

$$P(q, \omega; q', \omega') = -\frac{4\pi}{q^2} \delta(q - q') \delta(\omega - \omega') \times \left(1 + \frac{e^2}{2} \frac{4\pi}{q^2} \sum_{\substack{n,m,k; \\ n_1, m_1, k_1}} \int dx G_{nmk}(x) G_{n_1 m_1 k_1}(-x) e^{-iqx} \delta(\omega - E_{nmk} + E_{n_1 m_1 k_1}) \right),$$

where q and ω are coordinate and frequency components of the Fourier transform; Energy levels of stationary states of the electron subsystem are denoted as E_{nmk} (see [1]). The spectrum and intensity of the collective excitations are described by the diagonal part of $P(q, \omega; q', \omega')$.

1. Kuzuo R, Terauchi M., Tanaka M., Saito Y., Shinohara H. Phys. Rev. B, **49** 5054 (1994).
2. Iijima S. Nature, **354** 56 (1991).
3. Schon J. H, Kloc Ch., Batlogg B. Nature, **408** 549 (2000).
4. Березин Ф. А., Ї. Метод вторичного квантования., Наука, М., 1986.
5. R. F. Akhmet'yanov,* V. O. Ponomarev,† O. A. Ponomarev,‡ and E. S. Shikhovtseva, Theor. Math. Phys., **149**, 127 (2006).

Поступила 25.9.2013р.

УДК 37.018.43

М. Г. Тищенко, м. Київ

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ АНАЛІТИЧНИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ВИБОРУ ПРОГРАМНИХ ПРОДУКТІВ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ

The problem solution of software choice that are designed for use in the educational process when implementing of distance learning using the method of analytic networks was proposed.

Distance learning, software, task selection, problem solution.

Аналіз існуючих програмних засобів щодо побудови програмного забезпечення (ПЗ) систем дистанційного навчання (СДН) дозволили зробити висновок про наявність багатьох програмних продуктів, які розроблені для дистанційного навчання (ДН). Ці програмні продукти, поділяються на три класи: системи управління навчанням (СУН), авторські засоби розробки (АЗР) та засоби веб-комунікацій (ЗВК). Під час вибору зазначених

програмних продуктів, необхідно зробити оцінювання їх якості за багатьма показниками. Під якістю розуміється набір характеристик продукту або сервісу, які характеризують його здатність задовольнити встановленим чи припущеним потребам замовника. Поняття якість має різні інтерпретації в залежності від конкретної системи та вимог до програмного продукту. Крім цього, в різних джерелах моделі якості відрізняються. Кожна модель має різну кількість рівнів та загальне число показників якості [1]. Одним із способів, що підтверджують якість ПЗ, є сертифікація – процес підтвердження властивостей програмного забезпечення, заявлених у відповідній нормативній документації. Сертифікація ПЗ здійснюється на основі діючих стандартів. На теперішній час в Україні діють наступні стандарти: *ISO 9126* (ГОСТ 28195), ДСТУ *ISO/IEC 14598-1:2004*, ДСТУ *ISO/IEC 14598-2-6:2005*, ДСТУ 2844-94, ДСТУ 2850-94 (відповідає *ISO/IEC 9126:91* (E) в частині показників якості), ДСТУ 2851-94, ДСТУ 2853-94, ДСТУ 3415-96, ДСТУ 3419-96 тощо.

У той же час, слід зазначити що положення представлених стандартів згідно Декрету Кабінету Міністрів України про стандартизацію і сертифікацію носять рекомендований характер. Крім того, застосування приведених стандартів при розв'язанні задачі вибору ПЗ дистанційного навчання обмежене, оскільки вони визначають лише характеристики, загальні для більшості класів програмного забезпечення: функціональність, надійність, супровід, мобільність. При цьому стандарти містять універсальні тлумачення цих характеристик та не враховують специфічних вимог до конкретного класу програмного забезпечення.

Нажаль, на сьогодні повних і досить докладно структурованих описів характеристик класів програмних продуктів, які входять до складу ПЗ дистанційного навчання в Україні не існує. Відсутні також науковообґрунтовані методичні підходи щодо раціонального вибору ПЗ дистанційного навчання. Таким чином, існує необхідність виділення суттєвих характеристик ПЗ дистанційного навчання, визначення їх пріоритетів та розроблення математичної моделі вибору ПЗ дистанційного навчання. Крім того, при розробленні методики формування ПЗ дистанційного навчання слід враховувати наявність низки обмежень, що можуть мати фінансовий, часовий або людський характер.

