

Національний університет «Львівська політехніка»

**Голощук Роман Олегович**

УДК 004.9+004.588

**МАТЕМАТИЧНЕ ТА ПРОГРАМНЕ  
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМ ДИСТАНЦІЙНОГО  
МЕРЕЖЕВОЦЕНТРИЧНОГО НАВЧАННЯ**

Спеціальність 01.05. 03 – математичне та програмне забезпечення  
обчислювальних машин і систем

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Львів – 2008

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Національному університеті «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник доктор технічних наук, професор  
**Пасічник Володимир Володимирович**,  
Національний університет «Львівська політехніка»,  
директор Інституту комп'ютерних наук та  
інформаційних технологій

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Медиковський Микола Олександрович**,  
Національний університет «Львівська політехніка»,  
професор кафедри автоматизованих систем  
управління

кандидат фізико-математичних наук, доцент  
**Григорович Віктор Геннадійович**,  
Дрогобицький державний педагогічний університет  
імені Івана Франка,  
завідувач кафедри інформаційних систем і  
технологій

Захист відбудеться «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2008 р. о 16 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.05 у Національному університеті «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 12)

З дисертацією можна ознайомитися у науково-технічній бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. Професорська, 1)

Автореферат розісланий «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2008 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради,  
доктор технічних наук, професор

Р. А. Бунь

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність роботи.** Розвиток дистанційного навчання, як нової форми освіти, спричинює необхідність розроблення математичного та програмного забезпечення Інтернет-орієнтованих освітніх проєктів. Доступ до розподілених джерел навчальної інформації з використанням новітніх мережевоцентричних технологій стає одним із визначальних факторів в освітній галузі. Це й викликає необхідність поглибленого дослідження і вдосконалення математичного та програмного забезпечення процесів дистанційного навчання (ДН).

Нині розроблено широкий спектр педагогічних, програмних та технічних рішень для створення систем дистанційного навчання. Проте подальший розвиток дистанційних технологій навчання вимагає побудови формально-математичної основи та розроблення програмного забезпечення об'єктів і процесів дистанційного мережевоцентричного навчання. Це дає змогу формувати методики проєктування, функціонування та вдосконалення систем дистанційного мережевоцентричного навчання (СДМН), розробляти автоматизовані системи опрацювання даних та знань, ефективно керувати навчальним процесом.

За останнє десятиліття відбулись значні зрушення у розробленні математичного та програмного забезпечення СДМН — моделей, методів та алгоритмів реалізації базових завдань, процесів та технологій ДН. Значний внесок у наукові дослідження у цій області зробили: Андреев А.А., Кухаренко В.М., Шуневич Б.І. (дослідження проблем проєктування та організації дистанційного навчального процесу); Башмаков А.І. (методологія розроблення комп'ютерних підручників та навчальних систем); Довгялло О.М., Полат Е.С. (використання комп'ютерних телекомунікацій в освіті); Коджа Т.І., Федорук П.І. (моделі та алгоритми тестування знань); Атанов Г.А. (застосування методів штучного інтелекту в дистанційному навчанні); Brusilovsky P., Horton K., Horton W. (інструментальні засоби та програмне забезпечення для проєктування і побудови систем електронного навчання) та ін. Однак ці дослідження мають дещо однобічний, в значній мірі гуманітарний акцент, причому вони зосереджуються в основному на дидактичних особливостях ДН. Також не завжди враховуються можливості сучасних інформаційно-комунікаційних технологій, зокрема мережевоцентричних технологій, які базуються на сервісах Web 2.0. Як наслідок, відсутні усталені методи і засоби математичного та програмного забезпечення для розроблення й функціонування ефективних СДМН. Недосконалість математичних та інформаційних моделей СДМН унеможливує розроблення методів та алгоритмів керування навчальним процесом. У контексті цього, актуальною науковою задачею є аналіз та розроблення математичного і програмного забезпечення процесів дистанційного навчання на основі мережевоцентричних інформаційних технологій.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Основу дисертаційної роботи складають результати теоретичних та практичних досліджень, виконаних автором в рамках планових робіт кафедри інформаційних

систем та мереж Національного університету «Львівська політехніка». Зокрема, розроблення інтелектуальної системи дистанційного контролю знань для «Галицького турніру юних інформатиків» (2002–2006 рр.), проектування програмних компонентів для реалізації дистанційного мережевоцентричного навчання в освітньому проекті «Недільна комп'ютерна школа» (2000–2007 рр.). Дисертант реалізував проект «Утворення та організація діяльності дитячого дистанційного навчально-консультаційного центру у Львівській області» в рамках гранту Президента України для обдарованої молоді (Розпорядження від 14.12.05 р. № 1276/2005-рп). Дисертаційна робота виконувалася в рамках пріоритетного наукового напрямку Міністерства освіти і науки України «Нові комп'ютерні засоби та технології інформатизації суспільства» за темами: ДБ/Ізоморф «Розробка методів і засобів побудови інтелектуальних інформаційних систем на основі часових реляційних баз даних» (номер державного реєстру 0104U002299) та ДБ/Дактиль «Математичне моделювання та програмна реалізація системи перекладу з жестової мови» (номер державного реєстру 0107U001116). Автор здійснив проектування узагальненої архітектури СДМН, а також виконав аналіз методів подання елементів навчального матеріалу електронного підручника.

**Мета і завдання дослідження.** Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності дистанційної освіти шляхом розроблення математичного та програмного забезпечення систем дистанційного навчання, які реалізовані на основі мережевоцентричних технологій, що забезпечує віддалений доступ до розподіленої навчальної інформації та дидактичних засобів.

Мета дисертаційної роботи визначила необхідність вирішення таких задач:

- системний аналіз об'єктів і процесів ДН та визначення пріоритетних задач, що виникають в процесі розроблення та функціонування мережевих освітніх проектів;
- розроблення моделей об'єктів і процесів дистанційного мережевоцентричного навчання, що відображають їх особливості й характерні риси;
- розроблення методів і алгоритмів адаптивного керування дистанційним мережевоцентричним навчальним процесом з метою опрацювання даних та знань;
- розроблення структурної та функціональної архітектури СДМН, що відображає склад основних програмних та інформаційних компонентів системи, а також зв'язок між ними, користувачами та зовнішніми програмними системами;
- аналіз та перевірка основних результатів дисертаційних досліджень шляхом реалізації та впровадження програмно-алгоритмічних комплексів дистанційного мережевоцентричного навчання.

**Об'єктом дослідження** є процеси і системи дистанційного навчання.

**Предметом дослідження** є математичне та програмне забезпечення процесів дистанційного навчання, які реалізовані на основі мережевоцентричних технологій.

**Методи дослідження.** Для вирішення поставлених задач розроблення математичного забезпечення об'єктів і процесів ДН використано методи системного аналізу, теоретико-множинні підходи, елементи загальної теорії систем,

апарат теорії реляційних баз даних. Для проектування та структурування навчального матеріалу застосовано елементи теорії графів. Для побудови методів та алгоритмів подання навчального матеріалу й контролю знань — апарат багатозначної логіки, класичну теорію тесту, елементи педагогіки. Для реалізації програмного забезпечення комплексів СДМН використано апарат розподілених інформаційних систем класу «клієнт-сервер» і технології обміну інформацією у відкритих системах, а також методи структурного й об'єктно-орієнтованого проектування. Оцінювання ефективності та функціональності програмно-алгоритмічних комплексів здійснено шляхом апробації розроблених методів та засобів в навчальних закладах.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у обґрунтуванні та вирішенні наукової задачі підвищення ефективності систем дистанційного навчання, які реалізовані на основі мережевоцентричних технологій. При цьому отримано такі нові наукові результати:

- вперше здійснено формальний опис об'єктів та процесів дистанційного навчання на основі мережевоцентричних технологій, шляхом дослідження моделей, форм і методів організації ДН, що дало можливість розробити математичне та програмне забезпечення ефективних СДМН;
- набув подальшого розвитку метод формування навчального матеріалу як ієрархічної структури у вигляді ГАБО-графа, що стало теоретичною основою розроблення алгоритмів формування і структурування навчального матеріалу;
- розроблено модель дистантного слухача (ДС) шляхом додаткового уведення параметру засвоєння навчального матеріалу, що дало змогу розробити алгоритм побудови індивідуальної траєкторії навчання;
- розроблено модель тестових завдань, які реалізовано за допомогою багатовимірної моделі даних, що дало змогу задати виміри, які визначають розбиття множини тестових завдань на класи за тематикою, типами і складністю;
- удосконалено механізм адаптивного тестування, що враховує індивідуальні можливості ДС та підвищує точність оцінювання рівня його знань, шляхом використання питань різного рівня складності та зменшує тривалість тесту і кількість питань, необхідних для досягнення адекватності оцінювання рівня знань ДС;
- розроблено універсальну архітектуру СДМН на основі моделі ДС, шляхом застосування мережевоцентричної парадигми, що дало можливість адаптувати процес навчання до конкретного ДС та забезпечити функціонування СДМН у режимі віддаленого доступу.

