі загальні компетентності класифікуються на три взаємопов'язані та ієрархічно організовані групи, що формують траєкторію розвитку від базових навичок до комплексних системних умінь.

Інструментальні компетентності (І). Вміння, пов'язані з інтелектуальними навичками, методами та інструментами. Формуються на ранніх етапах навчання та є основою для подальшого розвитку. До них належать, наприклад, аналітичні та логічні навички, критичне мислення, креативність, здатність до пошуку та обробки інформації [4,5].

Міжособистісні компетентності (М). Соціальні навички співпраці, комунікації та взаємодії. Розвиваються паралельно з інструментальними та інтегруються в системні. Ця група включає комунікацію, роботу в команді, лідерські якості, міжкультурну компетентність.

Системні компетентності (С). Стратегічні вміння керування складними системами та проектами. Є вершиною набуття компетентностей та базуються на двох попередніх групах. Сюди входять управління проектами, стратегічне планування, ініціативність та здатність до самостійного навчання.

Дана класифікація з її логічною послідовністю ($I \rightarrow M \rightarrow C$) утворює теоретичний каркас для побудови освітніх програм. Однак для трансформації цієї моделі у прагматичну структурно-логічну схему необхідний інструмент, здатний кількісно оцінити сили логічних зв'язків між конкретними компетентностями всередині та між групами, а також візуалізувати оптимальну послідовність їх формування.

Графова модель як інструмент формалізації. Для математичної репрезентації зв'язків між компетентностями пропонується використання орієнтованого графа $G = (V, E)$, де $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ – множина вершин (компетентностей), а E – множина орієнтованих ребер (логічних залежностей). Факт наявності залежності "компетентність v_i є основою для формування компетентності v_j " позначається ребром $(v_i, v_j) \in E$ [6]. Ступінь входу вершини $d^-(v_j)$ показує кількість компетентностей-передумов. Ступінь виходу $d^+(v_i)$ – кількість компетентностей, для яких дана є основою. Сума $d^-(v_j) + d^+(v_i)$ є мірою центральності вершини у схемі. Ясно, що граф G не містить орієнтованих циклів – це є логічною вимогою до СЛС). Залежність $GC_i \rightarrow GC_j$ встановлювалася, якщо компетентність GC_i є необхідною передумовою або значно полегшує формування GC_j .

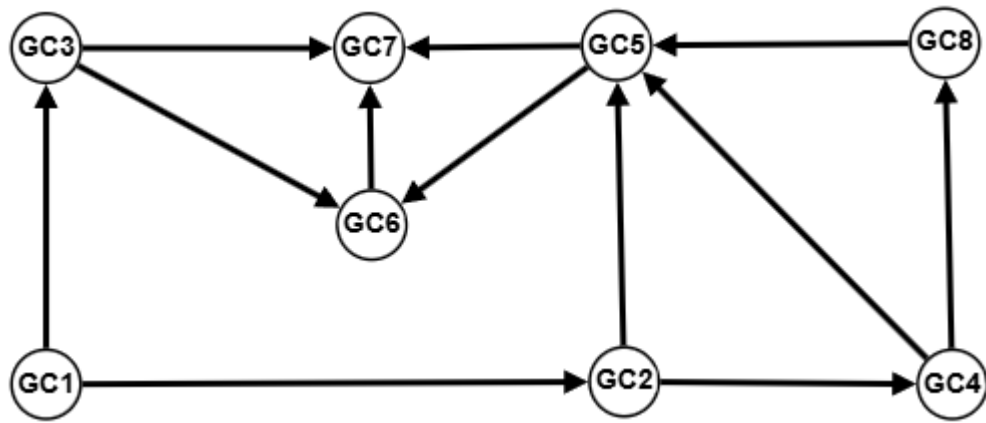


Рис.1. Граф зв'язків восьми компетентностей.

Обчислення ступенів вершин та визначення ключових компетентностей. На основі матриці A обчислено вхідні d^- та вихідні d^+ ступені кожної вершини-компетентності. Результати представлені в Таблиці 1.

Таблиця 1.

