

УДК 004.82

DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2023.26.045>

В. Ляшик, І. ШУБІН

## МЕТОД ЛОГІЧНИХ МЕРЕЖ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ АДАПТИВНОГО ТЕСТУВАННЯ ЗНАТЬ

**Предметом дослідження** є розроблення математичного та алгоритмічного забезпечення інтелектуального інструментарію аналізу наборів тестових завдань і моделювання процесу інтерпретації якості наборів тестових завдань, що дає змогу об'єктивно та всебічно проводити безперервний контроль знань суб'єктів навчання за умови впровадження концепції віртуального розподіленого навчання (перепідготовки). **Мета роботи** – підвищення ефективності контролю знань суб'єктів освітнього процесу в умовах дистанційної форми навчання з допомогою застосування адаптивних методів комп'ютерного тестування на основі моделей логічних мереж і алгебри скінченних предикатів. У статті вирішуються такі **завдання**: формування моделі тестування в розподіленому віртуальному навчальному середовищі та моделі оцінювання валідності за змістом наборів тестових завдань. Використовуються такі **методи**: методи логічних мереж і алгебраїчного програмування на основі алгебри скінченних предикатів і предикатних операцій, інтелектуальний аналіз інформації. Здобуто такі **результати**: сформульовано принципи інтелектуального аналізу в процесі розроблення моделі універсальної логічної мережі та її застосування до актуальних завдань штучного інтелекту в галузі неформалізованого оброблення інформації, а саме в побудові систем тестування знань для розподіленого віртуального навчання. **Висновки**. Удосконалено алгоритми оптимального багатоступінчастого адаптивного тестування знань як частини моделей розподіленого віртуального навчання та методів аналізу успішності суб'єктів навчання. Використано кон'юнктивну декомпозицію з бінарними предикатами та досягнуто мету дослідження, оскільки таким способом будь-який багатомісний предикат можна подати логічною мережею, що моделює процес тестування знань. Описано модель суб'єкта навчання.

**Ключові слова**: програмна інженерія; бази знань; алгебра скінченних предикатів; логічні мережі; логічні правила; надійність тестів; використання знань; модель суб'єкта навчання.

### 1. Вступ

Наразі серед проблем дистанційної освіти [1] особливе місце посідає проблема автоматизації контролю знань. Питання комп'ютерного контролю становлять значний інтерес для викладачів вищих навчальних закладів і розробників програмних засобів реалізації такого контролю. Водночас проблеми комп'ютерного контролю знань недостатньо широко висвітлені теоретично, і зацікавленість ними здебільшого реалізується з допомогою створення чергової програми комп'ютерного контролю із заздалегідь розробленим набором завдань. Засоби адаптивного тестування мало досліджені й опрацьовані недостатньо прозоро.

Контроль знань або тестування – процес, що проводиться з метою визначення рівня знань суб'єкта навчання [2]. Це найбільш стандартизований і об'єктивний метод контролю та оцінювання знань, умінь і навичок суб'єкта навчання, який позбавлений таких традиційних недоліків інших методів контролю знань, як неоднорідність вимог, суб'єктивність екзаменаторів, невизначеність системи оцінювання тощо. Рівні знань зазвичай дискретизуються.

За умови такого підходу тестування може розглядатися як деякий діагностичний процес, а стани, що характеризують оцінки знань суб'єкта навчання, – як діагностичні стани. Тести є ефективним засобом перевірки якості знань, набутих студентами, і оперативного контролю етапів навчання [3]. Інформаційні освітні ресурси (ІОР), що містять тестові матеріали, можна поділити на дві категорії:

– орієнтовані на проходження студентами тестів у письмовій формі з подальшою перевіркою вручну викладачем (як варіант – сканування результатів тестування для їх подальшої автоматизованої перевірки);

– системи комп'ютерного тестування (СКС) з відповідним наповненням тестовими матеріалами.

Переваги другої категорії тестових ІОР очевидні. Вони звільняють викладача від рутинної роботи під час іспитів і проміжного оцінювання знань у традиційному навчальному процесі, а в навчанні з використанням дистанційних технологій стають основним засобом контролю; уможливають автоматизацію оброблення результатів, об'єктивність контролю та швидкість перевірки якості підготовки значної кількості суб'єктів навчання із широкого кола

питань. Це дає змогу визначити розділи, що є найбільшою складністю у вивченні, та в режимі адаптації коригувати процес навчання залежно від результатів тестування. СКС виконують навчальну функцію та допомагають упровадити методи індивідуалізації процесу набуття знань суб'єктами навчання [4].

Функції контролю знань виконують водночас навчально-виховне та розвивальне завдання. Тестування є важливим елементом не тільки контролю знань, але й навчання. Навчальний складник тестування полягає в тому, що користувачеві після проходження тесту надаються посилання на розділи навчального матеріалу, з яких він відповів неправильно. Для досягнення зазначених результатів необхідно швидкими темпами розбудовувати дистанційну форму навчання, упровадження якої в Україні передбачене Національною програмою інформатизації.