**Практичне значення одержаних результатів.** Розроблене математичне та програмне забезпечення дало змогу підвищити ефективність навчального процесу в мережевоцентричному середовищі та збільшити об'єктивність комп'ютерного контролю знань. Зокрема, практично цінними є такі результати:

- розроблено алгоритми формування і структурування навчального матеріалу, враховуючи пріоритет структурних одиниць навчального матеріалу та

результати тестування дистантного слухача, що дало змогу індивідуалізувати навчальний процес;

- розроблено методи та алгоритми авторизації ДС, які, залежно від його потреб та повноважень, дозволяють користувачу отримати доступ до навчальних ресурсів;
- удосконалено алгоритм адаптивного тестування, що дало змогу об'єктивніше оцінювати знання ДС, шляхом використання питань різного рівня складності та врахування результатів його попередніх відповідей;
- реалізовано програмно-алгоритмічні СДМН, в яких втілено та апробовано результати дисертаційних досліджень, зокрема, для організації дистанційного процесу навчання та тестування знань з використанням мережевоцентричних технологій, що дає змогу підвищити ефективність навчання.

Основні результати дисертаційних досліджень використано для створення програмно-алгоритмічних комплексів СДМН у Львівському регіональному навчально-консультаційному центрі для дітей з особливими потребами (гімназія «Сихівська»); для дистанційного тестування знань учнів у низці освітніх проєктів: «Галицький турнір юних інформатиків», «Недільна комп'ютерна школа». Розроблені алгоритми подання навчального матеріалу з врахуванням рівнів ієрархії використані для реалізації електронного підручника «Основи теорії електронних кіл». Реалізовано електронну бібліотеку інформаційних матеріалів на базі сайту Наукового Товариства імені Шевченка.

На основі виконаних досліджень розроблено методичне та програмне забезпечення, яке використано у навчальному процесі при викладанні дисциплін «Основи інформаційних технологій», «Розподілені інформаційні системи» та «Комп'ютерні мережі» на кафедрі «Інформаційні системи та мережі» Національного університету «Львівська політехніка» та «Інформаційні еколого-економічні моделі Інтернету» на кафедрі «Інформаційні системи і технології» Інституту підприємництва та перспективних технологій.

**Особистий внесок здобувача.** Всі основні результати, що складають зміст дисертаційної роботи, отримані автором самостійно. У друкованих працях, опублікованих у співавторстві, автору належать: [1] – побудова моделі дистантного слухача; аналіз засобів розроблення ефективних навчальних інформаційних систем; [2] – розроблення математичних і структурних моделей об'єктів та процесів дистанційного навчання; [4] – аналіз системних принципів побудови і впровадження інтелектуальної інформаційної системи з компонентом дистанційного навчання; [5] – програмна та мережева реалізація розподіленої взаємодії клієнтських і серверних компонентів системи дистанційного навчання; [6] – розроблення алгоритму адаптивного тестування знань та структури компонента авторизації та контролю знань; [8] – аналіз проблеми подання та оптимізації тематики навчального сайту; [10] – класифікація та характеристика інформаційних засобів автоматизованого проєктування; [11] – аналіз стандартів розподілених об'єктів, опрацювання трансакцій проміжного прошарку для розроблення мережевоцентричних застосувань; [13] – розроблення структури, визначення цілей та функцій системи

аналізу активності дистантних слухачів; [16] – структура та функціональність системи дистанційного мережевоцентричного навчання як підсистеми інформаційно-аналітичної системи інституту; [17] – класифікація та особливості моделей тестування, алгоритм адаптивного тестування; [18] – призначення та структура недільної комп'ютерної школи; [19] – принципи побудови інтелектуальної інформаційної системи «Віртуальна кафедра» з компонентом дистанційного навчання; [20] – зміст ігрового підходу до вивчення основ інформатики; [21] – підсистеми та функції СДМН; [22] – розроблення структури дитячого дистанційного навчально-консультаційного центру.

**Апробація.** Основні результати дисертаційної роботи доповідалися на міжнародних та всеукраїнських наукових семінарах і конференціях, а саме: науково-практичних семінарах міжнародних комп'ютерних виставок «Комп'ютер і Офіс» та «Комп'ютер+Бізнес» (Львів, 1999–2005); П'ятій всеукраїнській науково-методичній конференції «Використання персональних ЕОМ у навчальному процесі вищих та середніх навчальних закладів» (Львів, 1998); Шостій всеукраїнській науковій конференції «Застосування обчислювальної техніки, математичного моделювання та математичних методів у наукових дослідженнях» (Львів, 1999); Четвертій та П'ятій міжнародних конференціях «Інтернет-Освіта-Наука» (Вінниця, 2004, 2006); четвертому засіданні щомісячного міського семінару «Теорія і практика дистанційного навчання в Україні» (Львів, 2005); засіданні комісії інформатики та кібернетики Наукового Товариства ім. Т. Шевченка (Львів, 2006); міжвузівській науково-технічній конференції науково-педагогічних працівників (Львів, 2006); Першій та Другій міжнародних науково-технічних конференціях «Комп'ютерні науки та інформаційні технології» «CSIT-2006, 2007» (Львів, 2006–2007).

**Публікації.** За результатами виконаних досліджень опубліковано 22 наукові праці, серед яких 14 статей у фахових наукових виданнях згідно з переліком, затвердженим ВАК України, з них 11 – задовольняють вимогу щодо кількості публікацій в одному виданні, 8 публікацій – у працях наукових конференцій.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел та додатку. Загальний обсяг дисертації складає 175 сторінок, з яких основного тексту – 148 сторінок. Робота містить 6 таблиць та 44 рисунки. Список літератури включає 158 найменувань.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** наведено загальну характеристику роботи, обґрунтовано її актуальність, сформульовано мету та основні завдання досліджень, визначено основні методи вирішення сформульованих завдань, зазначено наукову новизну роботи і практичну цінність отриманих результатів, а також викладено короткий зміст роботи.

У **першому розділі** сформульовано концептуальні засади та базові означення дистанційного навчання, освіти та СДМН, які ґрунтуються на низці

дидактичних, системних і технологічних властивостей, наведено огляд відомих підходів за тематикою дисертаційної роботи. З позиції системного підходу проаналізовано сучасні методи і засоби проектування, моделювання та реалізації ДН, обґрунтовано необхідність та доцільність створення СДМН, що базуються на властивостях мережевоцентричності.

Враховуючи запропоновану та обґрунтовану класифікацію методів організації процесу ДН та еволюційний шлях розвитку, виокремлено поняття СДМН.

СДМН – це розподілена інформаційна система, яка реалізує процеси ДН за допомогою педагогічних та інформаційних технологій, що базуються на властивостях мережевоцентричності.

Мережевоцентричні технології реалізують багаторівневі розподілені обчислення, які виконуються в мережевому гетерогенному середовищі (рис. 1) і як пристрої доступу до різноструктурованих програмних та навчальних інформаційних ресурсів використовуються, в основному, «тонкі клієнти», що дає змогу реалізувати кросплатформність щодо застосованих апаратних, мережевих та програмних засобів.

