

ОСОБЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ТА МЕТОДІВ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ В ОСВІТНІЙ ПРОЦЕС

© Голощук Р. О., Думанський Н. О., 2015

Узагальнено і подано методологічні наукові результати з проблематики впровадження технологій та методів дистанційного навчання, які реалізовані із урахуванням мережевоцентричних технологій.

Ключові слова: дистанційна освіта, дистанційне навчання, електронне навчання, інформаційно-комунікаційні технології, електронний підручник, віртуальне навчальне середовище.

This work has considered a problem of distance education and involvement in its adaptive learning system. Also free and business systems of distance education are considered.

Key words: distance education, distance learning, e-learning, information and communications technology, electronic textbook, virtual learning environment.

Вступ. Загальна постановка проблеми

Особливості технологій розподіленого дистанційного навчання (ДН) зумовлюють додаткові вимоги до організації навчального процесу. Слід розрізнити поняття дистанційної освіти, яка є новою формою організації навчального процесу і займає проміжні позиції між денною (або вечірньою) та заочною формами, і поняття ДН як новий технологічний метод дидактичного процесу [13]. Основу цього методу становлять комп'ютерно-інформаційні технології, які забезпечують засвоєння дистантним слухачем (ДС) навчальної дисципліни за індивідуальними оптимальними траєкторіями з адаптованим керуванням навчальним процесом [10].

Особливості ДН зумовлені використанням нових засобів у навчальному процесі (НП) – телекомунікаційних та комп'ютерних інформаційних технологій (ІТ) [15].

Відповідно до четвертого положення системного підходу про генезу системи, проаналізуємо характерні ознаки і моделі ДН.

Аналіз попередніх досліджень

Низка науковців наводять моделі дистанційного навчання (ДН) різного цільового призначення і різні аспекти, що розкривають зміст ДН. Коли йдеться про можливість реалізації процесу ДН, тоді розрізняють моделі синхронного й асинхронного навчання. Якщо використовують різні способи навчання, виділяють шість моделей – за типом екстернату, на базі одного навчального закладу, у співпраці з декількома навчальними закладами, спеціалізовані освітні заклади, автономні навчальні системи та інтерактивне навчання на основі мультимедійних програм [3]. У випадку розгляду ДН з позицій підтримки навчання пропонуються дві моделі – розширення і трансформації [4].

Розрізняють також моделі, основані на різних методах організації процесу ДН (рис. 1):

– модель, яка ґрунтується на кейс-технологіях, коли засобом навчання є пакет навчальних і методичних посібників у вигляді друкованих матеріалів, аудіо-, відеокасет та електронних носіїв (CD, DVD); консультації очні;

- модель, побудована на TV-технологіях – засобом навчання є матеріали і лекції, передані за допомогою телевізійних каналів; консультаційні заняття проводять спеціально навчені інструктори;
- модель, основана на мережевоцентричних технологіях, у якій використовують здебільшого розподілені електронні навчальні засоби та середовища; взаємодія з викладачем здійснюється через телекомунікації;
- комбінована модель, що використовує засоби з різних вищеописаних моделей.



Рис. 1. Схема методів організації дистанційного навчання, на яких основані відповідні моделі ДН

Окрім цих методів, вводять ще технологію під назвою *Web-CD*. Її особливість у поданні змістової частини дистанційного курсу (ДК) (т. зв. *контент*) на компакт-дисках, що забезпечує низьку вартість і незалежність від каналів зв'язку, а Інтернет використовується для оновлення інформації, тестування й інтерактивного спілкування з ДС.

Основний матеріал

З моменту появи перших систем ДО пройшло кілька десятиліть, але вже доцільно розглянути їх еволюційний шлях розвитку. На еволюцію систем ДО істотно вплинули телекомунікаційні й інформаційні технології, особливо Інтернет [14]. З іншого боку, крім програмно-технічного аспекту, необхідно врахувати досягнення в царині педагогіки та психології навчання, зокрема когнітивної психології й теорії навчання.

Як правило, всі системи ДО мають модульну структуру. Навіть якщо фізично модулі важко виділити, вони легко виокремлюються на концептуальному рівні та на рівні розроблення [12].

До таких модулів належить навчально-методичний модуль, який реалізує розроблення і публікацію НМ (контенту); педагогічний модуль, який реалізує функції структурування і послідовності подання НМ та моделювання ДС з підсистемою КЗ; інтерфейсний модуль (навігація між елементами НМ); комунікаційний модуль (функції інтерактивної взаємодії та зворотного зв'язку); організаційно-адміністративний модуль (функції авторизації, захисту, фінансових операцій та інші) – рис. 2.

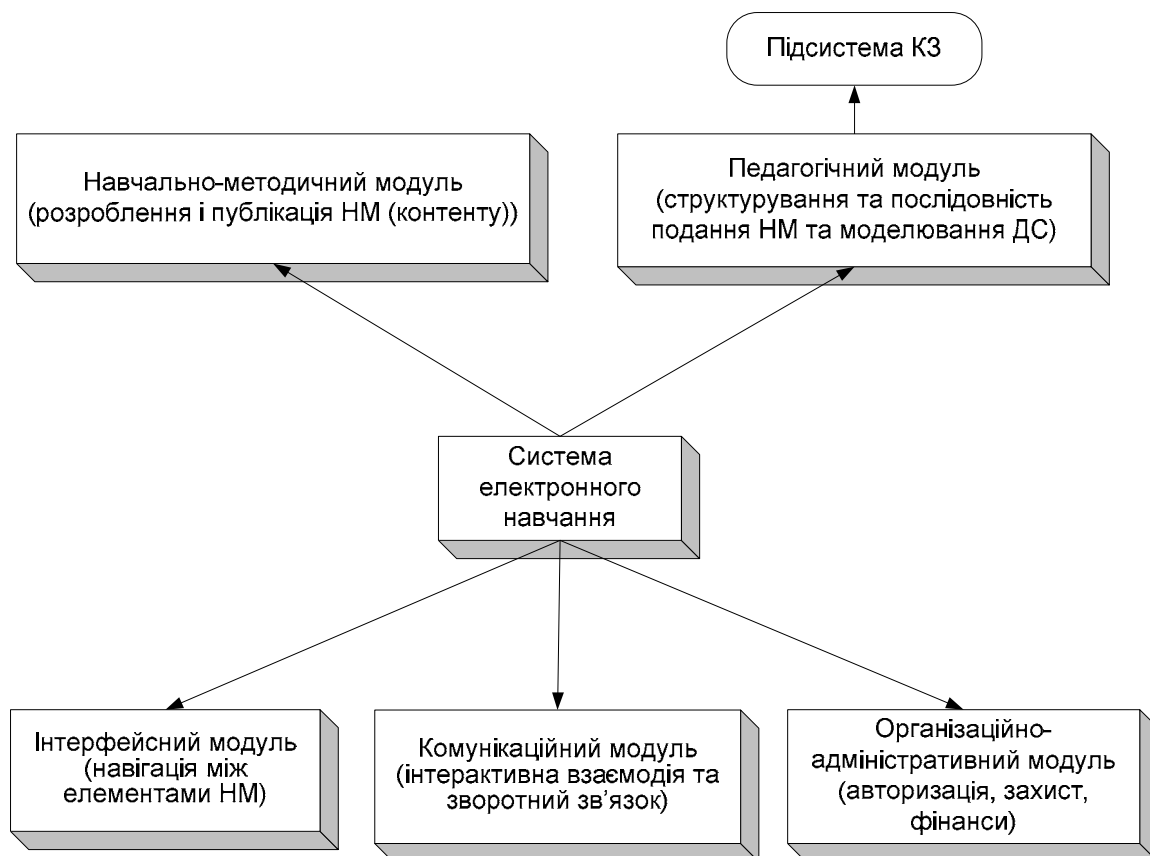


Рис. 2. Структурна (концептуальна) схема системи дистанційного навчання

Визначені покоління електронного та дистанційного навчання розрізняються не тільки наявністю того або іншого модуля, але і їхнім внутрішнім змістом та сукупністю зв'язків між ними (табл. 1).

Таблиця 1

Структура систем електронного та ДН різних поколінь

№	Модуль	Computer-Based Training	E-Learning 1.0	E-Learning 2.0
1	Навчально-методичний модуль (Знання ПО)	+	+	+
2	Педагогічний модуль	-	+	+
3	Модель ДС	-	-	+
4	Інтерфейсний (навігаційний) модуль	+/-	+/-	+
5	Комунікаційний модуль	-	+/-	+
6	Організаційно-адміністративний модуль	-	+/-	+

Знання ПО, сформовані навчально-методичним модулем, організовані у відповідні інформаційні одиниці НМ, визначають предмет вивчення, тобто відповідають на запитання – "що вивчати?" Педагогічний модуль визначає оптимальну послідовність подання навчального матеріалу, відповідаючи на запитання – "як навчати?" Крім того, до складу педагогічного модуля входить підсистема контролю знань ДС, зазвичай у вигляді тестів. У системах ДН нового покоління рівень знань ДС оцінюють також безпосередньо під час вивчення НМ. Модель ДС підвищує ефективність навчання, оскільки, якщо відомо, кого навчати, навчальний процес максимально індивідуалізується, тобто адаптується до ДС. Інтерфейсний модуль забезпечує зв'язування інших модулів системи ДО, а комунікаційний забезпечує взаємодію та зворотний зв'язок ДС із системою. Організаційно-адміністративний модуль (або підсистема керування навчальним процесом) забезпечує функції авторизації, захисту, здійснення фінансових операцій та інші.

Програмно-інформаційні технології реалізації модулів для порівняльного аналізу поколінь систем електронного та ДН наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Огляд технологій реалізації модулів електронного та ДН

Модуль	Computer-Based Training	E-Learning 1.0	E-Learning 2.0
Знання ПО	HTML	XHTML	XML, LOM (Learning Object Metadata), RLO (Reusable Learning Object)
Педагогічний модуль (ПМ)	–	Відсутній, або лінійна послідовність вивчення НМ	Подання навчального матеріалу з врахуванням ієрархічних рівнів, Educational Modeling Languages (EML)
ПМ: Підсистема контролю знань	–	Відсутній, або тести	1. Адаптивний КЗ 2. Моніторинговий аналіз взаємодії та активності ДС
Модель ДС	–	–	1. Стереотипна модель 2. Індивідуальна модель
Інтерфейсний (навігаційний) модуль	Статичні web-сторінки із жорстко заданими гіперпосиланнями	1. Статичні web-сторінки із жорстко заданими гіперпосиланнями, або 2. Динамічна генерація web-сторінок і гіперпосилань	Адаптивний інтелектуальний інтерфейс, оснований на моделі ДС і педагогічному модулі
Комунікаційний модуль	–	Електронна пошта	Електронна пошта, форум, чат, блог
Організаційно-адміністративний модуль	–	Learning Management Systems (LMS)	Learning Content Management Systems (LCMS)

Незважаючи на різні розуміння моделей у ДН, фактично всі сходяться в тому, що в ДН найяскравіше виявляються риси особистісно-орієнтованого способу навчання, а до особливостей ДН належать такі властивості [6]:

- *технологічність* – використання в освітньому процесі новітніх досягнень інформаційних та телекомунікаційних технологій;
- *паралельність* – паралельне з фаховою діяльністю навчання, тобто без відриву від виробництва;
- *гнучкість* – можливість займатися в зручний для себе час, у зручному місці та у зручному темпі; нерегламентований відрізок часу для освоєння дисципліни;
- *модульність* – можливість із набору незалежних навчальних курсів-модулів формувати навчальний план, який відповідає індивідуальним або груповим потребам;
- *охоплення* – одночасне звернення великої кількості студентів до джерел навчальної інформації (електронні бібліотеки, банки даних, бази знань тощо) та спілкування через мережі зв'язку один з одним та з викладачами;
- *економічна ефективність* – ефективне використання викладацького складу, навчальних площ, технічних та транспортних засобів.