Ступені вершин та центральність компетентностей

Компетентність	Назва	Група (<i>Tuning</i>)	d^- (вхідний)	d^+ (вихідний)	Загальна центральність	Рейтинг
GC1	Аналіз проблем	Інструмент.	0	2	2	5
GC2	Критичне мислення	Інструмент.	1	2	3	4
GC3	Креативність	Інструмент.	1	2	3	4
GC4	Комунікація	Міжособ.	1	2	3	4
GC5	Робота у команді	Міжособ.	3	2	5	1
GC6	Управління проектами	Системні	2	1	3	4
GC7	Стратегічне планування	Системні	3	0	3	4
GC8	Міжкультур-на компет.	Міжособ.	1	1	2	5

Для демонстрації роботи запропонованого математичного апарату було сформовано матрицю суміжності A для восьми загальних компетентностей *Tuning* (GC1–GC8). Елементи матриці $a_{ij} = 1$ були визначені на основі логічного аналізу залежностей між компетентностями експертами у сфері освітніх технологій проекту *Tuning*. Залежність $GC_i \rightarrow GC_j$ встановлювалася, якщо компетентність GC_i є необхідною передумовою або значно полегшує формування GC_j . Отримана матриця A має розмірність 8×8 :

На основі приведенного графу можна побудувати матрицю суміжності

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Спектральний аналіз матриці суміжності A дозволяє виявити її глобальні властивості. Для ациклічного орієнтованого графа, яким є модель СЛС, усі власні значення матриці суміжності дорівнюють нулю.

Це підтверджує відсутність циклів у графі та його ієрархічну, деревоподібну структуру. Спектральний радіус також свідчить про те, що граф є слабкозв'язним і має чітку спрямованість залежностей, що відповідає логіці наступності формування компетентностей.

Використовуючи модифіковану матрицю суміжності з демпфуванням, можна впевнено зазначити, що найбільшу вагу мають вершини GC5, GC7 та GC6, і це підтверджує їхню системоутворюючу роль та високий рівень впливу в мережі залежностей, виявлений раніше за допомогою ступенів

Аналіз результатів.

1. Ключові компетентності з максимальною центральністю: GC5 (Робота в команді) має найвищий показник загальної центральності (5), будучи вершиною з найбільшим входним ступенем $d^- = 3$. Це підтверджує її подвійну роль — як інтегратора різноманітних передумов (від аналізу до комунікації) і як фундаменту для системних компетентностей.

2. Системні компетентності як «приймачі»: GC7 (Стратегічне планування) має високий входний ступінь $d^- = 3$, але нульовий вихідний $d^+ = 0$. Це характеризує її як кінцеву, синтезовану компетентність, формування якої вимагає опанування попередніх.

3. Інструментальні компетентності як «джерела»: GC1-GC3 мають порівняно високі вихідні ступені, що підтверджує їх роль фундаменту, на якому будуються інші вміння [2].

Лінійне впорядкування вершин [6,7] задає одну з можливих логічних послідовностей їх формування $GC1 \rightarrow GC2 \rightarrow GC4 \rightarrow GC8 \rightarrow GC5 \rightarrow GC3 \rightarrow GC6 \rightarrow GC7$

Інтерпретація освітньої траєкторії.

1. Початок (1-2 семестр): Старт з інструментальної GC1 (Аналіз проблем), потім перехід до GC2 (Критичне мислення). Паралельно або відразу після них доцільно вводити міжособистісну GC4 (Комунікація).

2. Середина (3-4 семестр): На основі комунікації будується GC8 (Міжкультурна компетентність), а потім – інтеграційна GC5 (Робота в команді). Інструментальна GC3 (Креативність) активно задіяна на цьому етапі для підготовки до проєктної діяльності.

3. Завершення (5-6 семестр): Фінальними етапами є опанування системних компетентностей: GC6 (Управління проєктами) та, як вершина, GC7 (Стратегічне планування).

Ця послідовність не є єдиною можливою, але вона математично обґрунтована та ідеально узгоджується з принципом *Tuning* про послідовне накопичення (Інструментальні $\rightarrow$ Міжособистісні $\rightarrow$ Системні).

Аналіз міжгрупових зв'язків – 50% усіх орієнтованих зв'язків у графі є міжгруповими. Це високий показник, який свідчить про глибоку взаємозалежність між інструментальними, соціальними та системними навичками. Найбільш тісні міжгрупові зв'язки спостерігаються між Інструментальною та Системною групами (напр., $GC3 \rightarrow GC6$, $GC3 \rightarrow GC7$), а також між Міжособистісною та Системною ($GC5 \rightarrow GC6$, $GC3 \rightarrow GC7$). Це підтверджує, що формування системних компетентностей неможливе без розвитку як аналітичного мислення, так і соціальних навичок.

Обговорення результатів. Застосування графових методів для формалізації залежностей між компетентностями *Tuning* дозволило перейти від якісних описів до кількісного, об'єктивного аналізу структури освітньої програми.