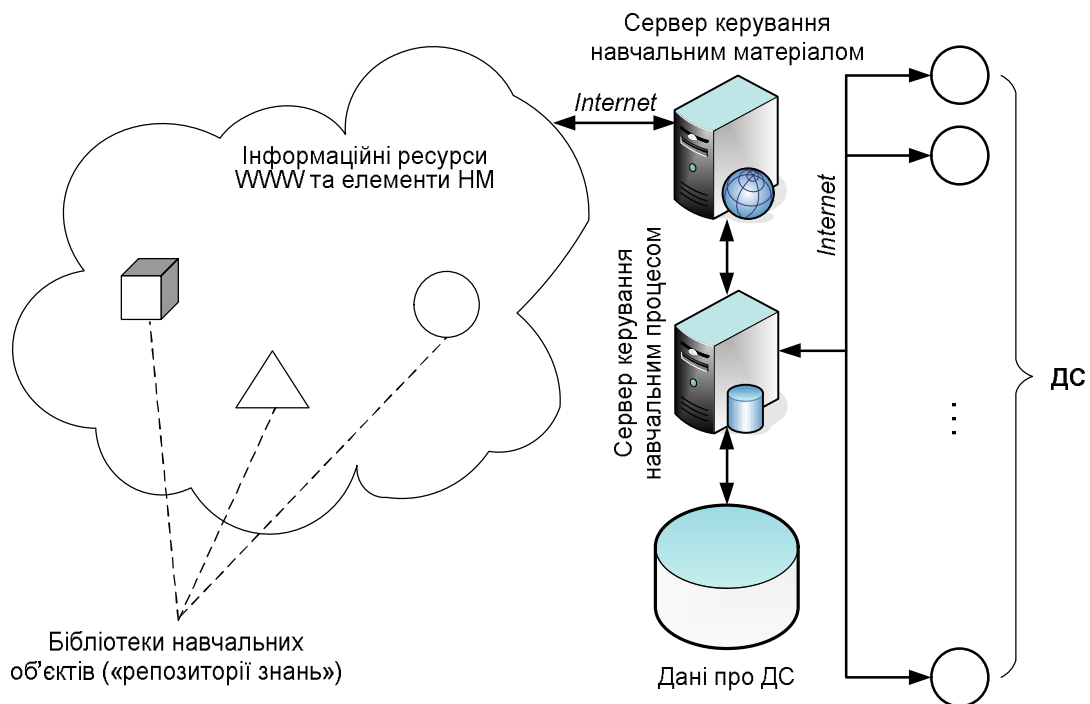


Рис. 1. Схема доступу ДС до розподілених інформаційних ресурсів

«Тонкі клієнти» (субноутбуки, кишенькові персональні комп'ютери, смартфони, мобільні телефони та ін.) здатні забезпечити подання програмних та інформаційних компонентів СДМН на мовах HTML, XML, де інтерфейсну частину забезпечує web-браузер, а також суттєво підвищують мобільність ДС.

Визначено цілі та задачі впровадження СДМН, сформульовано низку вимог до таких систем. Досліджено організаційні, інформаційні (змістовні), психологічні, методичні проблеми та проблеми технічного характеру, які



виникають у зв'язку з побудовою та моделюванням СДМН. Детально розглянуто особливості СДМН та основні методи їх формального моделювання.

Сформульовано характерні ознаки і моделі ДН, форми та методи організації мережевоцентричного навчального процесу (НП), системні та технологічні властивості СДМН і запропоновано основні інформаційні технології для побудови таких систем. Виконано огляд форм та методів організації навчального процесу, які орієнтовані на гуманістичний підхід до освіти та реалізуються в технологіях мережевоцентричного ДН.

Обґрунтовано необхідність уніфікації та стандартизації дистанційних мережевоцентричних технологій навчання. СДМН характеризуються високим рівнем адаптивності й інтерактивності з ДС. Це реалізується за допомогою перегляду концепції організації НП і побудови навчального матеріалу (НМ). Основою нової концепції стає об'єктний принцип побудови НМ. Відповідно до нього НМ розбивається на адресовані елементи – структурні одиниці (навчальні об'єкти). Як результат, відбувається перехід від великих негнучких курсів до багаторазово використовуваних автономних навчальних об'єктів, доступних для пошуку і включення в НМ, який формує індивідуальну траєкторію навчання для кожного ДС. Розроблення цих об'єктів може здійснюватися різними авторами, у різних СДМН і згодом вони доступні для використання з репозитарію.

На підставі аналізу результатів досліджень встановлено, що більшість наявних систем дистанційного навчання не опирається на формальні моделі НМ чи ДС. Якщо ж моделі й використовуються, то вони мають описовий характер і стосуються лише контролю знань. Отже, математичне забезпечення дистанційного НП є важливим для створення та ефективного функціонування СДМН.

**Другий розділ** містить результати дослідження математичного забезпечення об'єктів та процесів дистанційного мережевоцентричного навчання.

Проаналізовано наявні підходи до моделювання СДМН та побудовано власні моделі об'єктів і процесів ДН. Математичне забезпечення СДМН базується на таких розроблених моделях: навчального матеріалу, тестових завдань, еталонних відповідей викладача, та моделі дистантного слухача.

Для моделювання навчального матеріалу здійснено декомпозицію НМ за тематичною ознакою, а потім на утворену ієрархічну структуру накладається часовий розподіл. Проаналізовано різні моделі формування та структурування НМ: лінійну, розгалужену, павутиноподібну та із врахуванням ієрархічної структури НМ.

Розглянуто структуру подання НМ із врахуванням ієрархічних рівнів для СДМН, тобто систему відношень між його структурними одиницями. Між структурними одиницями (вершинами НМ) існують відношення трьох типів (рис. 2). Визначено п'ять рівнів ієрархії, в т.ч. кореневу вершину, яка позначена як «ДК» і означає загальну структурну одиницю, що відповідає НМ у цілому.

Основою структури НМ є ієрархічні структурні зв'язки (відношення 1-го типу).

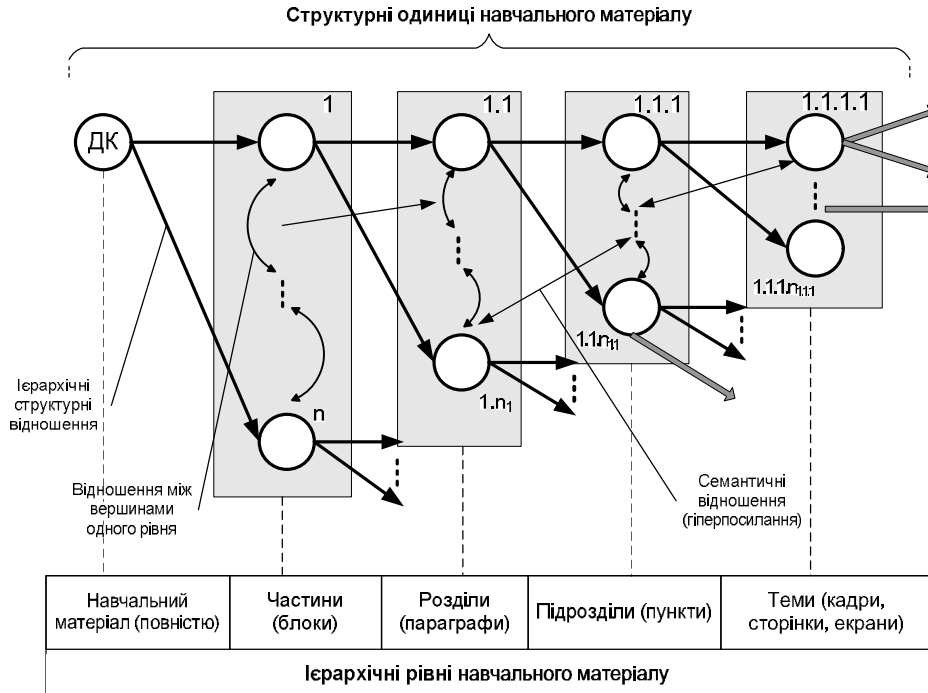


Рис. 2. Подання навчального матеріалу із врахуванням ієрархічної структури

Відношення 2-го типу (між вершинами одного рівня) описують послідовність подання ДС відповідних структурних одиниць (послідовності переходів або навігації по НМ). Відношення 3-го типу є семантичними (асоціативними) і реалізуються гіперпосиланнями.