Аналіз показників та критеріїв, які характеризують ПЗ дистанційного навчання [2,3] дозволяє зробити висновок про їх дуже велику кількість. Тому, з урахуванням великої кількості альтернативних варіантів у межах кожного з класів програмних продуктів, які входять до складу ПЗ дистанційного навчання, задача оптимізації ПЗ дистанційного навчання є багатокритеріальною на просторі альтернатив. Необхідно з найбільш доцільних альтернативних варіантів складу ПЗ дистанційного навчання обрати такий (або групу) для якого б виковувалися всі критерії якості.

Математична формалізація задачі має наступний вигляд:

$$B_i : Kr(B_i) \rightarrow \max(\min).$$

де: i – кількість альтернативних варіантів ПЗ дистанційного навчання;

B_i – i – тий варіант ПЗ дистанційного навчання;

$$B_i = \{ P_{СУН_i}, P_{АЗР_i}, P_{ЗВК_i} \}; P_{СУН_i}, P_{АЗР_i}, P_{ЗВК_i} \in N.$$

$P_{СУН_i}, P_{АЗР_i}, P_{ЗВК_i}$ – визначають в ПЗ склад відповідно систем управління навчанням, авторських засобів розробки курсів ДН та засобів веб-комунікацій.

Традиційне завдання аналізу або прийняття рішення полягає у виборі кращого варіанту із заданого набору альтернативних варіантів з використанням деякого набору критеріїв якості. Існує безліч ознак, за якими можна класифікувати такі завдання. Одним з найважливіших є вид відображення множини допустимих рішень на множину критеріальних оцінок. Детермінований вид такого відображення відповідає завданню в умовах визначеності, імовірнісний – завданню в умовах ризику, якщо вид відображення невідомий, то маємо завдання в умовах невизначеності. Завдання прийняття рішення в умовах визначеності існують, коли є детермінований математичний опис процесу побудови ефективного або найбільш імовірного варіанту системи з множини альтернативних елементів.

В останні десятиріччя вченими усього світу бурхливо розвивається теорія прийняття рішень, до якої, безумовно, належать методи багатокритеріального вибору. З ускладненням технології вирішення завдання прийняття рішення відбувається лавинне наростання кількості проміжних варіантів. Кожен проміжний варіант до відбракування проходить певні етапи синтезу і вимагає відповідних витрат ресурсів на подолання невизначеності щодо проектних параметрів, які виявляються у процесі створення, і характеристик даного варіанта. Враховуючи, що ресурси, які виділяють на проектування, завжди обмежені, швидке зростання кількості варіантів і пов'язаних з ними баластних витрат різко знижує якість і продуктивність процесу синтезу. Принципове вирішення цієї проблеми визначається необхідним зменшенням кількості варіантів, що розглядаються в проектуванні, з підвищенням складності процесу синтезу. Проте зі зменшенням загальної кількості варіантів можливих рішень знижується імовірність отримання так званих оптимальних рішень, тобто рішень, що максимально задовольняють поставлені цілі за певних умов [4].

Для вирішення таких завдань існує багато математичних методів: методи на базі теорії нечітких множин, методи моделювання суджень, методи лінгвістичних стандартів, методи теорії корисності, евристичні, таксономічні методи тощо [5-8]. Враховуючи, що функціонування ПЗ дистанційного навчання обумовлено дуже великою кількістю умов і чинників, то необхідно обрати метод, який би не тільки враховувати вплив зазначених умов і чинників, а й дозволив би якісно оцінити цей вплив.

Багато проблем ухвалення рішень не можна показати у вигляді ієрархічних структур, тому що в них існують залежності і взаємодії між елементами різних рівнів ієрархії. Є завдання, в яких не тільки важливість критеріїв впливає на пріоритети можливих рішень (як в ієрархіях), а й важливість можливих рішень впливає на пріоритети критеріїв. Структури рішень зі зворотними зв'язками не можна лінійно упорядкувати від низу до верху, вони є мережами, що містять цикли і безліч елементів (компонентів), які ми більше не можемо називати рівнями, а також петлі зворотного зв'язку, що показують зв'язок між елементами одного компонента [9]. Мережа може включати компоненти-джерела і компоненти-стоки. Вузол-джерело є початком маршрутів впливу і не може бути точкою завершення якого-небудь маршруту. Вузол-стік є точкою завершення одного або декількох маршрутів і не може бути початком якого-небудь шляху. Повна мережа може включати вузли-джерела, вузли-стоки і проміжні вузли, розташовані між джерелами і стоками, а також у циклах. Деякі мережі можуть містити тільки джерела і стоки, інші можуть включати лише джерела і вузли-цикли (з петлею зворотного зв'язку), або вузли-цикли і вузли-стоки, або тільки вузли-цикли. Часто на практиці виникають проблеми при ухваленні рішень, що включають зворотні зв'язки, які можуть бути зображені мережами будь-якого вигляду.