Описані вище особливості ДН фактично визначають функціональне призначення системи, яке описується п'ятим положенням системного підходу.

Процес ДН повинен бути організований і функціонувати так, щоб проєктовані цілі ДН були адекватні можливостям ДС і не спричиняли їхнього перевантаження. Інформаційне навантаження НМ мусить відповідати вимогам державних освітніх стандартів і вимогам ергономіки. Для цього змістовна частина ДК створюється у вигляді, зручному для сприйняття, використання та аналізу (інформаційні модулі, неагресивний дизайн, обмежений файловий обсяг тощо). Крім того, під час проєктування ДК потрібно враховувати як минулий наявний досвід і рівень освіченості ДС, так і той, що здобувається в НП, а також спиратися на досягнутий рівень його розвитку. На основі синтезу такого попереднього досвіду відбуватиметься перехід до наступного рівня освіченості.

Відповідно до принципів децентралізації та невизначеності положень системного підходу, на основі індукції та синтезу досвіду попередньої освітньої діяльності ДС, можна забезпечити поступове формування необхідної освіченості за допомогою технологій ДН. Таке системне представлення ДН припускає можливість цілісного впливу на його складові, з одного боку, і можливість вироблення певних єдиних принципів побудови – з іншого.

Система ДН складається з певних ДК, які можна вважати структурними елементами цієї системи і до яких також повинні ставитись конкретні вимоги під час створення – до змістової частини, організаційної тощо. Тоді вимоги і підходи до створення систем дистанційного навчання (СДН) повинні починатися з принципів створення курсів, які входять до неї.

Сформулюємо основні вимоги для ефективного створення ресурсів для СДН:

1. Забезпечення спеціальними заходами підготовки ДС до здійснення навчальної діяльності в специфічному мережевоцентричному освітньому середовищі.

2. Підготовка кадрів, здатних створювати ресурси ДН і кваліфіковано супроводжувати процес навчання.

3. На основі системного підходу і відповідно до особливостей процесу ДН вироблення принципів, які стосуються засобів, форм, методів навчання і діяльності учасників освіти в мережевоцентричному освітньому середовищі.

Отже, під СДН розумітимемо розподілену навчальну інтелектуальну інформаційну систему з такими *системними властивостями*:

- властивістю будуватися з навчальних компонент, що можуть мати різних авторів;
- властивістю незалежної реалізації одних компонент від інших;
- здатністю використовувати інші СДН та бути використовуваною іншими СДН (бути компонентою іншої системи);

- передбачає можливість появи в системі нових (наперед не визначених) користувачів та анонімних користувачів, та доступ інших систем як користувачів;

і такими *програмно-технологічними властивостями*:

- фізичною та логічною здатністю функціонувати як у глобальному, так і у локальному мережевому середовищах;

- ґрунтується на використанні технологій гіпертексту, мультимедії, розподілених навчальних об'єктів, компонентів (картриджів);

- є *кросплатформною* щодо використовуваних апаратних, мережевих та клієнтських програмних засобів;

- є *мережевоцентричною* щодо гетерогенних програмних та навчальних інформаційних ресурсів.

Сьогодні найпоширеніші та перспективні структурні елементи ПЗ та ІТ для побудови СДН такі:

- HTTP, FTP, IIOP – протоколи зв'язку між клієнтом та сервером;
- CGI, Perl, PHP та спеціалізовані API – для інтеграції HTTP-серверів із зовнішніми джерелами інформації;

- HTML, XHTML, JavaScript, WML, XML – для реалізації гіпертекстових можливостей;

- VRML, Flash, формати подання звуку та зображення – для реалізації мультимедійних можливостей;

- POP, SMTP, UDP – для організації зворотного зв'язку та інтерактивної взаємодії;

- Java – для підтримання кросплатформних обчислень;

- LCMS, LMS, CMS – для організації керування навчанням та навчальним контентом;

- GPRS, EDGE, UMTS, WAP – для організації мобільного доступу та «тонких» обчислень;

- SCORM, IMS, LTSA, CORBA, DCOM, EML, TML – для реалізації та розроблення розподілених навчальних об'єктів та картиджів;

- файлові системи й операційні середовища, СКБД та системи підтримки групової роботи – для збереження та опрацювання даних;

- сервіси Web 2.0 (блоги, спільні закладки, вікі, соціальні мережі, add-ins, mash-ups) – для розроблення навчального контенту та для організації взаємодії та зворотного зв'язку.

Розглянемо кілька проектів, які ґрунтуються на розглянутих вище технологіях, моделях і методах дистанційного навчання та зазначених структурних елементах ПЗ та ІТ.

СДН для організації дистанційного процесу навчання у дитячому дистанційному навчально-консультаційному центрі

Основним завданням спроектованої та розробленої СДН для організації дистанційного процесу навчання в дитячому дистанційному навчально-консультаційному центрі (ДДНКЦ) у Львівській області є проведення дистанційного НП з використанням мережевоцентричних технологій. Додатково система може використовуватись для дистанційного контролю знань та стати дидактичним інструментом у разі самостійного навчання ДС. Загальну структуру ДДНКЦ відображено на рис. 3.

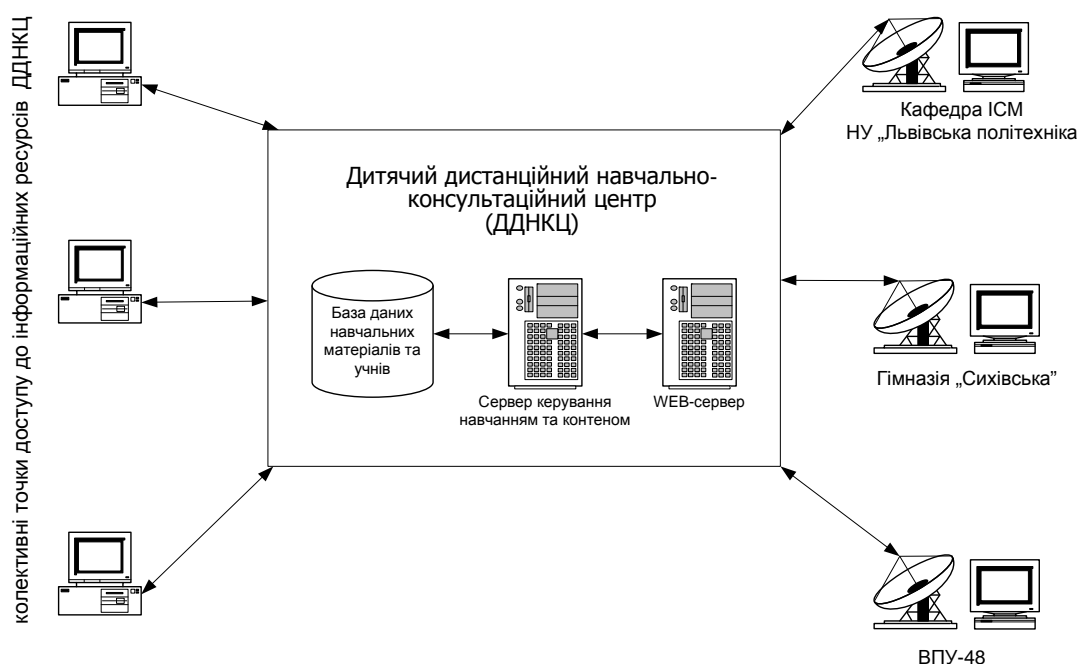


Рис. 3. Загальна структура ДДНКЦ

СДН основана на засадничих системних принципах побудови розподілених інтелектуальних інформаційних систем [11] та може функціонувати в локальному та розподіленому (Internet) середовищах.

Розроблена СДН виконує такі функції:

- створення дидактичних об'єктів (learning objects), які формують репозиторій навчальних матеріалів;
- керування навчальними матеріалами (контентом);
- керування ДС;
- організація адаптивного навчання;
- тестування та контроль рівня знань ДС;
- аналіз статистичних даних.

Ця система дає змогу детальніше визначати зміст й структуру навчання, забезпечити реалізацію особистісного та діяльнісного підходу в навчанні; підвищити ефективність контролю навчання завдяки детальній діагностиці знань; розробляти нові види навчальної діагностики. Адміністративне середовище СДН дає можливість багатьом викладачам незалежно створювати й адмініструвати навчальний матеріал (НМ) та тести для організації контролю знань (КЗ). Спроектвана система узагальнює специфіку навчального закладу і є засобом для ефективної реалізації персоналізованого дистанційного навчання та проведення віддаленого контролю знань. Спроектвана СДН може використовуватись як компонента інформаційно-аналітичної системи управління НП у середніх й вищих навчальних закладах України, доповнюючи, зокрема, супутні завдання обліку НП та методичної діяльності. Особливістю СДН є використання розроблених математичних

моделей: ДС, яка відображає його ступінь розуміння НМ; навчального матеріалу (контенту) у вигляді І/АБО-графу, для якого розроблені ефективні алгоритми обходу; тестових завдань та адаптивних методів контролю знань за моделями ДС і НМ.

Інтелектуальна система дистанційного контролю знань (тестування) для “Галицького турніру юних інформатиків”

Серед великої кількості ініціативних освітніх проєктів (олімпіад, турнірів, курсів тощо), які реалізує кафедра інформаційних систем та мереж Національного університету “Львівська політехніка”, проєкт “Галицький турнір юних інформатиків” вважається найпопулярнішим серед школярів. Його започаткували науковці кафедри на початку 90-х років, коли Інтернет ще не набув достатнього поширення в Україні.

Практика проведення протягом багатьох років дозволяє сформулювати основну його мету – надання можливості широкому загалу талановитій дитячій юні проявити свої знання і вміння в інформатичному напрямі, оскільки традиційні шкільні олімпіади цього профілю мають певний відбиток академізму та математично-екзотичної елітарності. Тому було вирішено в принципі відійти від традиційної форми проведення подібних заходів. Турнір став набагато масовішим, цікавішим та різноплановішим. Зростання його популярності серед молоді свідчить, що запропонований варіант вдалий.

Турнір юних інформатиків традиційно проходить у два етапи. Заочний, протягом якого школярі надсилають свої авторські програмні розробки, а фахова експертна комісія їх оцінює, та очний – коли учасники безпосередньо розв’язують запропоновані їм задачі в комп’ютерних лабораторіях. Організатори турніру постійно продовжують пошук нових форм та можливостей покращення його проведення, оскільки кількість учасників щоразу зростала, що створювало нові (технічні та організаційні) проблеми. Тому було вирішено перекласти низку рутинних процедур перевірки рівня знань учасників на інтелектуальні комп’ютерні системи і вперше провести очний тур як в локальному (в комп’ютерних лабораторіях), так і у дистанційному (on-line) режимах. Оцінювання знань школярів планувалось реалізувати в реальному режимі часу за допомогою комп’ютерних та телекомунікаційних технологій. Для цього було розроблено інтелектуальну систему дистанційного контролю рівня знань. Система ґрунтується на засадничих системних принципах побудови розподілених інтелектуальних інформаційних систем та може функціонувати в локальному та мережевоцентричному (Internet) середовищах [9].

Контроль того як студенти, слухачі й учні засвоїли навчальний матеріал, й оцінювання їхніх знань й умінь є складовою частиною СДН. ДН зумовлює підвищення вимог до системи контролю та додає їй визначеної специфіки. Контроль, як і в традиційному навчальному процесі, виконує перевіряльну, навчальну, виховну, організаційну функції і може бути вхідним, поточним, періодичним, підсумковим (вихідним).

Особливістю ДН є вхідний контроль, мета і завдання якого є – оцінка знань абітурієнта, орієнтацій і мотивів; аналіз і оцінювання рівня розвиненості його професійних якостей і здібностей, побудова відповідного соціально-психологічного портрета для нього, щоб вибрати ефективні засоби і методи навчання, забезпечуючи максимальну індивідуалізацію роботи з кожним студентом. Усе це відрізняється від мети вступних іспитів у традиційному процесі, де вони призначені переважно для добору кандидатів на навчання. Розроблена інтелектуальна система дистанційного тестування підвищила ефективність оцінювання рівня знань учасників “Галицького турніру юних інформатиків” і надалі використовуватиметься під час проведення олімпіад та турнірів інформатичного напрямку.