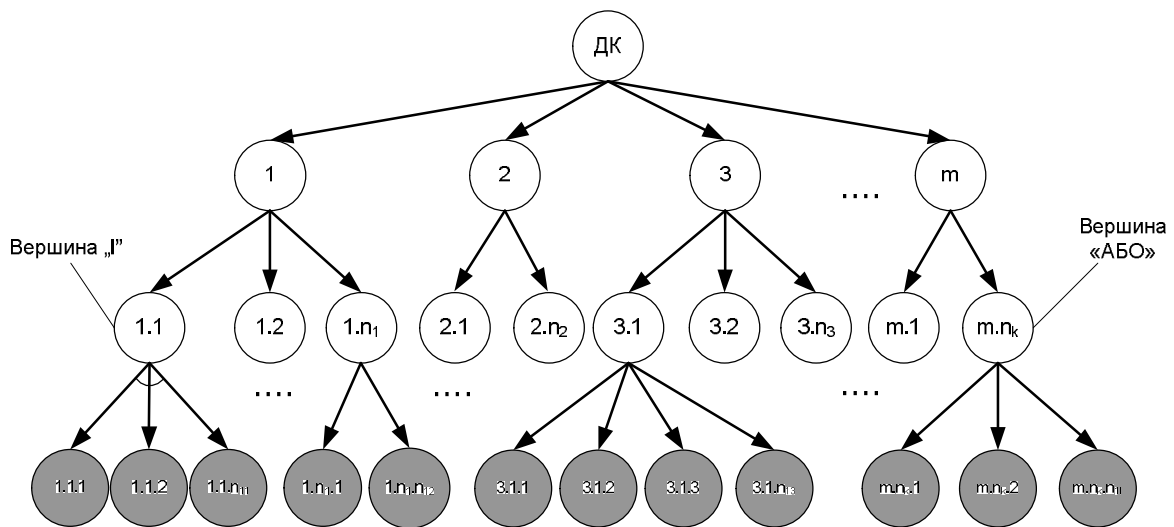


Рис. 3. ГАБО-граф навчального матеріалу

Навчальний матеріал на основі моделі із врахуванням ієрархічної структури формалізуємо ГАБО-графом (рис. 3). Вершинами графа є структурні одиниці НМ (розділи, параграфи тощо). Відношення між вершинами вказують на зв'язок між розділами НМ. Відношення є двох видів: "І" – поєднує вершини, які вивчаються обов'язково; "АБО" – поєднує вершини, вивчення яких пропонується на вибір ДС (може бути розглянута одна із з'єднаних вершин). Послідовність вершин, у які

потрапляють при обході графа, відповідає послідовності подання навчального матеріалу для вивчення ДС. Отже, навчальний матеріал подаємо ГАБО-графом, для якого розроблено ефективні алгоритми обходу.

Вершину  $T$  характеризують такі ознаки: множина ключових слів; лінгвістична змінна  $L$ , яка позначає пріоритет (важливість) вивчення певної структурної одиниці навчального матеріалу.

Отже, модель навчального матеріалу описується за допомогою графа ( $G$ ) та алгоритму обходу графа, як способу подання НМ  $R$ , який визначається як

$$M = (G, R). \quad (1)$$

У свою чергу граф НМ задається як

$$G = (T, E), \quad (2)$$

де  $T$  – множина структурних одиниць НМ,  $E$  – множина дуг (зв'язків) між пов'язаними структурними одиницями НМ.

*Налаштування навчального матеріалу* відповідно до знань ДС – це функція модифікації нечітких характеристик вершин графа  $G$  (2). Модифікація відбувається на основі зіставлення нечітких характеристик вершин графа, побудованого викладачем, та нечітких характеристик вершин, отриманих у результаті тестування ДС із врахуванням взаємозв'язків між вершинами:

$$G' = f(G, Rate), \quad (3)$$

де  $G$  – початковий граф НМ;  $Rate$  – множина оцінок ДС;  $G'$  – адаптований граф НМ.

У результаті тестування ДС отримуємо нечіткі характеристики (оцінки) рівня його знань певних структурних одиниць НМ (тем), причому рівень знань ДС є обернено пропорційним до значення пріоритету вершини. Модифікуємо значення пріоритету вершин-предків за такою формулою:

$$L_j = \max \{ L'_{j1}, L'_{j2}, \dots, L'_{ji_j} \}, \quad (4)$$

де  $L_j$  – значення пріоритету вершини-предка (розділу НМ),  $L'_{ji}$  – значення пріоритету нащадка (теми НМ) з відношеннями типу "АБО",  $i_j$  – кількість елементів НМ з відношенням типу "АБО". У свою чергу, деякі елементи НМ можуть бути пов'язані відношенням "І". Тоді пріоритет обчислюється за такою формулою:

$$L'_{ji} = \min \{ L_{j1}, L_{j2}, \dots, L_{ji_j} \}, \quad (5)$$

де  $L_{ji}$  – значення пріоритету нащадка (теми) з вершинами типу І,  $i_j$  – кількість елементів НМ з відношенням типу "І".

Зміна характеристики  $L$  призводить до зміни черговості подання структурних одиниць НМ. Тобто будується індивідуальна траєкторія подання НМ для ДС:

$$R' = g(G', Rate). \quad (6)$$

Отже, граф НМ (3) адаптується до знань ДС. Для подання нечітких характеристик вершин графа НМ та результатів тестового оцінювання знань ДС доцільно використати лінгвістичні змінні, оскільки вони дозволяють оперувати термінами, зрозумілими викладачу та ДС.

Розроблено *модель тестових завдань* у вигляді куба тестових завдань (ТЗ), використовуючи багатовимірне подання даних.

На множині ТЗ задаються три відношення еквівалентності, які визначають її розбиття на класи за тематикою, типами і складністю завдань (рис. 4).

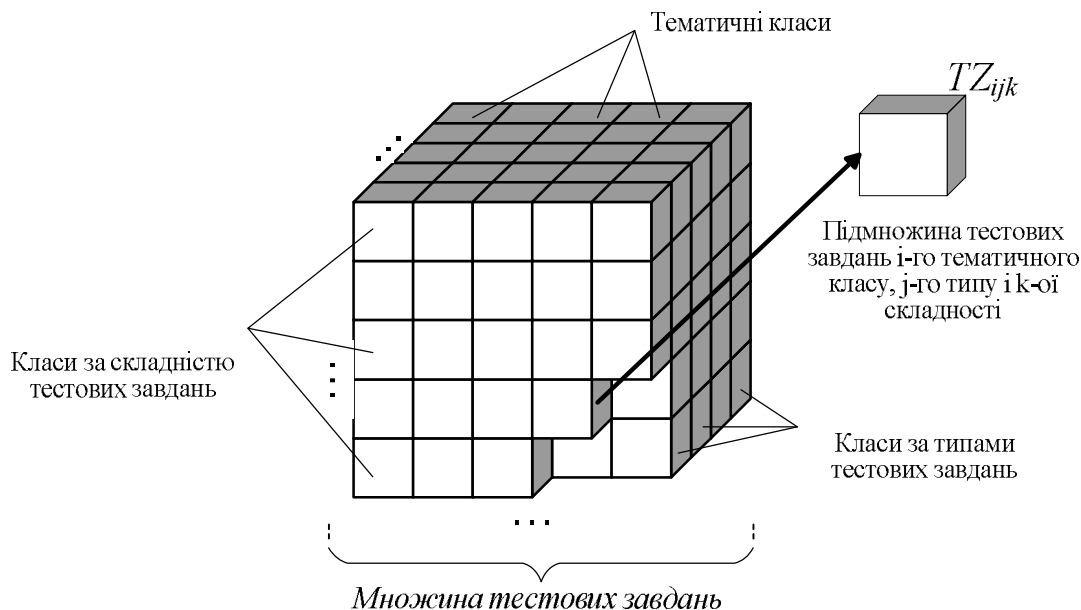


Рис. 4. Багатовимірне подання тестових завдань

Отже, модель ТЗ формально запишемо як

$$TZ = (Type, KL, SK), \quad (7)$$

де  $Type$  – тематичний клас ТЗ;  $KL$  – тип ТЗ;  $SK$  – складність ТЗ.

Розроблено модель еталонних відповідей викладача – відображення множини ТЗ у множину правильних відповідей:  $\gamma(TZ_{ijk}) \rightarrow RA$ , де  $RA$  – множина правильних відповідей;  $TZ_{ijk}$  – підмножина ТЗ. Модель еталонних відповідей викладача використовується у процесі оцінювання знань ДС, а також для його самонавчання.

Модель ДС – це дані про особу, які використовуються для організації НП. Це множина даних про слухача, які описують різні сторони його стану: рівень знань, рівень підготовки, особисті та професійні характеристики та інші параметри.

Наявність моделі ДС властива інтелектуальним СДМН. Для реалізації адаптивного навчання розроблено модель ДС, шляхом введення додаткового параметру засвоєння НМ ( $Rate$ ), який відображає його ступінь розуміння елементів НМ.