Визначення пріоритетів елементів у мережі, зокрема альтернатив рішень, є складною проблемою.

На думку фахівців доцільно застосовувати прості ієрархічні структури, що складаються з мети, критеріїв і альтернатив [9]. Проте рішення, отримані на простій трирівневій ієрархії, можуть відрізнитися від рішень, отриманих на складнішій ієрархії. У свою чергу, рішення, отримані на мережі, можуть істотно відрізнитися від рішень, отриманих навіть на складній ієрархії. Важко сподіватися на те, що штучне подолання складності шляхом зведення реального завдання до примітивної структури дозволить отримати результат взаємодії між елементами проблеми в концентрованій формі узагальнених думок, які правильно відображають дійсність. Необхідно навчитися подавати думки складними структурами, які адекватно відображають реальність, та організувати міркування й обчислення витонченими і в той же час простими способами, щоб досягнути розуміння складності рішення. Досвід показує, що це цілком можливо, хоча і вимагає певних витрат праці і часу. Головною перевагою мереж зі зворотними зв'язками є можливість отримання рішень, які дозволяють передбачати майбутнє.

Отже, виходячи з вищесказаного, для вирішення складного завдання вибору ПЗ дистанційного навчання найбільш адекватним можливо вважати метод *ANP* (*Analytic Network Process* – метод аналітичних мереж), що є універсальною теорією вимірювань впливу у шкалі відносин з урахуванням залежностей і зворотних зв'язків [9]. Застосовуючи метод *ANP*, можна робити те, чого не дозволяє математична логіка, заснована лише на вербальних думках, без чисел.

Під час застосування методу *ANP* слід чітко розуміти відмінності між ієрархічними і мережевими структурами, які застосовуються для представлення проблем. Ієрархія складається з рівнів, розташованих у порядку зменшення важливості. Елементи кожного рівня порівнюються за домінуванням, або впливом на елементи сусіднього верхнього рівня. Гілки ієрархії спрямовані від головної мети вниз, навіть якщо елементи нижніх рівнів впливають на елементи вищих рівнів. Вплив – це особливий вид взаємодії. Напрямок зв'язків зверху вниз стимулює прояв впливу елементів нижніх рівнів на ті, що розташовані вище.

Мережею є набір компонентів, які є аналогами рівнів в ієрархії. Компоненти, логічно пов'язані напрямленими дугами, можуть розташовуватися у довільному порядку. Напрямок впливу одного компонента на інший протилежний напрямку стрілки на дузі, що зв'язує ці компоненти. У процесі парних порівнянь об'єктів в одному компоненті виявляється домінування впливу елементів пари на третій елемент, що належить цьому або іншому компоненту. Крім того, у мережеских завданнях компоненти можуть розглядатися як взаємодіючі об'єкти, що впливають один на одного за деяким критерієм або властивістю вищого порядку. Такі властивості будемо називати критеріями, що управляють, які можуть утворювати цілу систему показників для оцінювання якості рішення. Критерії, що управляють, та їх деталізуючі підкритерії є підґрунтям для проведення парних порівнянь компонентів і елементів, що містяться в них.

Вирішення завдання вибору ПЗ дистанційного навчання методом аналітичних мереж передбачає такі основні етапи.

Першим кроком обґрунтовується управляючі критерії оцінювання рішень, що будуть прийматись. Для усіх класів програмних продуктів, які входять до складу ПЗ дистанційного навчання це: ергономічність, функціональність, конструктивність та вартість. Обґрунтовані критерії, на підставі методу аналізу ієрархій [10], класифікуються за пріоритетами. Для чого складається матриця парних порівнянь. Загальний вигляд матриці парних порівнянь наведений у табл. 1.