Підручник "Основи теорії електронних кіл" (з електронним варіантом, поданим на CD-диску)

Підручник "Основи теорії електронних кіл" (з електронним варіантом, поданим на CD-диску) за редакцією проф. Ю. Я. Бобала отримав перше місце у номінації "Найкраще навчальне видання з технічних наук і технологій" Першого всеукраїнського конкурсу видань "Університетська книга" (рис. 4).



Рис. 4. Обкладинка підручника та диплом за перше місце

Розроблений електронний підручник демонструє новий підхід до навчально-методичного забезпечення для вивчення базових дисциплін. Авторському колективу вдалося об'єднати усі види занять з курсу «Основи теорії електронних кіл» і подібних курсів, які читають у Львівській політехніці, в єдиному підручнику обсягом 330 сторінок з компакт-диском, який забезпечує вивчення теоретичного матеріалу з використанням сучасних методів доступу до інформації, засвоєння практичних навичок за допомогою як традиційних підходів, так і комп'ютерних методик, а також виконання лабораторних завдань на основі імітаційного моделювання. Електронна частина також дає змогу самостійно оцінити знання в інтерактивному режимі [5].

Електронний підручник, поданий на CD-диску, який входить у комплект з друкованим виданням, містить увесь теоретичний матеріал «паперового» підручника, практичні завдання із засобами самоконтролю, лабораторний практикум із комп'ютерними засобами імітаційного моделювання [1].

Методичні аспекти електронного навчання (ЕН) або самонавчання пов'язані з вирішенням педагогічних і психологічних питань, тобто організація ЕН розглядається з погляду дидактики. До методичних аспектів належать [2]:

- планування навчального матеріалу;
- планування проведення ЕН: скільки часу і в якій формі проводити;
- відбір завдань для перевірки знань, умінь і навичок студентів;
- формування набору питань і завдань для одного контрольного заходу;
- визначення критеріїв оцінювання виконання кожного завдання і контрольного заходу загалом.

Окрім створення як інструментів ЕН програм-тестувальників, викладачу, як спеціалісту з цієї предметної області, необхідно створити і перевірити оптимальні алгоритми і методи оцінювання рівня знань студентів. Такий підхід потребує доповнення програми тестування своєрідними фільтрами у вигляді накопичення, обробки статистичних даних та унаочнення результатів проведення контрольних заходів у вигляді діаграм і графіків. Це допомагає уникнути неякісних, занадто легких і незмістовних питань. Для відбору завдань для ЕН викладач повинен встановити критерії: для перевірки яких знань, умінь або навичок призначено завдання, а також сформулювати цілі введення його в банк контрольних завдань.

Завдання, запропоновані студентам ЕН, можуть бути різного типу. Кожний тип завдання припускає певну діяльність студента для його виконання і формування відповіді. Можна виділити такі типи завдань:

- меню (вибір однієї правильної відповіді з декількох);
- обчислення (введення цілого, дійсного числа або декількох чисел);
- слово (введення одного або декількох слів);
- фраза (введення речення);
- формула (введення формули);
- відповідність (вибір правильної відповіді з меню для кожного із заданих речень, рисунків або фото);
- послідовність (введення послідовності дій або вибір її з меню).

Іншим методичним аспектом контролю є формування набору контрольних завдань. Залежно від вигляду і мети контролю можна виділити такі підходи до комплектування груп завдань ЕН:

- послідовність питань і завдань різної складності та значущості, що оформлена у вигляді розгалуженого або багаторівневого алгоритму і може бути використана для поточного дослідження і самоконтролю рівня знань;
- спеціальний набір завдань різної складності, сформований для перевірки певного або комплексного рівня підготовки (знань, умінь, навичок), поданий у заданій послідовності: довільно, в порядку самостійного вибору студента або за зростанням їх рівня складності;
- група завдань, що формуються за допомогою випадкової вибірки з банку завдань з урахуванням динаміки і наповнення дистанційного курсу дисципліни та складності завдань.

Перераховані підходи можуть бути доповнені, а також скомбіновані один з одним. Підхід до формування набору контрольних завдань залежить від мети ЕН і рівня підготовки студентів певної групи.

Висновки та перспективи подальших наукових розвідок

У статті розглянуто результати дослідження і розроблення математичного та програмного забезпечення систем дистанційного навчання із використанням теоретичних засад та програмно-алгоритмічних комплексів, які реалізовані на основі мережевоцентричних технологій.

Засоби і методи контролю знань є важливими компонентами систем дистанційного навчання. Систему дистанційного навчання умовно можна розділити на три основні підсистеми: забезпечення навчально-методичними матеріалами, інтерактивної взаємодії та зворотного зв'язку і контролю знань. Результати порівняння продуктивності програмних компонентів розроблених СДН показують, що час навчання у цих системах є меншим завдяки побудові персональної траєкторії подання НМ із урахуванням рівня знань кожного ДС, а відносний рівень знань підвищується завдяки використанню методів та алгоритмів адаптивного тестування, яке дає змогу об'єктивніше оцінювати знання ДС, що забезпечує максимально ефективний процес навчання.

1. Bobalo Yuriy. *Software implementation of electronic textbooks "Fundamentals of the theory of electronic circuits"* / Yuriy Bobalo, Petro Stakhiv, Bohdan Mandziy, Natalia Shakhovska, Roman Holoshchuk // *Матеріали XII міжнародного симпозиуму "Обчислювальні проблеми електротехніки"*, 5–7 вересня 2011 року / відп. за вип. С. Рендзіняк. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2011. – С. 17–18. 2. Yuriy Bobalo, Petro Stakhiv, Bogdan Mandziy, Natalya Shakhovska, Roman Holoschuk: *The concept of electronic textbook "Fundamentals of theory of electronic circuits" [Електронний ресурс]* // *Przegląd elektrotechniczny (Electrical Review)*, ISSN 0033-2097, R. 88 NR 3a/2012. – P. 16-18 <http://pe.org.pl/articles/2012/3a/6.pdf>. – Заголовок з титул. екрана. *Przegląd Elektrotechniczny is indexed by Thomson Scientific Web of Science Philadelphia (Philadelphia list). Impact Factor: 0.242.* 3. Баумаков А. И. *Разработка компьютерных учебников и обучающих систем* / А. И. Баумаков, И. А.Баумаков. – М. : Информационно-издательский дом "Филинь", 2003. – 616 с. 4. Голощук Р. О. *Веб-спільноти в дистанційній освіті* / Р. О. Голощук, Н. О. Думанський, Ю. О. Серов // *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*. – Львів, 2008.– Вип. 18.10. – С. 286–292. 5. Голощук Р. О. *Структура та програмна реалізація електронного*

підручника «Основи теорії електронних кіл» / Р. О. Голощук, Ю. О. Серов // Інноваційні комп'ютерні технології у вищій школі: матеріали 3-ї науково-практичної конференції. м. Львів, 18–20 жовтня 2011 року / відп. за випуск Л. Д. Озірковський. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2011. – С. 57–61. 6. Голощук Р. О. Характерні моделі, структура та технології електронного навчання / Р. О. Голощук // Інноваційні комп'ютерні технології у вищій школі: матеріали 4-ї науково-практичної конференції. м. Львів, 20–22 листопада 2012 року / відп. за випуск Л. Д. Озірковський – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2012. – С. 16–20. 7. Голощук Р. О. Дистанційна освіта – методи, технологія, реалізація / Р. О. Голощук // Збірник матеріалів Міжвузівської науково-технічної конференції науково-педагогічних працівників. – Львів : Ліга-Прес, 2006. – С. 156–157. 8. Голощук Р. О. Використання програмного забезпечення Moodle та Adobe для організації електронного навчання / Р. О. Голощук, О. О. Довбуш // Інформаційні системи та мережі : [збірник наукових праць] / відп. ред. В. В. Пасічник. – Львів. : Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2010. – № 673. – С. 249–258. 9. Голощук Р. О. Інтелектуальна система дистанційного контролю знань учасників олімпіад та турнірів юних інформатиків / Р. О. Голощук // Інформаційні системи та мережі : [збірник наукових праць] / відповідальний редактор В. В. Пасічник. – Львів : Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2003. – № 489. – С. 90–100. 10. Голощук Р. О. Математичне та програмне забезпечення систем дистанційного мережевоцентричного навчання : автореферат дисертації кандидата технічних наук : 01.05.03 / Р. О. Голощук ; Національний університет "Львівська політехніка". – Л., 2008. – 20 с. 11. Голощук Р. О. Моделювання систем дистанційного мережевоцентричного навчання / Р. О. Голощук // Інформаційні системи та мережі. – Львів : Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2008. – № 610. – С. 93–100. 12. Голощук Р. О., Серов Ю. О. Створення дитячого дистанційного навчально-консультаційного центру на основі сучасних веб-технологій [Електронний ресурс] // Е-навчання у вищій школі – проблеми і перспективи (INCEL08) : Міжнародна науково-практична конференція, м. Одеса, 13–15 травня 2008 р. – 1 електронний опт. диск (CD-ROM) : ISBN 978-966-593-624-4. – Систем. вимоги: Windows 95/9/ME/NT4/2000/хр. Acrobat Reader. – Заголовок з титул. екрана. 13. Інтернет-обучение: технологии педагогического дизайна / Моисеева М. В., Полат Е. С., Бухаркина М. Ю., Нежурина М. М. ; под ред. канд. педагог. наук М. В. Моисеевой. – М. : Камерон, 2004. – 216 с. 14. Пелецишин А. М. Аналіз сучасних концепцій розвитку середовища WWW / А. М. Пелецишин, О. Л. Березко // Вісник Національного університету "Львівська політехніка" : Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – 2006. – № 565. – С. 57–64. 15. Шаховська Н. Б. Моделювання та алгоритмізація процесів дистанційного навчання / Н. Б. Шаховська, Р. О. Голощук // Комп'ютерні науки та інформаційні технології : Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2004. – № 521. – С. 106–112.

ПРОБЛЕМА ОПТИМАЛЬНОСТІ В ТЕОРІЇ ТА ПРАКТИЦІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

© Катренко А. В., Пастернак О. В., 2015

Розглянуто системні аспекти проблеми оптимальності в контексті структури процесу прийняття рішень (ПР), пов'язання її з моделями та задачами ПР, теоретичні та практичні особливості оптимальних рішень. Проаналізовано ентропійні характеристики та їхній вплив на рівень оптимальності практичних рішень. Порівняно характеристики методів ПР з погляду пошуку оптимальних рішень, обґрунтовано використання методу розгалужень та границь як одного з найгнучкіших для отримання рішень за різних умов. Запропоновано загальну структуру алгоритмів відображення мети для оцінювання оптимальності рішень та наведено їх практичні застосування.

Ключові слова: оптимальність, прийняття рішення, структура, мета, дерево цілей, системний аналіз, модель, ієрархія, критерій оптимальності.

The system aspects of optimality problem within the framework of the structure of decision-making process, connecting it with DM models and tasks, theoretical and practical aspects of optimal solution peculiarity were analyzed. The analysis entropic specification and their impact on the optimal level of practical decisions was made. The DM methods specifications in context of optimal decisions-making were compared, the consumption of partitioning and threshold method, as one of the most flexible for decision-making in different conditions were justified. The overall target presentation algorithm structure of optimum solutions assessment was suggested and their practical implementations were reported.

Key words: optimality, decision-making, structure, target, target tree, system-oriented analysis, model, hierarchy, criterion of optimality.

Вступ

Людина здебільшого прагне діяти цілеспрямовано, тобто орієнтуючись на досягнення певної мети чи певного стану в майбутньому. В визначені моменти часу вона повинна вибирати конкретний варіант дій, тобто приймати рішення. Процеси прийняття рішень (ПР) надзвичайно поширені, вони допомагають організувати раціональне функціонування виробничих систем, установ, прискорити створення нової техніки та впровадження прогресивних технологій, допомагають сконцентрувати увагу на вирішенні важливих наукових проблем.