Модель ДС складається з таких елементів:

$$DS = (G', R', Rate), \quad (8)$$

де  $G'$  – адаптований граф навчального матеріалу,  $R'$  – алгоритм подання НМ,  $Rate$  – множина оцінок, отриманих під час тестування.

Розглянуто моделі і етапи оцінювання знань ДС та шкали визначення результатів тестування.

У **третьому розділі** розроблено та досліджено методи й алгоритми, які базуються на розроблених математичних моделях (1), (2), (7) та (8). Ці методи та

алгоритми використовуються при адаптивному керуванні процесами дистанційного мережевоцентричного навчання, а саме: для подання навчального матеріалу із врахуванням ієрархії та контролю знань ДС.

Мережевоцентричний дистанційний навчальний процес розглянуто як процес керування системою, в якій об'єктом керування є ДС. СМДН повинна адаптивно керувати процесом навчання, тобто забезпечувати автоматизацію таких функцій: авторизацію ДС; подання навчального матеріалу (побудова індивідуальної навчальної траєкторії ДС); проведення контролю знань ДС; ухвалення рішення про продовження або завершення навчання; визначення властивостей множини ТЗ, адекватної знанням ДС, для наступного кроку навчання.

Досліджено та розроблено алгоритми подання навчального матеріалу із врахуванням ієрархії: 1) за пріоритетом  $L$  структурних одиниць НМ; 2) за ключовими словами.

На рис. 5 відображено блок-схему алгоритму подання навчального матеріалу за пріоритетом  $L$  структурних одиниць НМ на трьох рівнях ієрархії (ДК-Розділ-Тема), що дало змогу в залежності від результатів тестування ДС ( $Rate$ ), модифікувати значення пріоритету та з врахуванням цього формувати послідовність вивчення НМ – тобто будувати індивідуальну траєкторію навчання.

Подано алгоритми ідентифікації ДС та авторизації доступу до розподілених мережевоцентричних ресурсів, які використовуються у СДМН. Проаналізовано засоби, моделі і методи контролю знань та обґрунтовано перспективність використання адаптивних методів за моделями ДС і навчального матеріалу у СДМН, оскільки вони є більш об'єктивними й ефективними. Класичний алгоритм адаптивного тестування є достатньо простим і дає змогу змінювати лише рівень складності питань, не враховуючи статистику відповідей на попередні питання. Удосконалимо цей алгоритм наступним чином – на кожному кроці тестування для ДС формується два питання певного рівня складності ( $SK$ ), і за результатами відповідей на них визначається рівень складності наступних питань. Ця кількість дає змогу об'єктивніше оцінювати рівень знань, у порівнянні з одним питанням, на яке ДС може відгадати або випадково забути відповідь, і в той же час не вимагає великої кількості поєднань варіантів відповідей, як у випадку трьох і більше питань.

У **четвертому розділі** подано розроблені програмно-алгоритмічні комплекси СДМН для організації дистанційного процесу навчання на базі мережевоцентричних технологій в дитячому дистанційному навчально-консультаційному центрі у Львівській області; для дистанційного тестування знань учасників олімпіад та турнірів юних інформатиків і електронного підручника «Основи теорії електронних кіл», при проектуванні та розробленні яких було використано теоретичні результати дисертаційних досліджень. У цих системах використано розроблені моделі і алгоритми подання НМ із врахуванням ієрархії та адаптивні методи контролю і оцінювання знань за моделями ДС та НМ.

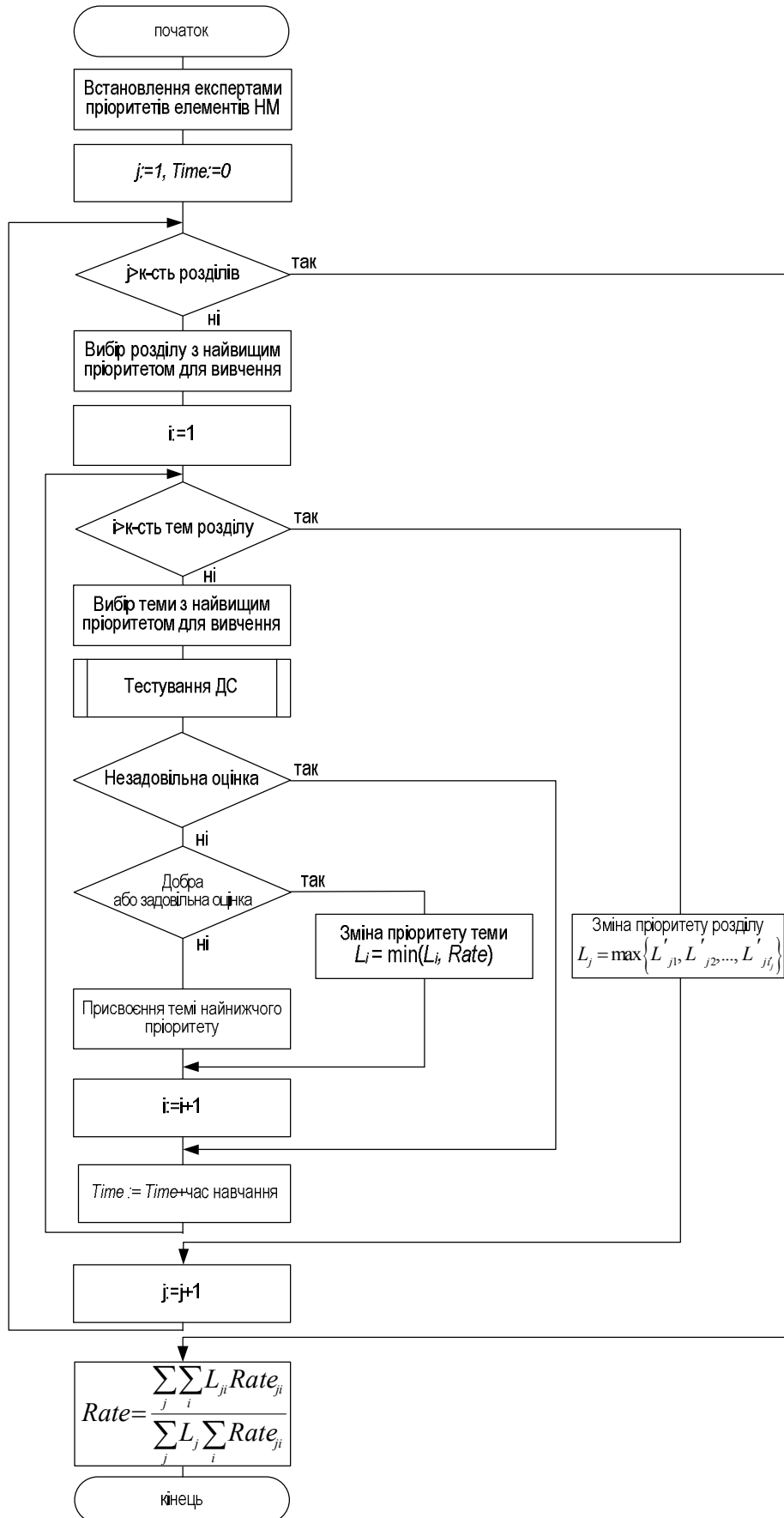


Рис. 5. Блок-схема алгоритму подання навчального матеріалу за пріоритетом

На основі аналізу базових завдань СДМН проаналізовано та узагальнено інструментальні засоби, інформаційні технології та програмне забезпечення, які використовуються при побудові таких систем. Розроблено універсальну модульну архітектуру СДМН (рис. 6), описано її елементи, завдання та принципи реалізації, а також зазначено їх найважливіші функції.