1. Проведено підтвердження та уточнення теоретичної моделі *Tuning*: Математичний аналіз повністю підтвердив логіку послідовності «Інструментальні $\rightarrow$ Міжособистісні $\rightarrow$ Системні». Однак він також виявив, що GC5 (Робота в команді) є найважливішим інтеграційним вузлом, а не лише однією з міжособистісних компетентностей. Це вказує на потребу її центральної ролі в навчальному процесі.

2. Усування суб'єктивного впливу на формування освітньої програми: Запропонований підхід замінює суб'єктивні експертні судження щодо «важливості» тієї

чи іншої дисципліни на обчислюванні метрики (ступені вершин, центральність). Це дозволяє обґрунтувати розподіл навчального навантаження та послідовність вивчення дисциплін.

3. Візуалізація та можливість оптимізації: Представлення СЛС у вигляді графа та його матриці надає наглядний інструмент для проектувальників програм. Виявлення вершин з низькою зв'язністю (наприклад, певні елективні курси) може стати приводом для перегляду їхнього змісту або місця у програмі для посилення інтеграції.

Висновки. Запропоновано каркас, що поєднує компетентнісну модель Tuning з апаратом теорії графів, що дозволяє перейти від якісного опису до формальної моделі залежностей між компетентностями. Розроблено модель на основі орієнтованого графа, що дає змогу кількісно оцінювати ступені вершин, виконувати топологічне сортування та спектральний аналіз. На прикладі восьми загальних компетентностей Tuning продемонстровано роботу моделі, визначено ключові компетентності (GC5 «Робота у команді», GC7 «Стратегічне планування», GC6 «Управління проектами») та побудовано оптимальну навчальну траєкторію. Отримані результати підтверджують інтегрований характер сучасних освітніх програм (50% міжгрупових зв'язків) та демонструють можливість усунення суб'єктивізму при проектуванні СЛС за рахунок використання об'єктивних математичних інструментів.

Перспективи подальших досліджень полягають у розширенні моделі через введення ваг ребер (для відображення сили залежності), адаптації її для профільних компетентностей конкретних спеціальностей, а також у розробці програмного забезпечення для автоматизації побудови та аналізу СЛС.

Список літератури

1. Квіт С. М. Річний звіт Національного агентства із забезпечення якості вищої освіти України за 2021 рік. Київ : НАЗЯВО, 2022. 156 с.
2. Код М.З., Петренко Л.С. Структурно-логічні схеми навчальних дисциплін: методологія побудови та аналізу : навч.-метод. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2020. 120 с.
3. Шпинковський О.О. Роль освітніх програм у формуванні компетентностей здобувачів вищої освіти. *Молодіжна наука: інновації та глобальні виклики. Міжнар. наук.-практ. конф. (Полтава, 06 листопада 2024 р.)*. Полтава : НУПП, 2024. С. 784–785.
4. Tuning Project. Reference Points for the Design and Delivery of Degree Programmes in Computer Science. Bilbao : University of Deusto, 2008. 98 p.
5. González J., Wagenaar R. Tuning Educational Structures in Europe. Universities' contribution to the Bologna Process. Bilbao : University of Deusto, 2008. 256 p.
6. Harary F. Graph Theory. Reading, MA : Addison-Wesley, 1969. 274 p.
7. Newman M.E.J. Networks: An Introduction. Oxford : Oxford University Press, 2010. 772 p.

О.О. Шпинковський, В.О. Болтєнков

GRAPHIC MODEL OF FORMALIZATION OF STRUCTURAL-LOGICAL SCHEMES OF EDUCATIONAL PROGRAMS

O. O. Shpinkovsky, V. O. Boltenkov

National Odesa Polytechnic University
1, Shevchenko Ave., Odesa, 65044, Ukraine

Emails: alexandr.szpinkowski@gmail.com, vaboltenkov@gmail.com

The problem of formalization of structural-logical schemes (SLS) of educational programs in higher education institutions is considered. It is shown that existing approaches to building SLS are subjective in nature and often do not reflect real logical dependencies between educational components. The use of graph methods for objective analysis and design of SLS based on the Tuning competency approach is proposed. Using the example of eight general Tuning competencies, the definition of key competencies, the optimal sequence of their formation, and the analysis of intergroup relationships are demonstrated. The results of the study of even such a limited number of competencies show that the competency "Teamwork" is the most central, and the competencies "Strategic Planning" and "Project Management" are key elements of the system. 50% of all connections are intergroup, which confirms the integrated nature of the modern educational program. The proposed approach allows you to eliminate subjectivism in the design of SLS, ensure a balance between groups of competencies and increase the efficiency of the educational process.

Keywords: structural-logical scheme, educational program, Tuning competencies, adjacency matrix, directed graph, spectral analysis, topological sorting.