Питання ухвалення державних рішень, підготовки доцільних законів та інших актів здавна привертало увагу філософів, першість у розробленні спеціальної концепції ухвалення рішень, вірогідно, належить Арістотелю. Питання про раціональний вибір і прийняття рішень виникло задовго до появи математичної теорії. В межах соціально-економічних і гуманітарних досліджень раціональність виявляється передусім як певна форма цілеспрямованої, розумної дії та поведінки людей у найрізноманітніших умовах суспільної діяльності та праці. Раціональний вибір описує індивідуальний спосіб вибору варіантів дій з максимальною корисністю або вигодою. Початок застосування сучасних методів раціонального вибору пов'язують з появою в 1951 р. книги Кенета Арова “Соціальний вибір і індивідуальні цінності”. У своїй роботі “Управлінська поведінка” американський вчений, лауреат Нобелівської премії 1978 р. Герберт Саймон запропонував замінити спрощений підхід до ухвалення рішень на підхід під впливом множини чинників. Загалом застосування методів раціонального вибору дало можливість пояснити деякі цікаві результати голосування виборців, розкрити механізми формування коаліцій у парламенті, а також розподілен-

ня влади між політичними партіями, що перемогли на виборах. Проте головний недолік цих моделей і теорій полягає у тому, що вони спираються на загальні припущення і гіпотези, які важко перевірити емпірично і які інтерпретуються багатозначно.

Формальний математичний підхід вперше достатньо повно реалізовано в межах дослідження операцій. Діяльність вчених не обмежувалася лише елементами технічних рішень, а передбачала й застосування відповідних знань для планування тактичних операцій та опрацювання стратегії військових операцій. Найважливішим в цьому для майбутнього було те, що багато фахівців побачили в цих військових розробках зародження нової науки про функціональні системи, а також можливості застосування отриманих знань у мирний час.

Наука про вибір найкращого варіанта рішення як самостійна дисципліна – теорія прийняття рішень – склалася порівняно недавно, на початку 1960-х років, тоді ж була сформульована основна мета цієї теорії – раціоналізувати процес ухвалення рішень. Математичні методи прийняття рішень істотно розвинуто в роботах Джона фон Ноймана й Оскара Моргенштерна.

У подальші роки була створена і прикладна теорія статистичних рішень, що дала змогу проаналізувати і розв'язати широкий клас управлінських задач, пов'язаних з обмеженим ризиком – проблеми вибору, розміщення, розподілу тощо. Невизначеність та суб'єктивні аспекти прийняття рішень доволі успішно враховує апарат теорії нечітких множин, який запропонував Л. А. Заде.

Постановка проблеми

У більшості математичних моделей ПР формалізація мети зводиться до введення критерію оптимальності (функції мети, критерію якості рішення), за допомогою якого для кожного можливого результату у вигляді числа оцінюється його якість для децидента. Мета ототожнюється з вибором альтернативи, що має якомога більше (чи менше) значення критерію оптимальності, проте таку функцію можна ввести далеко не завжди. Звичайно, числове описання результатів є дуже зручним і зрозумілим, але такий підхід у багатьох випадках не є коректним і має сенс – не все можна звести до числового подання. Це пояснюється властивостями складних систем – чим складніша система, тим меншою мірою вона піддається точному кількісному описанню. А в реальних завданнях прийняття рішень ми маємо справу зі складними системами: технічними, економічними, біологічними, соціальними тощо.

Оптимальне рішення – це рішення, яке є найкращим з певного погляду. Тому не існує “надоптимального” чи “найоптимальнішого” рішення, оскільки оптимальне рішення вже є найкращим за певних умов та припущень. Тобто оптимальне рішення – це таке рішення, яке є найкращим з погляду мети, якої прагнемо досягнути.

Для ухвалення конкретного рішення, в певному сенсі найкращого, необхідно, мати не лише достатньо чітке, бажано формальне, а в найкращому випадку функціональне (у вигляді функції значень параметрів та керованих змінних) описання мети. Необхідно розрізняти формальне і кількісне (функціональне) описання мети, а саме довільне кількісне описання є формальним, але довільне формальне описання не обов'язково повинно бути кількісним. Це твердження ґрунтується на тому, що математика не є наукою “про кількість”, а описує формальні (знакові) моделі об'єктивної дійсності. Отже, можна побудувати математичну модель ситуації прийняття рішення, ґрунтуючись на формальному, але не обов'язково кількісному описанні її компонент.

Мета може бути описаною непрямо – наприклад, вказуючи переваги між всіма парами альтернатив у безпосередньому вигляді, що визначається нею. Зробити це простіше, ніж синтезувати функцію мети, оскільки в цьому випадку необхідно лише вказати, які результати кращі, а які гірші. Такий спосіб формального описання мети є загальнішим за природою і простіший з погляду логіки, аніж визначення її у вигляді критерію оптимальності, але разом з тим дозволяє побудувати достатньо змістовну математичну теорію ПР, що ґрунтується на апараті бінарних відношень. Якщо ж за таких попарних порівнянь можливо оцінити, у скільки разів (на скільки) одне рішення краще (або гірше) за інше, користуються апаратом метризованих бінарних відношень. Однак недоліком в цьому випадку є те, що у разі зміни множини можливих рішень необхідно кожен раз виконати попарні порівняння, а у функціональному представленні – лише розрахувати значення критерію оптимальності для кожного рішення.

Саме тому необхідно дослідити – що ж є оптимальним рішенням з погляду мети, якої прагне досягти децидент, і як це поняття модифікується в процесі формалізації, постановки задачі ПР та як саме залежить від конкретних умов ПР. Проблема полягає в потребі дослідження поняття “оптимальність” з різних аспектів прийняття рішень – починаючи від системного аналізу, побудови моделі ситуації прийняття рішення, її формалізації, отримання остаточного варіанта рішення та його імплементації.

Цілі статті

Мета роботи – дослідження проблеми оптимальності в загальній структурі прийняття рішення, а також з погляду і теоретичних аспектів, і практики ПР та на різних рівнях ієрархії ПР.

Структура процесу прийняття рішення

Оскільки зміст поняття “мета” для певної задачі ПР є доволі нечітким, необхідно здійснити перехід до конкретніших формулювань, а тому насамперед розглянемо структуру процесу прийняття рішень та ті елементи, які впливають на формування уявлення про оптимальне рішення.

Основними знаннями, якими потрібно володіти для того, щоб вибрати оптимальне рішення, є знання із системного аналізу, теорії прийняття рішень, дослідження операцій та менеджменту як інструменту реалізації прийнятих (ухвалених) рішень (рис. 1) [6]. Товщими лініями виділені ті елементи, які пов’язані з формуванням поняття оптимальності для конкретної проблемної ситуації та впливають на нього. Зрозуміло, що терміни “прийняття” та “ухвалення” рішення є майже ідентичними, хоча, на думку авторів, “прийняття рішення” доцільно вживати у випадках, коли є один децидент, який і вибирає найдоцільніший (оптимальний) варіант для реалізації, а “ухвалення рішення” – якщо децидентів декілька, особливо в тих випадках, коли рішення ухвалюється голосуванням.

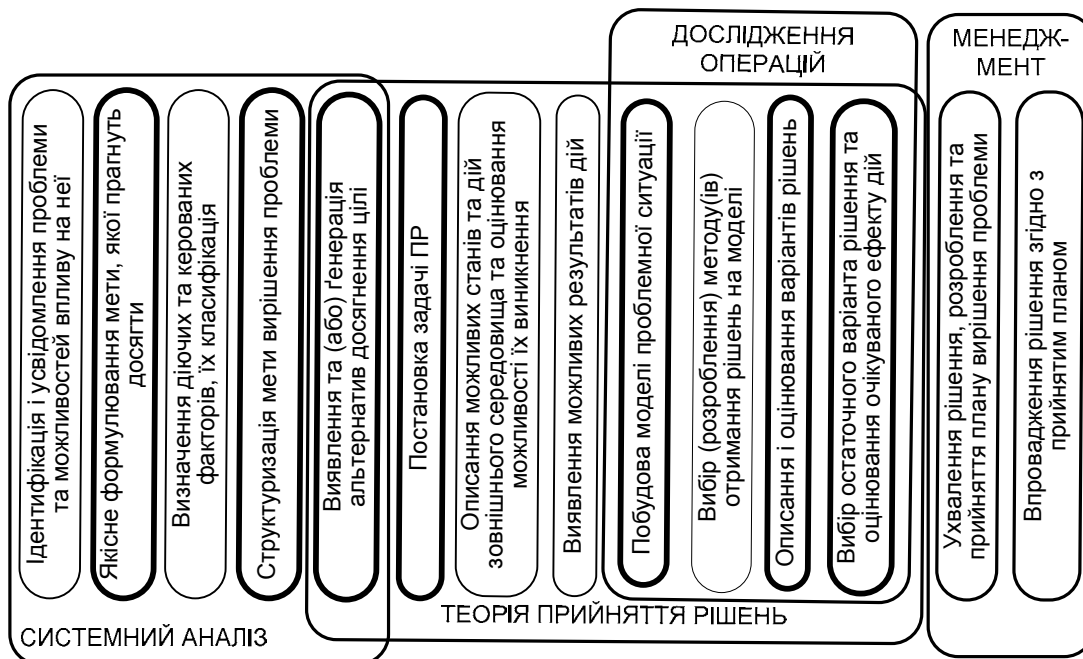


Рис. 1. Структура процесу прийняття рішень

На перших етапах – ідентифікації проблеми, усвідомлення мети, якої треба досягти, визначення основних діючих факторів (як-от – ступінь невизначеності та її вид, наявність активних гравців), можливостей децидента, використовуються переважно методи системного аналізу, надалі – методи генерації можливих альтернатив, задачі та алгоритми теорії прийняття рішень, багато з них можуть бути конкретизовані до моделей дослідження операцій, і після вибору остаточного варіанта дій – методи менеджменту для імплементації прийнятого (чи ухваленого) рішення.

Проблемна ситуація виникає в тому випадку, якщо поставлені раніше цілі не досягнуті, і адекватна ідентифікація проблеми багато в чому сприяє її вирішенню. Тому правильно визначити проблему – означає наполовину її вирішити. Спочатку необхідно усвідомити і встановити симптоми ускладнень або наявних можливостей, що допомагає визначити проблему в загальному вигляді та сприяє зменшенню кількості впливних факторів. *Якісне формулювання мети* безпосередньо пов'язане з оптимальністю чи неоптимальністю рішень, які будуть прийняті. Мета, сформульована природною мовою, повинна відображати те, чого прагне досягнути децидент.

Діючі фактори слід поділити на дві основні категорії – залежні від децидента та незалежні, тому що рішення формується з використанням можливостей активного впливу децидента на ситуацію – якщо залежних факторів немає – то і відсутня проблемна ситуація, оскільки в цьому випадку децидент не може нічого змінити – подобатиметься йому ситуація, що склалася, і її розвиток, чи ні. Незалежні фактори формують систему обмежень, середовище, в якому діятиме децидент, реалізуючи мету. Серед цих факторів доцільно ідентифікувати ті, поведінка децидента яким байдужа, та активні – які в різних ситуаціях можуть як протидіяти, так і сприяти. Обмеження змінюються і залежать від ситуації, до найпоширеніших належать матеріальні, інформаційні, поведінкові обмеження, неадекватність засобів, конкуренція, відсутність необхідних технологій.