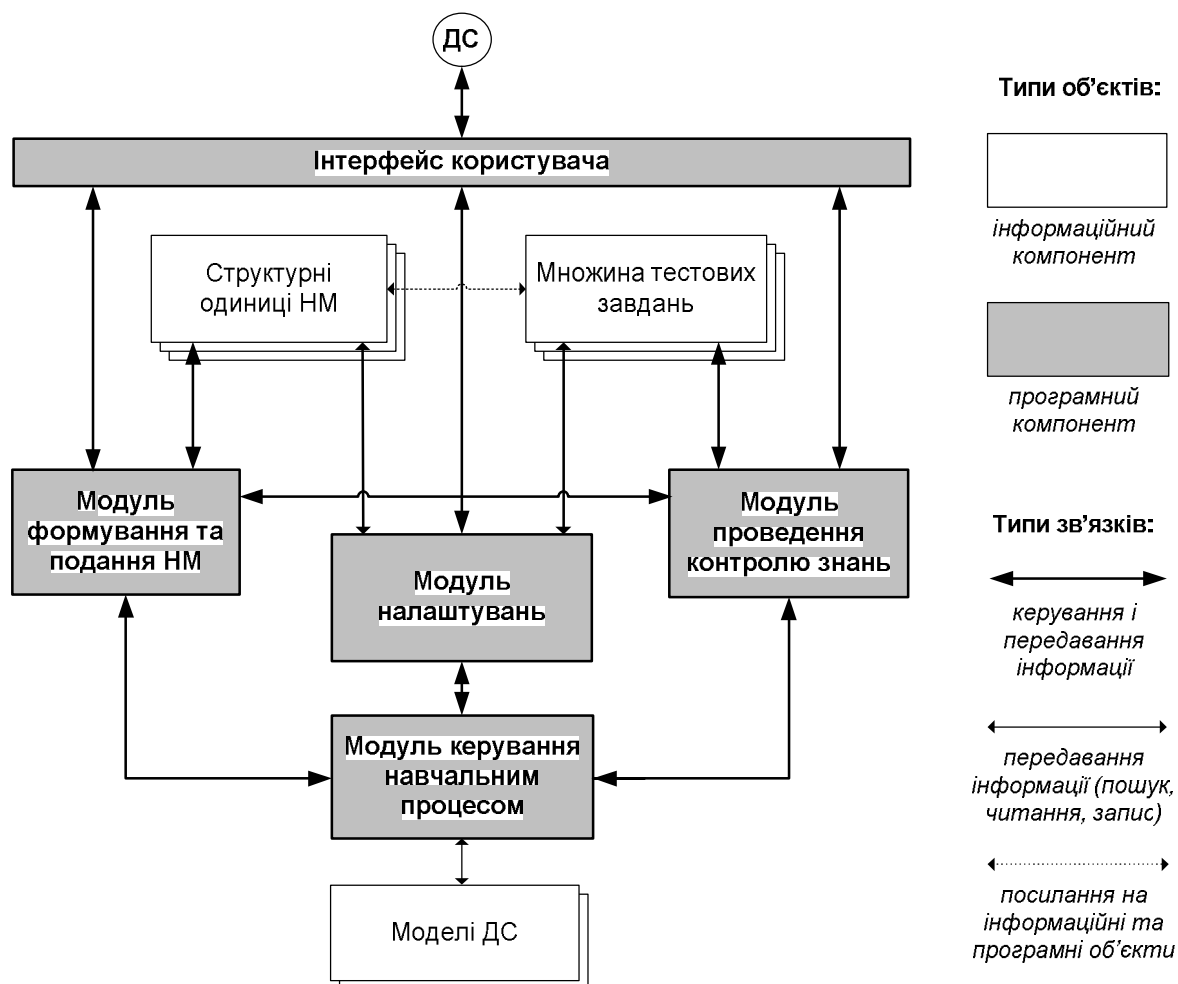


Рис. 6. Схема універсальної архітектури СДМН

Взаємодія ДС з НМ здійснюється за допомогою *Модуля формування та подання навчального матеріалу*. *Модуль проведення контролю знань* призначений для організації тестування. *Модуль налаштувань* забезпечує налаштування СДМН на конкретні умови застосування, параметри ДС й педагогічні завдання. *Модуль керування навчальним процесом* здійснює керування іншими програмними компонентами СДМН у частині забезпечення ефективної реалізації НП на основі моделі ДС. Подання інформаційних компонентів СДМН реалізується на мовах HTML, XML, а *інтерфейс користувача* забезпечує web-браузер. На рис. 7 зображено спрощену схему web-реалізації інтерфейсу, яка базується на мережево-центричній архітектурі.

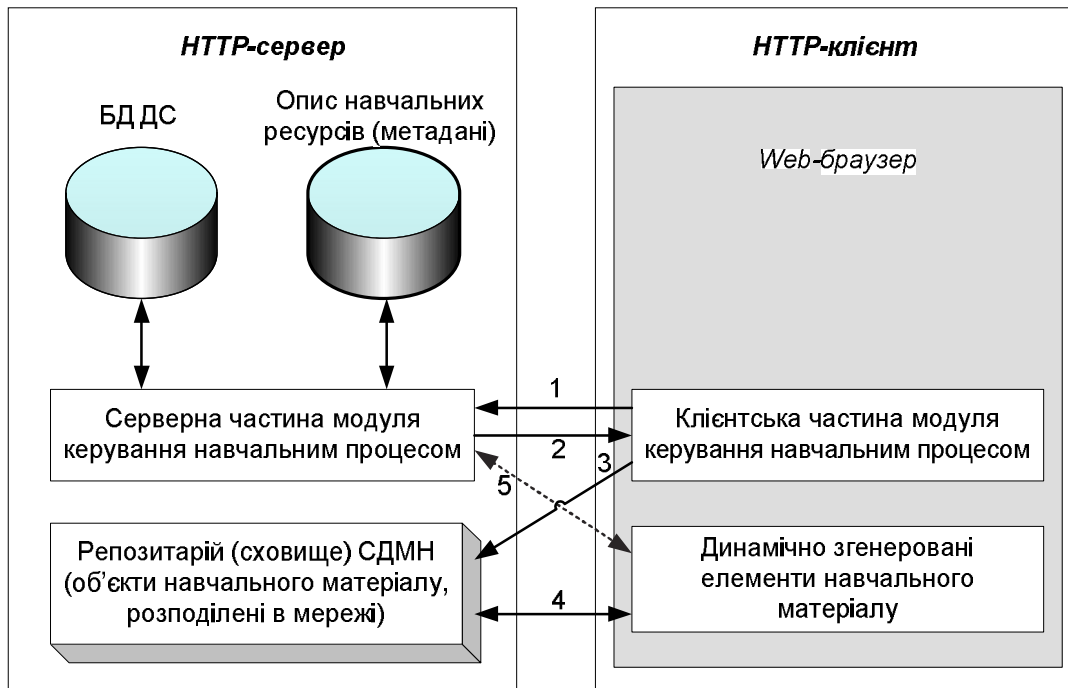


Рис. 7. Спрощена схема web-реалізації інтерфейсу користувача.

Основні етапи взаємодії клієнтської та серверної частин системи керування НП в рамках web-інтерфейсу.

1. Після авторизації ДС клієнтська частина модуля керування НМ відсилає запит до серверної частини на отримання URL елемента НМ.
2. Сервер повертає потрібний URL.
3. Клієнтська частина скеровує серверу запит на отримання елемента НМ, ідентифікованого цим URL.
4. Сервер передає на клієнтський комп'ютер (тонкий клієнт) компоненти НМ.
5. Завантажений елемент НМ і серверна частина модуля керування НМ обмінюються інформацією за допомогою HTTP-повідомлень.

Розроблені СДМН функціонують у розподіленому середовищі WWW, а їхні програмні та інформаційні компоненти базуються та відповідають технологіям Open Source: Web-сервері Apache, мові PHP та базі даних MySQL. Розроблено архітектуру бази даних спроектованих СДМН.

У розділі досліджено продуктивність програмних компонентів розроблених СДМН, що реалізують алгоритми подання НМ із врахуванням ієрархії, та адаптивні методи контролю й оцінювання знань за моделями ДС і НМ шляхом порівняння розроблених програмно-алгоритмічних комплексів (на прикладі СДМН дитячого дистанційного навчально-консультаційного центру (далі ДДНКЦ)) з наявними дистанційними курсами у різних середовищах організації дистанційного навчання (First class, WebCT та ILIAS). Порівняння здійснювалося за такими параметрами: загальний час навчання; усереднений відносний рівень знань ДС; зручність організації навчання; кількість ДС, що успішно закінчили навчання (рис. 8).