Таблиця 1

Загальний вигляд матриці парних порівнянь

Альтернативи (варіанти, що порівнюються)	A_1	A_2	...	A_j	...	A_n
A_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1j}	...	a_{1n}
A_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2j}	...	a_{2n}
...
A_i	a_{i1}	a_{i2}	...	a_{ij}	...	a_{in}
...
A_n	a_{n1}	a_{n2}	...	a_{nj}	...	a_{nn}

Для проведення експертами парних порівнянь запропонована шкала відносної важливості [9].

При залученні для оцінювання варіантів групи з R експертів числове значення судження визначається як геометричне середнє окремих індивідуальних суджень експертів:

$$a_{ij} = \sqrt[R]{\prod_{k=1}^R a_{ijk}},$$

де a_{ijk} – судження k -го експерта.

Проведення розрахунків для матриці парних порівнянь здійснюється у такому порядку (на прикладі матриці 3×3 , $n=3$):

$$A = \begin{Bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{Bmatrix}.$$

Визначається вектор геометричних середніх:

$$V = \begin{Bmatrix} (a_{11} \cdot a_{12} \cdot a_{13})^{\frac{1}{3}} \\ (a_{21} \cdot a_{22} \cdot a_{23})^{\frac{1}{3}} \\ (a_{31} \cdot a_{32} \cdot a_{33})^{\frac{1}{3}} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{Bmatrix};$$

$$V_i = \prod_{j=1}^3 (a_{ij})^{1/3};$$

відшукується нормалізований вектор геометричних середніх (вектор пріоритетів):

$$S_v = \sum_{j=1}^3 V_j; \quad W = \begin{Bmatrix} V_1 / S_v \\ V_2 / S_v \\ V_3 / S_v \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \end{Bmatrix};$$

визначається власний вектор Λ та його максимальне значення:

$$\Lambda = A \cdot W_i; \quad \Lambda = \begin{Bmatrix} a_{11}a_{12}a_{13} \\ a_{21}a_{22}a_{23} \\ a_{31}a_{32}a_{33} \end{Bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \end{Bmatrix}_i;$$

$$\Lambda_{max} = \sum_{i=1}^3 \lambda_i;$$

розраховується індекс і відношення узгодженості:

$$IY = \frac{\Lambda_{max} - 3}{3 - 1};$$

$$BY = \frac{IY}{CBY}.$$

де CBY середня випадкова узгодженість, отримана в *Oak Ridge National Laboratory* (багатопрограмна національна лабораторія науки та техніки департаменту енергетики США) табл. 2.

Таблиця 2

Середня випадкова узгодженість

<i>n</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CBY	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

По відношенню узгодженості (при $BY < 0,2$) робиться висновок про узгодженість рішень.

Наступним кроком визначаються пріоритети варіантів допустимих рішень за кожним управляючим критерієм, для чого кожний управляючий критерій описується мережевою структурою, що складається із компонентів та елементів компонентів, які визначають даний управляючий критерій і є аналогами рівнів в ієрархії [2,3]. Компоненти, пов'язані напрямленими дугами, можуть розташовуватися у довільному порядку. Напрямок впливу одного компонента на інший протилежний напрямку стрілки на дузі, що їх зв'язує.

В загальному випадку мережа може містити m компонентів C_h , $h=1, \dots, m$. Кожний компонент складається з n_h елементів: $e_{h1}, e_{h2}, \dots, e_{hn}$

Вплив елементів одного компоненту на другий елемент мережі можна надати вектором пріоритетів, для отримання якого застосовуються теж самі методи, як у методі аналізу ієрархії [10], основним з яких є метод парних порівнянь.

Для кожного управляючого критерію будується суперматриця із взаємним впливом елементів в мережі. Слід відмітити, що вплив, який представлений розрахунком власних векторів пріоритетів, які записуються у суперматрицю, повинен бути вимірний у термінах одного критерію.

У загальному вигляді суперматриця мережевої задачі має наступний вигляд: рис. 1 [9].

Елементи W_{ij} в суперматриці називаються блоками та являють собою матриці виду рис.2.

Далі необхідно суперматрицю перетворити до такого виду, щоб сума елементів в будь-якому її стовбці дорівнювала б одиниці, виважити суперматрицю.

$$W_{CT} = \left\| W_{ij}^{CT} \right\| : \forall j \sum W_{ij}^{CT} = 1.$$

Після виваження суперматриці необхідно побачити поширення впливу по усім можливим маршрутам графу впливу, якому відповідає суперматриця. Елементи виваженої суперматриці показують безпосередній вплив кожного елемента системи на усі інші елементи.