Структуризація мети виконується на основі її якісного формулювання та дає змогу отримати множину критеріїв, за якими оцінюється ступінь досягнення різних аспектів мети. Від результатів цього кроку суттєво залежить, які рішення вважатимуться оптимальними і наскільки це узгоджуватиметься з системою переваг децидента. *Виявлення можливих варіантів рішень* повинно насамперед бути орієнтоване на досягнення мети – немає потреби розглядати рішення, які не сприяють цьому, а з іншого боку – необхідно прагнути не упустити ті, які можуть бути оптимальними, але з тих чи інших причин не належать до можливих. На практиці децидент не у всіх випадках володіє достатніми знаннями або часом, щоб сформулювати й оцінити кожен альтернативу, а тому він зазвичай зводить перелік варіантів вибору до декількох альтернатив, які йому видаються найбажанішими. Тому умова повноти множини рішень, що розглядаються, є однією з найважливіших й істотно впливає на вибір оптимального рішення.

Постановка задачі скерована на те, щоб визначити, яку задачу і в яких умовах необхідно розв'язати, який час на це відведений, якими силами та засобами вона розв'язуватиметься. Постановка задачі – це специфічний процес прийняття рішення, оскільки саме тут визначають – чи вирішувати проблему, чи призупинити її вирішення (неприйняття жодного рішення – це теж рішення). *Описання можливих станів та дій зовнішнього середовища* дозволяє сконцентрувати увагу децидента на факторах, якими не можна керувати, але під дією яких також формуються результати розв'язання проблемної ситуації. В теорії прийняття рішень реалізуються особливості побудови процесу вибору найкращої альтернативи залежно від ступеня знання розподілу об'єктивних чи суб'єктивних вірогідностей виникнення конкретних станів зовнішнього середовища, а також за умов невизначеності та активності зовнішнього середовища (ігрові моделі).

Виявлення можливих результатів дій. Можливі результати дій можуть виявлятися в різних місцях і в різні періоди, що зумовлено існуванням різноманітних причинно-наслідкових ланцюжків. Потрібно також брати до уваги побічні результати, які можуть бути настільки важливими, що визначатимуть допустимість чи недопустимість вибраного рішення.

Наступні етапи – побудова моделі задачі ПР, вибір чи розроблення методів отримання рішень на моделі, описання і оцінювання варіантів рішень (альтернатив), обґрунтування вибору та вибір остаточного рішення – є спільними як для теорії прийняття рішень, так і для моделей дослідження операцій. І врешті-решт ухвалення рішення та розроблення плану його реалізації з подальшим його впровадженням стосуються менеджменту.

Оптимальність та ентропія у прийнятті рішень

Оптимальне рішення в багатьох випадках неможливо вибрати однозначно без додаткової інформації. Це стосується не лише ситуацій з невизначеністю, але й детермінованих. Так, загальним розв'язком детермінованої задачі багатокритерійної оптимізації є множина парето-оптимальних

рішень, але ж для практичної реалізації необхідно вибрати одне конкретне рішення, а без інформації про переваги децидента чи діалогового долучення його в процес ПР цього зробити не вдасться. У випадку, коли моделюється реальна проблемна ситуація і використовується детермінована модель (а це поширене явище), не завжди доцільно знаходити оптимальний розв'язок – здебільшого вистачатиме наближеного, ось лише обґрунтувати рівень точності виявляється не так просто.

Використання поняття ентропії дозволяє проаналізувати основні залежності, які діють на практиці. Відкрита система має тенденцію до зменшення внутрішньої ентропії, що досягається взаємодією із зовнішнім середовищем та прийняттям відповідних керуючих рішень згідно з призначенням (метою) системи. З іншого боку, в зовнішньому середовищі існує певний рівень залишкової ентропії (інформація, необхідна для прийняття керуючого рішення, принципово не може бути строго детермінованою, а також абсолютно повною).

Процес прийняття рішення потребує певного часу на збирання необхідної інформації та на роботу алгоритмів оптимізації (пошук оптимального рішення), тобто цикл прийняття рішення потребує певного часу реалізації. Початковий рівень інформованості відповідає високому рівню ентропії. Окрім того, від збирання інформації (перед ним ентропія має певне початкове значення) до прийняття остаточного рішення минає певний час. Залежно від рівня початкової ентропії (початковий рівень інформованості) та ефективності методу прийняття рішення отримуємо залежності зменшення ентропії від часу (рис. 2) [5].

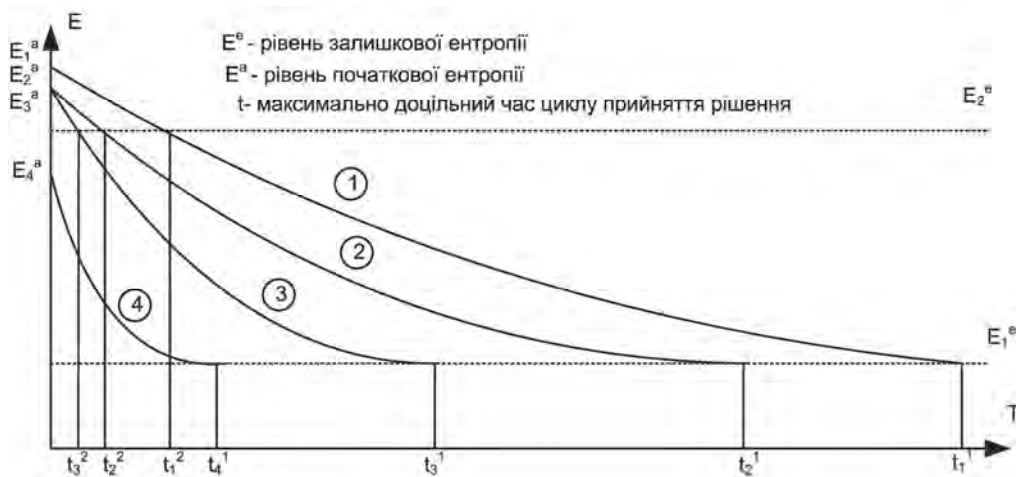


Рис. 2. Ентропійні характеристики рішень

Для випадку 1 рівень початкової ентропії достатньо високий, і відповідно максимально доцільний час прийняття рішення значний. Для випадків 2 та 3 рівень початкової ентропії однаковий, але завдяки ефективнішому циклу у випадку 3 максимально доцільний час менший. Коли рівень залишкової ентропії високий, максимально доцільний час зменшується, тому що велика кількість варіантів рішення будуть прийнятними внаслідок високої невизначеності зовнішнього середовища. Для випадку 4 за значного рівня залишкової ентропії E_2^e задовільним буде будь-яке рішення.

Окрім того, у багатьох випадках (системи реального часу) існує необхідність прийняття рішення в обмежені терміни, що менші за максимально доцільні. Тому необхідно зважати ще й на додаткові характеристики алгоритмів пошуку рішень, такі як можливість знаходження повного рішення за найкоротший час з подальшим його покращенням. В реальному житті складність та швидкі зміни факторів і обмежень залишають мало часу для такої точності. Ці залежності допомагають зрозуміти, що в багатьох випадках немає потреби шукати оптимальне рішення (яке й так є оптимальним лише для тієї ідеальної моделі, яку побудовано), достатньо знайти рішення, близьке до нього.

Отже, аналізуючи навколишнє середовище з погляду рівня залишкової ентропії, можна зробити висновок про те, що не завжди важлива оптимізація сама по собі, в невизначених середовищах може цілком вистачити рішення, яке забезпечує задоволення потреб та вимог за розумного рівня їх якості.

Моделі ПР та проблема оптимальності

Дескриптивний та нормативний підхід використовують, вивчаючи процеси прийняття рішень, що реалізується у вигляді відповідних моделей. *Дескриптивні (описові) моделі* орієнтовані на описання проблемної ситуації, метою є виявлення та вивчення закономірностей формування рішень у процесі взаємодії децидента з проблемою, і тут не згадується про оптимальність. *Нормативні моделі* застосовують для керування процесом прийняття рішень, формування його елементів і зміни розвитку, вони визначають “норму”, тобто основані на теоретичному обґрунтуванні принципів раціонального вибору і в таких моделях оптимальність визначається тим чи іншим ступенем наближення до норми [6].

Індуктивні моделі будуються у результаті спостереження за окремими одиничними фактами, які важливі для ПР. Їх значення полягає в тому, що у разі простішого описання взаємозв'язків інформація, що міститься у великій сукупності спостережень, буде подана в наочному і стиснутому вигляді, й створюються вони для вирішення конкретних проблем. Під час побудови *дедуктивних моделей* виходять не з конкретних фактів, а зі спрощеної системи гіпотетичних ситуацій. Теорія прийняття рішень основана на абстрактних ситуаціях керування, і за допомогою якісного аналізу об'єктивна реальність редукується і агрегується в спрощеній гіпотетичній абстрактній проблемі, що описується у вигляді дедуктивної моделі. В абстрактній дедуктивній моделі оптимальність рішення оцінюється за допомогою абстрактного критерію(ів) якості, що набуває змісту в конкретних застосуваннях.

Статичні (однокрокові) моделі дають змогу обрати оптимальний розв'язок на короткий період часу – теоретично – на певний момент часу. Якщо ж спробувати використати цей розв'язок протягом певного періоду, то він внаслідок динаміки оточення виявиться неоптимальним, оскільки припущення, що сума оптимальних окремих розв'язків в окремих періодах їх реалізації є оптимальним розв'язком для всієї послідовності періодів, звичайно ж, не підтверджується, тому що короточасний ефект в багатьох випадках може призводити до великих втрат у перспективі. В рішеннях необхідно збалансувати короткотермінові й довготермінові аспекти оцінювання оптимальності. Формування системи цілей однокрокової моделі ПР у випадку використання їх на перспективу не дасть змоги отримати оптимальне рішення, тому що процес управління об'єктивно розпадається на певні періоди, через які необхідно формувати нові рішення для подальших дій. Періодичність рішень, які приймаються, визначається періодичністю проявів нової суттєвої інформації про внутрішні та зовнішні параметри процесу керування, що зумовлює необхідність корегування управлінських дій. Під час ПР необхідно враховувати можливий подальший перебіг подій і передбачити способи реагування на зміни умов. Однокрокові моделі в загальному випадку можна розглядати як елементи динамічної моделі. Формалізована процедура узгодження одноперіодних моделей породжує *динамічну (багатокрокову) модель* процесу ПР.

Проблемно-орієнтовані моделі будуються на основі нових (вперше розроблених або запозичених з інших областей науки і практики) методів моделювання. Надалі вивчаються можливості використання таких моделей і їхніх специфічних властивостей для розв'язання задач прийняття рішень. *Формальні моделі* дають змогу використовувати в ПР відомі методи отримання розв'язків проблеми. У цьому випадку виникають проблеми і труднощі, пов'язані з можливостями пристосування таких моделей (забезпечення інформацією, затрати праці для отримання рішень, змістова інтерпретація результатів) або викликані невідповідністю структури і властивостей теоретичної моделі реальній ситуації ПР.

Під час побудови моделей, окрім об'єктивного аспекту, необхідно враховувати можливість використання моделі із суб'єктивного погляду. Суб'єктивний аспект відображається в постановці задачі, підході до інформаційного відображення об'єкта управління, вибору методів синтезу моделей і отримання рішень за їх допомогою. Отримані в результаті застосування різних підходів, на основі різної інформації, моделі різняться між собою. Вони мають свої переваги і недоліки і доповнюють одна одну в процесі прийняття рішень.

Загальна модель задачі прийняття рішень

Загальна модель задачі ПР дає змогу структурувати початкову наявну інформацію про проблемну ситуацію і забезпечує початкові умови для розроблення нових класів методів і моделей прийняття рішень. Критерії оптимальності, діючі фактори та фактори, що не враховуються, вид невизначеності та її ступінь, конкретний вигляд істотно залежатимуть від особливостей конкретної задачі ПР. Кожна окрема задача ПР є елементом логічної схеми розроблення плану вирішення складної проблемної ситуації, а процес її розв'язання визначає технологію, інформацію й великою мірою організацію роботи цього елемента [6].