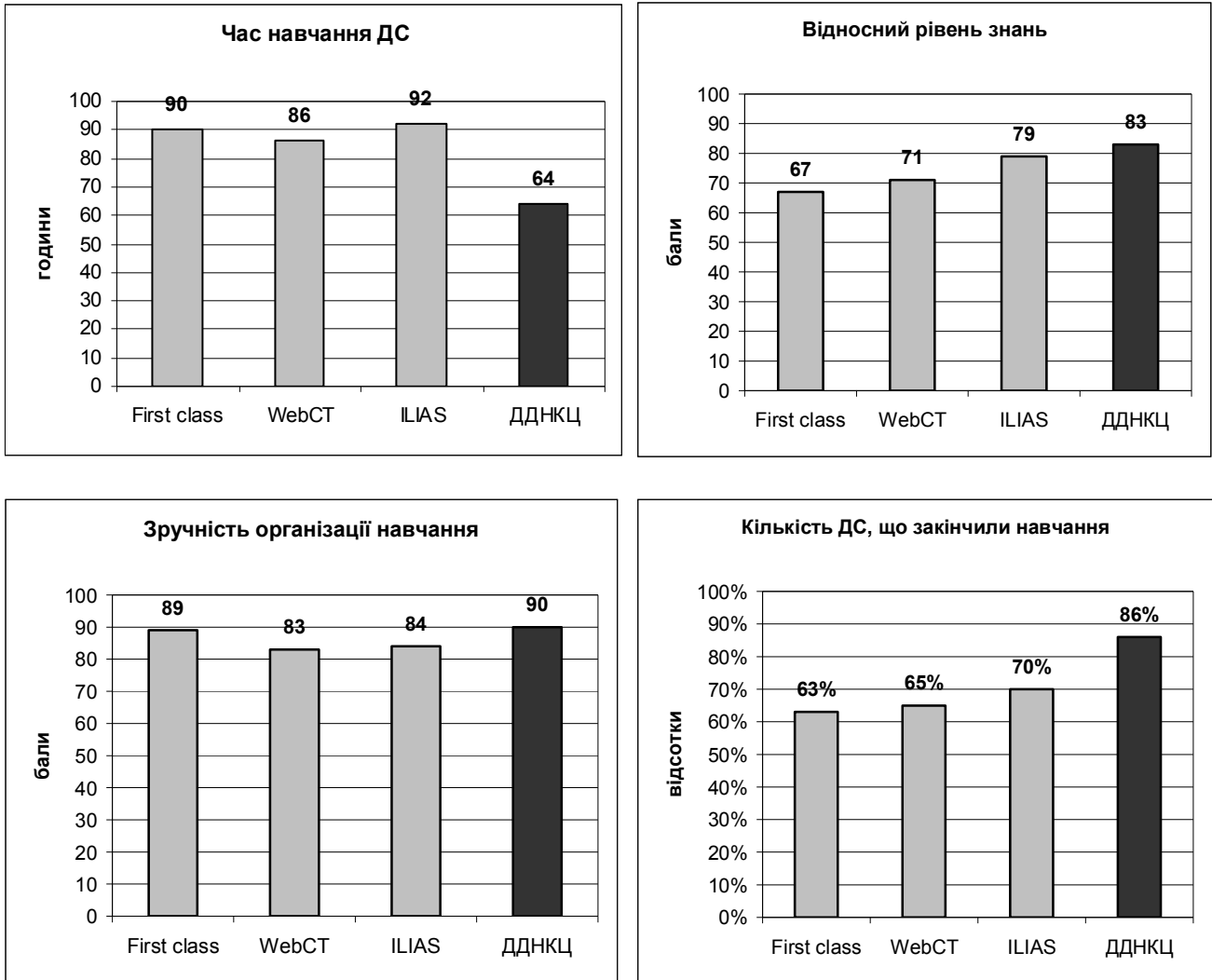


Рис. 8. Порівняння за параметрами загального часу навчання; усередненим відносним рівнем знань ДС; зручністю організації та кількістю ДС, що закінчили навчання

Результати порівняння, подані на рис. 8, показують, що час навчання при використанні розробленої СДМН є меншим завдяки побудові персональної траєкторії подання НМ із врахуванням рівня знань кожного ДС, а відносний рівень знань ДС покращується завдяки використанню методів та алгоритмів адаптивного тестування, який дає змогу об'єктивніше оцінювати знання ДС, що забезпечує максимально ефективний процес навчання.

## ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано актуальну наукову задачу дослідження і розроблення математичного та програмного забезпечення систем дистанційного навчання із використанням розроблених теоретичних засад та програмно-алгоритмічних комплексів, які реалізовані на основі мережевоцентричних технологій. Отримано такі основні результати:

1. Обґрунтовано необхідність розроблення математичного та програмного забезпечення систем дистанційного навчання на основі мережевоцентричної

- парадигми, шляхом удосконалення моделей та методів організації дистанційного навчання з метою підвищення ефективності навчального процесу.
2. Набув подальшого розвитку метод подання навчального матеріалу із врахуванням ієрархії у вигляді ГАБО-графа, що дало змогу адекватно задавати систему відношень між структурними інформаційними одиницями.
  3. Розроблено модель дистантного слухача, яка враховує ступінь засвоєння навчального матеріалу, що дало змогу будувати уточнену індивідуальну траєкторію навчання ДС.
  4. Вперше розроблено моделі тестових завдань і еталонних відповідей викладача, які реалізовано на основі багатовимірного подання даних, що підвищує ефективність опрацювання та зберігання результатів тестування.
  5. Удосконалено алгоритм адаптивного тестування, шляхом використання питань різного рівня складності та врахування результатів попередніх відповідей дистантного слухача, що дозволило покращити ефективність та об'єктивність комп'ютерного контролю знань.
  6. Розроблено універсальну архітектуру СДМН, яка базується на використанні парадигми мережевоцентричності та моделі ДС, що дало змогу адаптовувати навчальний процес для кожного ДС та забезпечувати функціонування у режимі віддаленого доступу.

Розроблені програмно-алгоритмічні комплекси СДМН, зокрема для організації дистанційного навчання в навчально-консультаційному центрі; для дистанційного тестування знань учасників олімпіад і турнірів з програмування й інформаційних технологій та для навчання за допомогою електронного підручника «Основи теорії електронних кіл», і результати їх експлуатації підтверджують доцільність використання мережевоцентричних технологій для підвищення ефективності процесу дистанційного навчання і об'єктивності комп'ютерного контролю знань.

### **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Голощук Р. О. Математичне моделювання процесів дистанційного навчання / Р. О. Голощук, В. В. Литвин, В. А. Висоцька, Л. В. Чирун // Інформаційні системи та мережі : Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2003. – № 489. – С. 100–110.
2. 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.
3. Голощук Р. О. Системні принципи побудови інтелектуальної інформаційної системи «Віртуальна кафедра» / Р. О. Голощук // Інформаційні системи та мережі : Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2001. – № 438. – С. 42–45.

4. Голощук Р. О. Базові системні принципи побудови програмно-технічної структури інтелектуальної інформаційної системи для автоматизації роботи кафедр / Р. Голощук, Я. Кісь, І. Чура // Комп'ютерні системи проектування. Теорія і практика : Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2002. – № 444. – С. 137–140.
5. Голощук Р. О. Інтерактивна взаємодія та зворотний зв'язок у системі дистанційного навчання / Р. О. Голощук, В. А. Висоцька // Інформаційні системи та мережі : Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2002. – № 464. – С. 44–53.
6. Голощук Р. О. Інтелектуальна система авторизації та контролю знань дистанційного слухача / Р. О. Голощук, М. А. Григор'єв // Інформаційні системи та мережі : Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2004. – № 519. – С. 73–81.
7. Голощук Р. О. Реалізація платформно-незалежних обчислень за допомогою концепції мережевого комп'ютера / Р. О. Голощук // Інформаційні системи та мережі : Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 1998. – № 330. – С. 62–68.
8. Голощук Р. О. Визначення та оптимізація тематики сайту на основі пошукових запитів / Р. О. Голощук, А. М. Пелещин // Радиоелектроника и информатика. – Харків : Харк. нац. ун-т радіоелектроніки, 2005. – № 2. – С. 73–78.
9. Голощук Р. О. Огляд інформаційних технологій розподілених обчислень для розробки мережевоцентричних застосувань / Р. О. Голощук // Інформаційні системи та мережі : Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 1999. – № 383. – С. 44–56.
10. Голощук Р. О. Використання інформаційних засобів автоматизованого проектування та розробки програмного забезпечення / Р. О. Голощук, Я. П. Кісь // Інформаційні системи та мережі : Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2000. – № 406. – С. 164–170.
11. Голощук Р. Використання програмного забезпечення проміжного прошарку (middleware) для розробки мережевоцентричних застосувань / Роман Голощук, Ярослав Кісь, Андрій Нога // Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології : Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2000. – № 413. – С. 78–84.
12. Голощук Р. О. Інтелектуальна система дистанційного контролю знань учасників олімпіад та турнірів юних інформатиків / Р. О. Голощук // Інформаційні системи та мережі : Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2003. – № 489. – С. 90–100.
13. Голощук Р. О. Аналіз активності дистанційного слухача / Р. О. Голощук, А. В. Орел // Інформаційні системи та мережі : Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2004. – № 519. – С. 81–91.