Але елементи можуть впливати один на одного опосередковано, через деякий третій елемент або елементи. Потенційно може існувати множина таких транзитних елементів. Тому необхідно розглянути усі можливі маршрути впливу через транзитні елементи. Послідовне зведення суперматриці у цілочисельні ступені k дозволяє отримати вектор граничних пріоритетів впливу, що не змінюється w^∞ [9], який дозволяє оцінити вплив компонентів та елементів мережі на управляючий критерій (задану мету).

$$W^k, k = 1, 2, \dots$$

		C_1				C_2				...				C_m			
		e_{11}	e_{12}	...	e_{1n1}	e_{21}	e_{22}	...	e_{2n2}	e_{m1}	e_{m2}	...	e_{mmm}
C_1	e_{11}																
	e_{12}		W_{11}				W_{12}					...					W_{1m}
	...																
	e_{1n1}																
C_2	e_{21}																
	e_{22}		W_{21}				W_{22}					...					W_{2m}
	...																
	e_{2n2}																
C_m	e_{m1}																
	e_{m2}		W_{m1}				W_{m2}					...					W_{mm}
	...																
	e_{mmm}																

Рис. 1. Загальний вигляд суперматриці

$$W_{ij} = \left\| \begin{matrix} w_{i_1 j_1} & w_{i_1 j_2} & \dots & w_{i_1 j_n j} \\ w_{i_2 j_1} & w_{i_2 j_2} & & w_{i_2 j_n j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{i_{n_i} j_1} & w_{i_{n_i} j_2} & & w_{i_{n_i} j_n j} \end{matrix} \right\|.$$

Рис. 2. Загальний вигляд блоку суперматриці.

Кінцевий етап визначення оптимального рішення з множини допустимих рішень буде складатися зі знаходження глобальних пріоритетів альтернатив. Глобальні пріоритети альтернатив обчислюються за такою методикою: значення альтернатив за управляючими критеріями нормуються; нормовані значення помножуються на вагові коефіцієнти управляючих критеріїв; отримані вектори для кожної з узагальнених категорій складаються.

$$B_i : \sum_j w_j (B_i) \rightarrow \max.$$

Таким чином, запропоновано підхід щодо вибору програмного забезпечення дистанційного навчання, що базується на відомому методі рішення задачі багатокритеріального вибору на просторі альтернатив – методі аналітичних мереж. Застосування підходу дозволяє вирішити завдання вибору програмного забезпечення дистанційного навчання, як задачі багатокритеріального вибору на просторі альтернатив.

1. *Лаврищева Е.М.* Методы и средства инженерии программного обеспечения / Е.М. Лаврищева, В.А. Петрухин; Учебник. – М. : Московский физико-технический институт (государственный университет), 2006. – 304 с.
2. *Рябцев В.В.* Визначення системи показників для вибору комплексу авторських засобів розроблення курсів дистанційного навчання / В.В. Рябцев, М.Г. Тищенко // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил – 2011 – № 1 (27). – С. 272-276.
3. *Рябцев В. В.* Методика раціонального вибору системи управління навчальним процесом для підрозділу дистанційного навчання / В. В. Рябцев, М. Г. Тищенко // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – 2010, № 2 (8). – С. 94–100.
4. *Гафт М.Г.* Принятие решений при многих критериях. – М.: Знание. СЕР. Математика и кибернетика. – 1979, № 7. – 64 с.
5. *Барабаш О. В.* Построение функционально устойчивых распределенных информационных систем / Барабаш О. В. – К. : НАОУ, 2004. – 226 с.
6. *Батищев Д. И.* Методы оптимального проектирования: Учеб. пособие для вузов / Батищев Д. И. – М. : Радио и связь, 1984. – 248 с.
7. *Бенькович Е. С.* Практическое моделирование динамических систем / Бенькович Е. С., Колесов Ю. Б., Сениченков Ю. Б. – СПб. : БХВ-Петербург, 2002. – 464 с.
8. *Берзин Е. А.* Оптимальное распределение ресурсов и элементы синтеза систем : [под ред. Е.В.Золотова] / Берзин Е. А. – М. : Сов.радио, 1974. – 304 с.
9. *Саати Т.Л.* Принятие решений при зависимостях и обратных связях / Т.Л. Саати; Пер. с англ. – М. : Издательство ЛКИ, 2008. – 360 с.
10. *Саати Т.Л.* Аналитическое планирование. Организация систем / Т. Саати, К. Кернс; Пер. с англ. – М. : Радио и связь, 1991. – 224 с.

Поступила 16.10.2013р.