У результаті аналізу основних етапів процесу прийняття рішень однією з найзагальніших є така модель задачі прийняття рішень Z_R у вигляді дев'ятки

$$Z_R = \langle S, S^P, I, T^P, F^P, A, P, Q, F^Q \rangle, \quad (1)$$

де S – множина можливих ситуацій, S^P – множина проблемних ситуацій $S^P \subset S$, I – визначник проблемної ситуації; T^P – множина постановок (типів) задач прийняття рішень, $F^P: S^P \rightarrow T^P$ – відображення множини проблемних ситуацій у множину постановок задач прийняття рішень, A – множина можливих варіантів рішень, P – система переваг децидента, Q – множина критеріїв оцінювання якості рішень, $F^Q: P \rightarrow Q$ – відображення системи переваг децидента в множину критеріїв якості, за допомогою яких оцінюється ступінь досягнення мети. Визначник I є результатом дії відображення D множини факторів G , суттєвих для ідентифікації проблемної ситуації, у конкретне значення I , $D: G \rightarrow I$, яке для детермінованого середовища є 0 – якщо проблемна ситуація відсутня, та 1 – у випадку її виникнення. Якщо ж діють невизначеності, значення може бути між 0 та 1, і для остаточної ідентифікації задається поріг, який в різних ситуаціях ПР буде різним.

Оптимальним вважатимемо рішення, яке максимально відповідає системі переваг децидента, і задача полягатиме в тому, щоб за умови наявності цих структурних елементів вибрати таке рішення з множини A можливих варіантів, яке й буде оптимальним.

Систему переваг децидента P формально подають так:

$$P = \langle A, Q, K, F^A, L \rangle, \quad (2)$$

де K – множина шкал критеріїв, $F^A: A \rightarrow Q$ – відображення множини альтернатив A в множину критеріїв, L – вирішальне правило, що дає змогу на основі образів множини альтернатив A в області критеріїв Q розв'язати задачу прийняття рішень відповідно до її типу T^P – вибрати одну найкращу альтернативу; знайти всі альтернативи, які відповідають поставленим умовам; впорядкувати альтернативи за якістю.

Ця модель відповідає використанню математичних методів на більшій кількості етапів прийняття рішень. Множина A можливих (допустимих) варіантів рішень – це сукупність наявних альтернатив, що відповідають можливим способам досягнення та (або) реалізації мети і не порушують певних обмежень, притаманних конкретній задачі прийняття рішень. Множина критеріїв Q відображає різні суттєві з погляду децидента аспекти мети функціонування системи і є одним з результатів системного аналізу ситуації. Множина шкал критеріїв K ставить у відповідність кожному критерію множини Q шкалу (найменувань, порядкову, інтервалів або відношень), в якій вимірюються значення критеріїв. Відображення $F^Q: A \rightarrow Q$ у відповідноє кожній альтернативі множини A (яка описується загалом кортежем різнорідних змінних та параметрів) точку в просторі критеріїв, причому це відображення є гомоморфним, оскільки різні альтернативи можуть мати однакову якість.

Проблема оптимальності в цьому випадку має декілька аспектів.

По-перше, необхідно перейти від проблемної ситуації до множини постановок задач ПР так, щоб вони адекватно відображали власне проблемну ситуацію, тому що у разі неадекватності ми розв'язуватимемо задачу ПР, яка не відповідає реальній ситуації, – а в такому випадку будь-яке рішення буде неоптимальним. На практиці з цією метою широко використовується “правило 80:20”, згідно з яким 20 % діючих факторів на 80 % визначають поведінку системи, і такої точності відображення зазвичай вистачає [1].

По-друге, потрібно розв'язати задачу синтезу відображення $F^Q: P \rightarrow Q$, яка полягає у побудові множини критеріїв, що з достатньою повнотою відобразатимуть систему переваг децидента. Складність цього завдання зумовлена неформальністю системи переваг P , що є поєднанням інформації про набутий досвід, інтуїції, певних формалізмів, і в цьому випадку наявна слабка структурованість.

По-третє, побудова вирішуючого правила ускладнюється тим, що в багатьох задачах критерії не тільки мають різну розмірність, а й якісно різні – виміряні в різних шкалах (серед яких можуть бути як числові, що вимірюються в шкалі інтервалів чи відношень, так і якісні, найвідповіднішою для яких є рангова шкала). Вирішуюче правило R є апроксимацією системи переваг децидента, що дає змогу в багатьох випадках за певних спрощувальних припущень побудувати або описати механізм вибору, за допомогою якого й здійснюється вибір з множини A .

Формальні моделі задач ПР є частковими випадками загальної моделі, форма представлення яких залежить від ступеня охоплення окремих етапів процесу ПР. За умови визначення структурних складових задача ПР Z_S є трійкою

$$Z_S = \langle A, Q, L \rangle. \quad (3)$$

У такій формі вважається, що вирішуюче правило L визначає поняття кращої альтернативи з використанням множини критеріїв, $L: A \rightarrow R$, $R \subseteq A$, де R – підмножина альтернатив, вибраних з первісної множини A згідно з вирішальним правилом L , тобто ця модель є по суті моделлю задачі вибору.

Задачі прийняття рішень і проблема оптимальності

У теорії прийняття рішень та й у дослідженні операцій сформульовано багато відповідних задач, які враховують дію тих чи інших наявних факторів і які ми поділяємо за такими основними класифікаційними ознаками: рівень структурованості, діючі фактори, кількість децидентів, структура мети, необхідна вхідна інформація (рис. 3) [6].

За рівнем структурованості найуживанішими є структуровані задачі ПР, які дозволяють зазвичай побудувати формальну постановку задачі прийняття рішень, що належить до відомого класу задач, для яких існують алгоритми їх розв'язання. Слабкоструктуровані задачі ПР є міждисциплінарними – для їх розв'язання застосовується як теорія прийняття рішень, так й інші дисципліни, як-от системний аналіз, психологія.

З погляду оптимальності структуровані задачі є зазвичай одно- чи багатокритерійними, а слабкоструктуровані потребують або “доструктурування” – щоб мати змогу перевести їх до структурованих, або ж розв'язуються методами системного аналізу.

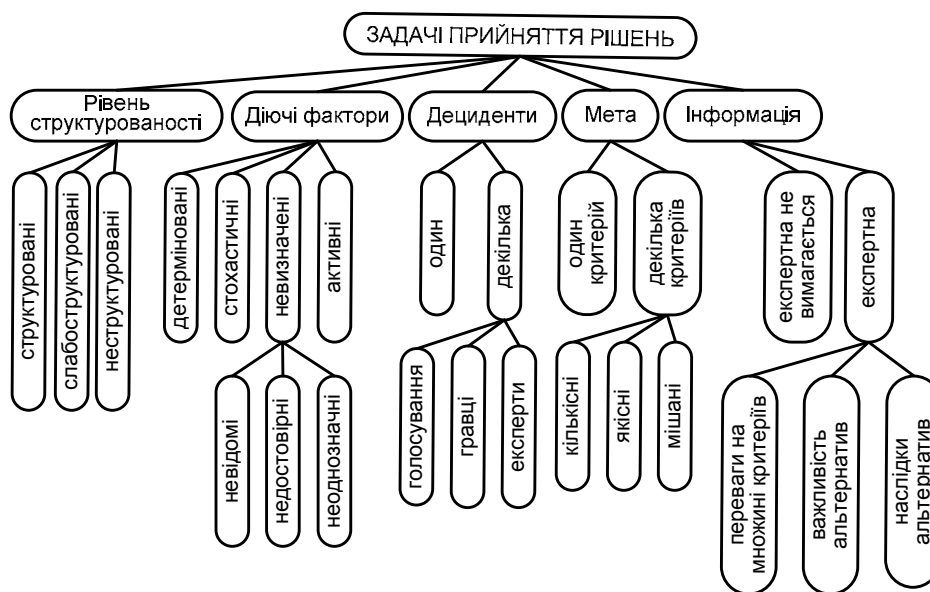


Рис. 3. Класифікація задач ПР

За діючими факторами зовнішнього середовища розрізняємо *детерміновані, стохастичні задачі ПР та задачі з невизначеністю і активною протидією*.

У *детермінованих* задачах значення всіх параметрів фіксовані й відомі дециденту, а також чітко окреслені межі зміни значень керованих змінних. Хоча на практиці така ситуація складається рідко, детерміновані задачі використовуються як спрощення реальних задач ПР, коли, наприклад, найімовірніше значення фактора розглядається як визначене постійне.

Стохастичні задачі передбачають описання розподілення ймовірностей за різними числовими значеннями факторів, тобто в цих задачах невизначеність вважається такою, що описується законами теорії ймовірностей. Окрім того, якщо структура задачі більш-менш складна, то аналітичний розв'язок отримати неможливо, і доводиться застосовувати методи імітаційного моделювання. Ці задачі ближчі до реальних умов, але побудова й одержання рішень потребують істотно більших затрат інформаційного, математичного, технічного і кваліфікаційного забезпечення.

З погляду *оптимальності* у детермінованих задачах якість кожного з множини можливих розв'язків відображається у вигляді вектора критеріїв (у найкращому для вибору варіанті – одним критерієм) з чіткими числовими значеннями. У стохастичних задачах критерії – це випадкові величини із заданими законами розподілу та значеннями їх параметрів.

У *задачах з невизначеністю* (за видами – невідомість, недостовірність, неоднозначність) статистичні дані не існують, відсутні або ж невідомі дециденту, і необхідну інформацію доводиться отримувати додатково – найпоширенішим є шлях опитування експертів (значення суб'єктивних вірогідностей, значення параметрів лінгвістичних змінних тощо), або ж якщо з тих чи інших причин неможливо використовувати методи прийняття рішень в умовах невизначеності [2, 3].

Відповідно й значення критеріїв оптимальності того чи іншого розв'язку подають у вигляді нечітких, інтервальних змінних або ж оцінюють експерти.

У *задачах з активними діючими факторами* невизначеність розглядається не як байдужа до наших прагнень “природа”, а як активний гравець чи множина гравців, що можуть як протидіяти, так і в певних ситуаціях сприяти дециденту. В таких задачах поняття *оптимального розв'язку* трансформується – замість нього використовується поняття рівноваги в грі, і залежно від ступеня антагонізму використовується принцип або гарантованого результату – у випадку повного антагонізму, або його послаблень – у разі суперництва–взаємодії [4]. Якщо ж гравці є складовими однієї системи, то головним буде досягнення максимального ефекту функціонування системи загалом [7].

За кількістю децидентів розрізняються *задачі з одним та декількома децидентами*. Якщо децидент один, то з певними спрощеннями в результаті формалізації отримаємо одно- чи багатокритерійну задачу оптимізації з обмеженнями. Якщо ж децидентів декілька, і рішення кожного – це вибір альтернатив з тієї самої множини (чи найліпшої, чи з ранжуванням) – то виникають задачі голосування [6, 16]. Якщо ж дециденти діють в активному середовищі – то виникають ігрові задачі (кооперація і формування коаліцій, вибір оптимальних стратегій), і систематичні методи розв'язання існують лише для найпростіших задач, для складніших доводиться, щоб отримати розв'язки, будувати імітаційні моделі та експериментувати на них [4, 16]. Якщо ж виникають задачі експертного оцінювання, то розв'язок отримують, опрацьовуючи результати опитування експертів.

Проблема оптимальності у випадку одного децидента зводиться до оцінювання варіантів рішень за одним чи багатьма критеріями, для задач голосування рішення є розрахунковим і суттєво залежить від процедури голосування, тобто процедура голосування за умови наявності результатів голосування дає змогу зробити однозначний вибір, ігрова ситуація рівносильна наявності активних діючих факторів. У разі експертного оцінювання вибір одного з декількох рішень залежить від типу інформації, що отримується від експертів (вид шкали, в якій надається інформація, переваги на множині критеріїв, важливість варіантів рішень, наслідки альтернатив).