14. Голощук Р. О. Еволюція клієнтських пристроїв / Р. О. Голощук // Інформаційні системи та мережі : Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 1998. – № 330. – С. 69–74.
15. 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.
16. Peleschyshyn A. Informational-analytic system with E-learning component of educational institute management development / Andriy Peleschyshyn, Pavlo Zhezhnych, Roman Holoshchuk // Proc. of the International conference on computer science and information technologies (CSIT' 2006). – Lviv, 2006. – P. 52–56.
17. Holoshchuk R. Mathematical models of pedagogical testing / Roman Holoshchuk, Andriy Peleschyshyn, Oksana Pasichnyk // Інтернет-Освіта-Наука : Збірник матеріалів Четвертої міжнародної конференції «ІОН-2004». – Том 1. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – С. 66–70.
18. Пасічник В. В. Недільна комп'ютерна школа, як продовження вітчизняної освітньої традиції / В. В. Пасічник, Д. О. Тарасов, Р. О. Голощук // Використання персональних ЕОМ у навчальному процесі вищих та середніх навчальних закладів : Тези доп. П'ятої всеукраїнської науково-методичної конференції. – Львівський державний університет ім. Івана Франка, 1998. – С. 90–91.
19. Голощук Р. О. Базові принципи побудови інтелектуальної інформаційної системи «Віртуальна кафедра» з компонентою дистанційного навчання / Р. О. Голощук, В. В. Литвин // Сучасні проблеми прикладної математики та інформатики : Тези доп. Дев'ятої всеукраїнської наукової конференції. Львівський Національний університет ім. Івана Франка, 2002. – С. 33–34.
20. Івашків А. М. Літній комп'ютерний табір та ігровий підхід до вивчення основ інформатики / А. М. Івашків, Р. О. Голощук // Використання персональних ЕОМ у навчальному процесі вищих та середніх навчальних закладів : Тези доповідей п'ятої всеукраїнської науково-методичної конференції, Львівський державний університет ім. Івана Франка, 1998. – С. 44–45.
21. Peleschyshyn A. Some approaches to educational institute activity automation / Andriy Peleschyshyn, Pavlo Zhezhnych, Roman Holoshchuk // Інтернет-Освіта-Наука : Збірник матеріалів п'ятої міжнародної конференції «ІОН-2006». – Том 1. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – С. 37–41.
22. Holoshchuk R. Organization of distant studying-consulting center for children / Roman Holoshchuk, Yuriy Syerov, Oksana Pasichnyk // Proc. of the International conference on computer science and information technologies (CSIT' 2007), Lviv, 2007. – P. 281–282.

## АНОТАЦІЇ

**Голощук Р. О. Математичне та програмне забезпечення систем дистанційного мережевоцентричного навчання.** – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю *01.05.03 – математичне та програмне забезпечення обчислювальних машин і систем.* – Національний університет «Львівська політехніка», Львів, 2008.

Дисертацію присвячено розробленню математичного і програмного забезпечення систем дистанційного навчання, які реалізовані із врахуванням мережевоцентричних технологій. Розроблено формалізовані моделі: дистантного слухача, яка відображає ступінь його розуміння навчального матеріалу; навчального матеріалу із врахуванням ієрархічних рівнів у вигляді ЛАБО-графа, для якого запропоновано ефективні алгоритми обходу; тестових завдань, еталонних відповідей викладача, що дало змогу підвищити ефективність процесу навчання. Розроблено ефективні алгоритми формування і структурування навчального матеріалу, враховуючи пріоритет структурних одиниць навчального матеріалу та результати тестування дистантного слухача, що дало змогу індивідуалізувати навчальний процес. Розроблено методи та алгоритми авторизації, які дозволяють користувачу отримати віддалений доступ до розподілених навчальних ресурсів залежно від його повноважень. Розроблено загальну архітектуру СДМН, яка базується на використанні парадигми мережевоцентричності та моделі ДС, що дало змогу адаптовувати навчальний процес для кожного ДС та забезпечити функціонування у режимі віддаленого доступу.

*Ключові слова:* дистанційне навчання, математичне та програмне забезпечення, мережевоцентричні технології, Інтернет.

**Голощук Р. О. Математическое и программное обеспечение систем дистанционного сетецентрического обучения.** – Рукопись.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности *01.05.03 – математическое и программное обеспечение вычислительных машин и систем.* – Национальный университет «Львовская политехника», Львов, 2008.

Диссертация посвящена разработке математического и программного обеспечения систем дистанционного обучения на базе сетецентрических технологий. Разработаны формальные модели: дистантного слушателя, которая отображает степень его понимания учебного материала; учебного материала с учетом иерархических уровней в виде ИИЛИ-графа, для которого разработаны эффективные алгоритмы обхода; тестовых задач, эталонных ответов преподавателя, которые дают возможность значительно повысить эффективность процесса обучения.

Разработаны эффективные алгоритмы формирования и представления учебного материала, учитывая приоритет структурных единиц учебного

материала и результаты тестирования дистантного слушателя, что обеспечивает индивидуализацию процесса обучения. Разработаны методы и алгоритмы авторизации, которые разрешают пользователю получить удаленный доступ к распределенным учебным ресурсам в зависимости от его полномочий. Усовершенствован алгоритм адаптивного тестирования, путем использования вопросов разного уровня сложности с учетом статистики результатов предыдущих ответов дистантного слушателя, что позволило улучшить эффективность и объективность компьютерного контроля знаний.

Разработана общая архитектура системы дистанционного сетевидного обучения, которая базируется на использовании технологий сетевидности, кроссплатформности и модели дистантного слушателя, что дает возможность адаптировать процесс обучения для каждого студента и обеспечивает функционирование в режиме удаленного доступа.

Реализованы программно-алгоритмические прототипы систем дистанционного сетевидного обучения, в частности для организации дистанционного учебного процесса на основе сетевидных технологий в учебно-консультационном центре; для дистанционного тестирования знаний учеников в «Галицком турнире юных информатиков» и для проведения учебы с помощью электронного учебника «Основы теории электронных цепей». Полученные статистические результаты свидетельствуют о повышении эффективности процесса дистанционного обучения и объективности компьютерного контроля знаний.

*Ключевые слова:* дистанционное обучение, математическое и программное обеспечение, сетевидные технологии, Интернет.

**Holoshchuk R. O. Mathematical and software support of distant educational netoriented systems.** – Manuscript.

Ph. D. thesis of speciality 01.05.03 – *mathematical and software support of computer machines and systems* – Lviv Polytechnic National University, Lviv, 2008.

This thesis addresses one of the topical issues of the development of mathematical and program software support of distance learning processes on a base of netoriented technologies. The paper determines certain mathematical models: a model of distant learner – reveals understanding of educational material; a model of educational material – considers hierarchical AND/OR graph levels with the effective algorithms; tests, standard teacher answers – enables to increase efficiency of studies. The identified mathematical models and effective algorithms of educational material presentation allow to individualize the process of studies. New methods and algorithms of authorizing which allow a distant learner to get an access to the distributed educational resources has been worked out. A General architecture of the distance netoriented learning system based on the use of netoriented and crossplatform technologies is proposed. It allows to adopt process to demands of the individual student and provide its distant functioning.

*Keywords:* distance learning, mathematical and software support, netoriented technologies, Internet.

Підписано до друку 24.09.2008 р.  
Формат 60x90 1/16. Папір офсетний.  
Друк на різнографі. Умовн. друк арк. 1,5. Обл.-видав.арк. 0,89.  
Тираж 100 прим. Зам. 80772.

Поліграфічний центр  
Видавництва Національного університету «Львівська політехніка»  
вул. Ф. Колесси, 2, 79000, Львів