За способом представлення мети розрізняємо *однокритерійні та багатокритерійні* задачі ПР. Серед багатокритерійних є задачі з багатьма критеріями однієї розмірності, різних розмір-

ностей, виміряні як в шкалі одного типу, так і в різних шкалах, та багатокритерійні задачі з ієрархією критеріїв. Однокритерійні задачі виникають у випадках, коли справді існує лише один *об'єктивний критерій оптимальності*, або ж коли він настільки переважає інші, що ними можна знехтувати. До цього ж класу належать багатокритерійні задачі, для яких один критерій отриманий або згортанням всіх наявних критеріїв в один, або ж за допомогою обґрунтування існування та побудови відповідної функції корисності.

У багатокритерійних задачах оптимальний розв'язок за одним з критеріїв у загальному випадку не буде оптимальним за іншим. За умови відсутності додаткової інформації *повним оптимальним розв'язком багатокритерійних задач у загальному випадку є множина парето-оптимальних розв'язків*. Однак побудова повного розв'язку можлива лише для найпростіших класів багатокритерійних задач, та й це не потрібно – для реалізації вибирають так чи інакше один-єдиний розв'язок, інша річ, що цей розв'язок повинен бути одним з множини парето-оптимальних. Відсутність додаткової інформації, по суті, є відсутністю інформації про систему переваг децидента, і встановити цю інформацію можна як до моменту розв'язання, так і під час розв'язання задачі ПР [18].

У першому випадку це дає змогу звузити множину парето-оптимальних розв'язків за рахунок додаткових правил домінування, які використовуватимуться під час розв'язання задачі (крайній випадок – згортання критеріїв в один), в другому – децидент бере участь в процесі розв'язування – що веде до діалогових методів [4]. Звичайно, інформація, яка вимагається від децидента, повинна бути достатньо простою для відповіді й використовується для формування напряму пошуку оптимального розв'язку. Окрім того, змінюючи напрям пошуку в наступній ітерації діалогового методу, децидент отримує можливість оцінити саме той фрагмент області парето-оптимальних розв'язків, який його цікавить, і обґрунтовано вибрати остаточний варіант рішення.

Методи ПР та оптимальні рішення

Найрозвиненішою групою методів ПР є методи однокритерійної оптимізації за детермінованих умов зовнішнього середовища. І хоча така ситуація безпосередньо на практиці виникає не дуже часто, в багатьох випадках отримані рішення відповідають реальності, особливо у ситуаціях з незначним рівнем невизначеностей. У цій групі методів вважається, що мета безпосередньо з достатнім рівнем адекватності описується одним критерієм оптимальності.

У методах багатокритерійної оптимізації вважається, що мета з достатнім ступенем точності описується множиною критеріїв, які відображають різні, в багатьох випадках суперечливі її аспекти. Якщо виходити лише з цієї передумови, то оптимальним розв'язком багатокритерійної задачі буде множина парето-оптимальних розв'язків, з якої в будь-якому випадку потрібно вибрати розв'язок, найвідповідніший системі переваг децидента, який і буде оптимальним [21, 25].

Практично критерії оптимальності структурно пов'язані, оскільки відображають систему переваг децидента, тому такі зв'язки у певний спосіб відображаються в методах. Значна частина цих методів оснований на передумові, що існує функціональне відображення всіх критеріїв в один (методи згортання критеріїв), або ж – що з формального погляду еквівалентно – існує функція корисності, яка відображає властивості кожної з альтернатив стосовно мети у вигляді корисності [14, 15]. І якщо у разі згортання критеріїв спочатку необхідно вибрати вид функції згортання, а потім апроксимувати значення її параметрів, то у випадку функції корисності вона будується на основі опитування децидента, а потім апроксимується одним з наявних представлень, і надалі розв'язується задача однокритерійної оптимізації. Інша група методів використовує інформацію, отриману від децидента впродовж перебігу пошуку оптимального розв'язку – це група діалогових методів. У цьому випадку децидент на кожному кроці надає інформацію щодо можливого напряму руху в просторі критеріїв, або ж звуження інтервалу пошуку.

Методи розв'язання стохастичних задач ПР дають змогу отримати аналітичні розв'язки лише для найпростіших випадків [17]. Якщо ж структура проблеми складніша, для отримання розв'язків доводиться використовувати методи імітаційного моделювання. Методи “м'яких обчислень”

орієнтовані на отримання розв'язків за умови нечіткої інформації та потребують доволі значного обсягу первинної інформації від децидента для побудови функцій належностей та визначення їх параметрів [19, 20, 22–24].

Розглянуті вище методи ПР використовують інформацію про систему переваг децидента, подану у вигляді множини критеріїв якості, а наявні пов'язання між критеріями враховують, організуючи діалог з децидентом. Водночас існує велика група методів, які використовують інформацію про звичайні бінарні чи метризовані відношення на множині альтернатив, і в цьому випадку інформація про критерії оптимальності відсутня. Дотично інформація про переваги використана в процесі побудови матриць попарних порівнянь, впродовж якого необхідна участь децидента чи експерта. Надалі множина варіантів рішень покроково звужується, поки не залишиться один-єдиний варіант, який і вважатиметься оптимальним рішенням.

Метод розгалужень та границь

Одним з універсальних методів ПР є метод розгалужень та границь, що є, по суті, гнучкою схемою, в яку можуть бути вбудовані як складові алгоритми одно- чи багатокритерійної оптимізації, а також враховані структурні пов'язання між критеріями. В цьому методі використовується принцип декомпозиції – первісна задача ПР розділяється на підзадачі, які теж можуть зазнавати декомпозиції, у результаті утворюється дерево задач. Якщо таку процедуру продовжити до моменту досягнення рівня листя – а на цьому рівні будуть конкретні рішення, то отримаємо не що інше, як метод повного перебору, який є найменш ефективним [4].

Зменшення об'єму перебору в методі розгалужень та границь досягається відтинанням неперспективних з погляду оптимальності підмножин рішень, а цей механізм реалізується отриманням верхніх оцінок значень функції мети – границь (у випадку максимізації критерію якості) за допомогою розв'язування (нерідко простого обчислення) значно простіших оцінювальних (релаксованих) задач. Що ближче значення верхньої границі до дійсного оптимального значення критерію на підмножині розв'язків, то більше неперспективних рішень відтинатимуться, меншим буде об'єм перебору. Але, з іншого боку, це потребує ускладнення оцінювальних задач, і може виникнути така ситуація, коли метод працюватиме швидше з менш складними оцінювальними задачами, що дають менш точні значення границь. Тому в процесі розроблення конкретного алгоритму, що ґрунтується на методі розгалужень та границь, необхідно знайти оптимальний компроміс між точністю обчислення границь та складністю розв'язування релаксованих задач.

Метод розгалужень та границь є значно ширшим, ніж поняття методу розв'язування певної задачі, оскільки залишає свободу вибору в багатьох складових структурних елементах. До основних елементів методу розгалужень та границь належать: дерево розгалужень; послаблена (релаксована) задача; границя; активні вузли дерева розгалужень; критерії відтинання вузлів; стратегія розгалуження.

Дерево розгалужень. Процес розв'язування задачі за допомогою методу розгалужень та границь породжує дерево розгалужень $B = \langle D, E \rangle$, де D – множина вузлів дерева, що є підзадачами (корінь дерева P_0 відповідає первісній задачі), E – множина дуг дерева розгалужень, які пов'язують підзадачі сусідніх рівнів. Дерево розгалужень є динамічною структурою, в процесі розв'язування задачі деякі вузли відтинаються як неперспективні, замість них породжуються інші. Розгалуження є розділенням певної підзадачі на підзадачі наступного рівня, що пов'язані із задачею-предком дугами:

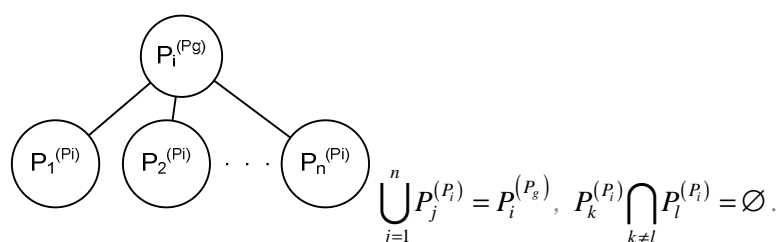


Рис. 4. Розгалуження як розбиття задачі на підзадачі

Послаблена (релаксована) задача. Підзадачу, яка розв'язується в кожному вузлі, отримують “зануренням” у ширший клас задач, для яких існують ефективні алгоритми їх розв'язування (наприклад зняття умови цілочисельності в задачі лінійного програмування породжує релаксовану задачу, для розв'язання якої можна застосувати симплекс-метод). Значення розв'язку цієї задачі буде верхньою границею, або “надоптимальним” розв'язком відповідної підзадачі. Цей розв'язок буде не гіршим, ніж оптимальний розв'язок первинної задачі, й може бути використаний для її оцінювання.

Границя. Границя є оптимальним значенням критерію якості для послабленої задачі. Границя вузла (підзадачі) $P_i - B(P_i)$ має такі властивості: $\forall(i \in D): B(P_i) \geq Q^*(P_i)$, де $B(P_i)$ – значення границі, $Q^*(P_i)$ – значення критерію якості для оптимального розв'язку задачі P_i ; $B(P_j) \leq B(P_i)$, якщо P_j – безпосередній нащадок P_i ; $B(P_i) = Q(P_i)$, якщо P_i – лист дерева розгалужень (лист відповідає побудові повного розв'язку первісної задачі P_0). Отже, границя є верхньою оцінкою оптимального розв'язку відповідної підзадачі (у разі максимізації), значення границі уточнюються, просуваючись вглиб дерева розв'язків, – для підзадачі (вузол-нащадок) значення границі не більше, ніж її значення для задачі, що зазнала декомпозиції (безпосередній вузол-предок); у разі досягнення повного розв'язку первісної задачі значення границі дорівнює значенню критерію якості для цього повного розв'язку.

Вузол дерева розгалужень. Вузли дерева розгалужень (підзадачі) належать до однієї з таких категорій: проміжні вузли, які вже розділені на підзадачі (тобто вузли, що мають безпосередніх нащадків); листя дерева, в яких досягнутий розв'язок первісної задачі; якщо шукається один оптимальний розв'язок первісної задачі, то в дереві є один лист, що відповідає поточному найкращому розв'язку, в іншому випадку кількість листя дерева може бути більшою; активні вузли дерева, над якими можна виконати декомпозицію (розділити на підзадачі).

Активний вузол дерева розгалужень Вузол P належить до множини активних A , якщо виконуються такі умови: P не визначає повного допустимого розв'язку первісної задачі P_0 ; на поточному етапі розв'язування задачі неможливо встановити справедливості умови $O(P) \cap O(P_0) = \emptyset$, де $O(P)$ – множина оптимальних розв'язків P , $O(P_0)$ – відповідно P_0 , тобто не встановлено, чи належить підзадача P до таких, в яких гарантовано немає оптимального розв'язку; вузол P не розділено на підзадачі.

Критерії відтинання вузлів. Що більше вузлів дерева розгалужень буде відкинуто на верхніх рівнях, то ефективніше працюватиме метод і меншим буде об'єм перебору. Загальною умовою відтинання є $O(P) \cap O(P_0) = \emptyset$, тобто якщо доведено, що оптимальний розв'язок поточної підзадачі не є оптимальним розв'язком первісної задачі, то ця підзадача не розв'язується, і відповідний вузол дерева розгалужень відтинається.

Ця умова завжди виконується, якщо виконується хоча б одна з таких умов: перетин множини допустимих розв'язків для первісної задачі $X(P_0)$ та підзадачі $X(P)$ – порожня множина: $X(P_0) \cap X(P) = \emptyset$ (це свідчить за те, що в підзадачі P немає ні одного допустимого розв'язку первісної задачі P_0); виконується умова відтинання вузла $B(P) \leq Q^*$, де Q^* – значення критерію для найкращого поточного (повного) розв'язку задачі (в цьому випадку серед допустимих розв'язків підзадачі P гарантовано не знайдеться кращого, ніж вже знайдений поточний найкращий розв'язок); існує вузол $P_k \in D$, що не є предком P , який домінує над ним, – тобто встановлено, що $Q^*(P_k) \geq Q^*(P)$, де $Q^*(P_k)$ – оптимальний розв'язок задачі P_k , а $Q^*(P)$ – відповідно P (для встановлення цього факту зовсім не обов'язково знати відповідні значення критеріїв); окрім того, відтинається вузол, який піддавався декомпозиції і у якого відтіяні всі безпосередні нащадки; якщо для деякого вузла встановлено, що $B(P_i) = Q(P_i)$, то P_i далі не розділяється, тому що знайдений один з повних розв'язків задачі. Коли ж $Q^*(P_i) \geq Q^*$, то найкращим поточним розв'язком стає знайдений, $Q^* = Q^*(P_i)$, а вузол, що відповідав попередньому поточному найкращому розв'язку, відтинається.

Стратегія розгалуження. Стратегія розгалуження визначає спосіб побудови динамічного дерева розгалужень та вибору наступного вузла з множини активних для декомпозиції. Структуру стратегії розгалуження подамо у вигляді двох відображень: $G: A \Rightarrow C$, $C \subseteq A$, та $h: C \Rightarrow R^1$, де R^1 – множина числових значень. За допомогою відображення G виділяється множина вузлів – кандидатів для декомпозиції з-поміж активних вузлів, а за допомогою h – вибір одного з них за допомогою кількісного критерію $P^*_i = \arg \max_{P_i \in C} h(P_i)$. Розглянемо такі стратегії розгалуження: за найкращим значенням границі; вглиб дерева розгалужень; розгалуження пагонами.

У стратегії розгалуження за *найкращим значенням границі* на кожному кроці серед активних вибирається вузол з найбільшим (задача на пошук максимуму) значенням границі,

$$C \equiv A, P^*_i = \arg \max_{P_i \in C} B(P_i). \quad (4)$$

У прикладі біля вузлів проставлені значення границь. Номери вузлів відображають порядок породження нащадків згідно зі стратегією розгалуження за найкращим значенням границі. В багатьох випадках ця стратегія приводить до найкращого розв'язку за найкоротший час, але внаслідок тенденції до росту дерева вшир необхідні значні ресурси оперативної пам'яті для ефективної роботи відповідних алгоритмів. Крім того, необхідний доволі значний час для знаходження першого поточного найкращого розв'язку, тому в системах реального часу застосовувати її не варто.

У стратегії розгалуження *вглиб дерева розгалужень* на кожному кроці визначаються вузли, які розміщені найдалі від кореня (віддаль від кореня дерева вимірюється як кількість ребер, що зв'язують вузол з коренем), і серед них вибирається вузол з найбільшим значенням границі,

$$C = \{P_i \in A \mid d(P_i) = \max\{d(P_j) \mid P_j \in A\}\}, P^*_i = \arg \max_{P_i \in C} B(P_i). \quad (5)$$

Після того, як досягнутий розв'язок, відбувається повернення на рівень догори, і процедура повторюється. Ця стратегія дає змогу за найкоротший час отримати найкращий поточний розв'язок, але витрачає багато часу на його покращення внаслідок пошуку на сусідніх рівнях та гілках дерева розгалужень.

Стратегія *розгалуження пагонами* є комбінацією двох найпоширеніших стратегій – розгалуження за найкращим значенням границі та вглиб дерева. Ця стратегія спрямована на синтез позитивних особливостей вищенаведених стратегій – по-перше, якомога швидше досягти повного розв'язку первісної задачі, і, по-друге, витратити на пошук наступного поточного оптимального розв'язку, що достатньо віддалений від поточного, якомога менше часу. Згідно з цією стратегією декомпозиція підзадач відбувається за стратегією вглиб дерева розгалужень до моменту, поки не буде досягнутий повний розв'язок. Після цього вибір наступного вузла для розгалуження відбувається згідно зі стратегією розгалуження за найкращим значенням границі, і знову застосовується стратегія розгалуження вглиб дерева.

Зауважимо, що переваги чи недоліки тієї чи іншої стратегії не є абсолютними і значною мірою залежать від особливостей конкретних типів задач [11].

Відображення мети в ПР та оптимальність

Мета слугує основою для формування поняття оптимальності рішення та його конкретизації. На початкових етапах мета формується природною мовою у вигляді одного-двох речень. Надалі необхідно мету конкретизувати до рівня критеріїв, щоб можна було сформулювати задачу ПР та вибрати метод її розв'язання. Оскільки мета є системною категорією, то вона конкретизується здебільшого за допомогою методу дерева цілей із застосуванням принципу декомпозиції. Є й інші різновиди методу дерева цілей – як, наприклад, метод цілей, функцій та задач, в якому разом з конкретизацією цілей конкретизуються також на відповідних рівнях функції та задачі.

У результаті отримують структуру у вигляді мультидерева з рівнями: мета, аспекти мети (цілі), підаспекти-підцілі (будується необхідна кількість цих рівнів), і останній рівень – критерії. Якщо критерії мають кількісний вигляд, ставиться і розв'язується відповідна задача ПР. Якщо ж

критерії виміряні в різних шкалах (наприклад, у ранговій, інтервалів, відношень) – то виникають складнощі, і доводиться або нехтувати деякими критеріями, що спотворює задачу, або ж зводити їх до однієї шкали – а оскільки здійснити однозначно таке перетворення можна в напрямку від конкретної до загальнішої шкали (інтервалів > відношень > рангів), то губиться важлива інформація.

Ця проблема вирішується сумісним застосуванням методу аналітичної ієрархії МАІ (АНР – Analytical Hierarchie Process), який запропонував Томас Сааті [12, 13], сумісно з методом дерева цілей. У цьому випадку листям дерева цілей виявляються можливі альтернативні варіанти рішень, і в результаті опитування експертів для кожної вершини дерева цілей будуються локальні матриці попарних порівнянь і, рухаючись від альтернатив до мети, послідовно визначають пріоритети альтернатив відносно кожної вершини дерева цілей, і врешті-решт – стосовно мети. Такий підхід використали автори під час розв'язання деяких задач ПР – формування портфелю ІТ-проектів, інвестування в галузі ІТ (інформаційних технологій), розподілу ресурсів [7–9].

Зрозуміло, що в кожній окремій ситуації ПР множина критеріїв оптимальності може змінюватися і змінюється, тобто використовуються деякі з множини критеріїв, яка породжена деревом цілей. У цьому випадку можливе використання двоетапної процедури МАІ – на першому етапі за допомогою МАІ визначають пріоритети критеріїв, критерії з пріоритетом, меншим за порогове значення, відкидаються, і на другому етапі МАІ використовується на модифікованому у такий спосіб дереві цілей для визначення пріоритетів альтернативних варіантів рішень [10].

Висновки та перспективи подальших наукових розвідок

1. Проблема оптимальності в загальній структурі процесу прийняття рішення пов'язана з метою, яку ставить децидент. Мета, сформульована природною мовою, повинна відображати те, чого прагне досягнути децидент. Структуризація мети виконується на основі її якісного формулювання та дає змогу отримати множину критеріїв, за якими оцінюється ступінь досягнення різних її аспектів (цілей). Від результатів цього кроку істотно залежить, які рішення вважатимуться оптимальними, і наскільки це узгоджуватиметься із системою переваг децидента. Наявність залишкової ентропії навколишнього середовища зумовлює вибір рішення, яке забезпечує задоволення потреб та вимог децидента за достатнього рівня їх якості.

2. Перехід від проблемної ситуації до множини постановок задач ПР повинен здійснюватися так, щоб вони адекватно відображали проблемну ситуацію. Множина критеріїв оптимальності повинна з достатньою повнотою відображати систему переваг децидента, а вирішуюче правило – апроксимувати її.

3. Запропонована формальна модель загальної задачі прийняття рішень, яка враховує аспект мети, з відображенням її у множину критеріїв та синтезом вирішуючого правила. Такий підхід дає змогу з необхідним ступенем адекватності врахувати систему переваг децидента у процесі знаходження оптимального розв'язку задачі ПР.

4. У процесі відображення мети ПР доцільно використовувати метод дерева цілей сумісно з методом аналітичної ієрархії. З урахуванням цього автори розробили двоетапну процедуру ПР, яка реалізована для розв'язання певних задач – формування портфелю ІТ-проектів, розподілу ресурсів, інвестування в галузі ІТ.

1. Акофф Р. *Искусство решения проблем* / Акофф Р. – М.: Мир, 1982. – 110 с. 2. Беллман Р. *Принятие решений в расплывчатых условиях* / Беллман Р., Заде Л. // В сб.: *Вопросы анализа и процедуры принятия решений*. – М.: Мир, 1976. – С. 172–215. 3. Заде Л. *Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений* / Заде Л. – М.: Мир, 1976. – 165 с. 4. Катренко А. В. *Дослідження операцій* / Катренко А. В. – Львів: Магнолія-2006, 2014. – 352 с. 5. Катренко А. В. *Системний аналіз* / Катренко А. В. – Львів: Новий світ-2000, 2011. – 396 с. 6. Катренко А. В. *Прийняття рішень: теорія та практика* / Катренко А. В., Пасічник В. В. – Львів: Новий світ – 2000, 2013. – 446 с. 7. Катренко А. В. *Координація у системах підтримання прийняття рішень з розподілу обмежених ресурсів* / А. В. Катренко, Ю. О. Верес // *Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”*. – 2009. – № 653. 8. Катренко А. В. *Системні аспекти інвестування в*

галузі інформаційних технологій / А. В. Катренко, О. В. Пастернак // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2014. – № 805. – С. 402–411. 9. Катренко А. В. Математичні моделі інвестування в галузі інформаційних технологій / А. В. Катренко, О. В. Пастернак // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2015. – № 814. – С. 467–475. 10. Катренко А. В. Формування портфеля проектів за допомогою двоетапної процедури / А. В. Катренко, Д. С. Магац, А. С. Магац // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2013. – № 770 – С. 169–176. 11. Катренко А. В. Моделі та методи формування портфелів IT-проектів / А. В. Катренко, Д. С. Магац // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2011. – № 699. 12. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Саати Т. – М.: Радио и связь, 1993. 13. Саати Т. Аналитическое планирование. Организация систем / Саати Т. Кернс К. – М.: Радио и связь, 1991. 14. Кини Р. Л. Принятие решений при многих критериях: Предпочтения и замещения / Кини Р. Л., Райфа Х. – М.: Радио и связь, 1981 – 560 с. 15. Ларичев О. И. Теория и методы принятия решений / Ларичев О. И. – М.: Логос, 2002. – 392 с. 16. Мулен Э. Кооперативное принятие решений: аксиомы и модели / Мулен Э. – М.: Мир, 1991. – 464 с. 17. Райфа Г. Анализ решений / Райфа Г. – М.: Наука, 1977. – 408 с. 18. Штойер Р. Многокритериальная оптимизация. Теория, вычисления и приложения / Штойер Р. – М.: Радио и связь, 1992. – 504 с. 19. Bellman R. E. On the analytical formalism of theory of fuzzy set s/ Bellman R. E., Gierts M. – Inform. Sci., 1973, Vol. 5, № 2. – P. 149–156. 20. Capocelli R. Fuzzy sets and decision theory / Capocelli R., De Luca A. // Information and Control, 1973, Vol. 23. – P. 446–473. 21. Davison M. L. Multidimensional scaling / Davison M. L. – John Wiley & Sons, New York, 1983. 22. Dubois D. Fuzzy sets and systems: Theory and applications / Dubois D., Prade H. – New York: Acad. Press, 1980. 23. Kickert W. Y. M. Fuzzy theories on decision-making / Kickert W. Y. M. – Martinus Nijhoff Social Sciences Division, Netherlands, 1978. 24. Kitainik L. Fuzzy Decision Procedures with Binary Relations. Towards a Unified Theory / Kitainik L. – Kluwer, Boston, 1993. 25. Roy B. Problems and methods with multiple objective functions / Roy B. – Math Programming. Nord-Holland Publish. Company. Amsterdam. – 1972. – Vol. 1, № 2. – P. 239–266.