Функція контролю [5] полягає у виявленні стану знань і вмінь студентів, рівня їхнього розвитку, у вивченні ступеня засвоєння певних компетенцій, навичок раціональної навчальної діяльності. За допомогою контролю визначається вихідний рівень для подальшого набуття знань, умінь і навичок, вивчається глибина та обсяг їх засвоєння. Порівнюється планований рівень із дійсними результатами, встановлюється ефективність використовуваних викладачем методів, форм і засобів навчання.

Навчальна функція [6] контролю знань полягає в удосконаленні знань і вмінь та їх систематизації. У процесі перевірки студенти повторюють і закріплюють вивчений матеріал. Вони не лише відтворюють раніше вивчене, але й застосовують знання та вміння в новій ситуації. Перевірка допомагає виокремити основне в досліджуваному матеріалі, зробити виявлення наявних знань і вмінь більш зрозумілим і точним. Контроль сприяє також узагальненню та систематизації знань.

Сутність діагностичної функції контролю [7] полягає в отриманні інформації про помилки й прогалини в знаннях і вміннях суб'єкта навчання, а також про причини, що їх породжують. За умови численних помилок викладач аналізує труднощі, з якими стикаються студенти у вивченні навчального матеріалу. За результатами діагностичних перевірок обирається найбільш інтенсивна методика навчання, а також уточнюються напрями подальшого вдосконалення змісту, методів і засобів освітнього процесу.

Прогностична функція [8] допомагає отримати випереджальну інформацію про навчально-виховний процес. Після перевірки знань з'являються підстави для прогнозування певного етапу навчального процесу: чи достатньо сформовані конкретні знання, уміння й навички для засвоєння наступної порції навчального матеріалу (розділу, теми). Результати прогнозування використовують для створення моделі подальшої поведінки суб'єкта навчання, що припускається помилок конкретного типу або має певні прогалини в системі пізнавальної діяльності. Завдяки прогнозуванню викладач робить правильні висновки для подальшого планування навчальної роботи.

**Мета роботи** – підвищення ефективності контролю знань суб'єктів освітнього процесу в умовах дистанційної форми навчання з допомогою застосування адаптивних методів комп'ютерного тестування на основі моделей логічних мереж і алгебри скінченних предикатів.

Метою роботи є розроблення математичного та алгоритмічного забезпечення інтелектуального інструментарію аналізу наборів тестових завдань і моделювання процесу інтерпретації якості наборів тестових завдань. Це дає змогу об'єктивно та всебічно проводити безперервний контроль знань студентів (суб'єктів навчання) в умовах упровадження концепції віртуального розподіленого навчання на основі створення методів автоматизації оцінювання якості освітніх тестів та інтерпретації результатів, опису математичного апарату, що допомагає якнайкраще описувати складні інтелектуальні процеси й методи оцінювання комплектів тестових завдань під час перевірки рівня знань суб'єктів навчання.

## 2. Постановка завдання

Під адаптивним тестовим контролем розуміють комп'ютеризовану систему науково обґрунтованої перевірки та оцінювання результатів навчання, що має високу ефективність завдяки оптимізації процедур генерації, подання та оцінювання результатів виконання адаптивних тестів [9].

Ефективність контрольних-оцінних процедур підвищується за умови використання багатокрокової стратегії відбору та подання завдань, основаної на алгоритмах із повною контекстною залежністю, у яких черговий крок відбувається тільки внаслідок оцінювання результатів попереднього кроку

(або кроків). Після виконання чергового завдання щоразу виникає потреба в ухваленні рішення про вибір рівня складності наступного завдання залежно від того, правильною чи неправильною була попередня відповідь [10].

Алгоритми підбору та подання завдань будуються за принципом зворотного зв'язку, коли в разі правильної відповіді, наданої студентом, чергове завдання обирається підвищеної складності, а неправильна відповідь спричиняє подання наступного, менш складного, завдання, порівняно з тим, на яке суб'єкт навчання дав неправильну відповідь. Також можливі додаткові запитання з тем, які студент знає не дуже добре, для більш точного з'ясування рівня знань у межах певних навчальних модулів. Отже, адаптивна модель нагадує викладача на іспиті: якщо суб'єкт навчання відповідає на запитання впевнено й правильно, викладач досить швидко ставить йому позитивну оцінку. Якщо той, хто проходить іспит, починає давати неправильні відповіді, то викладач ставить йому додаткові або навідні запитання того самого рівня складності або з тої самої теми. І, нарешті, якщо студент із самого початку відповідає погано, оцінку викладач теж ставить досить швидко, але негативну.

Для застосування тестової перевірки знань у системах віртуального навчання природною є вимога мінімального обсягу тестових завдань, на які має відповісти суб'єкт навчання. Однак для статистично повної оцінки сформованих компетенцій студента необхідно, щоб кількість його відповідей була якомога більшою. Останнє є суперечливим і, зважаючи на те, що розроблені тести мають бути адекватним відбиттям предметної галузі, сама процедура адаптивного тестування (зокрема розроблення тестів, алгоритм тестування, алгоритм оцінювання знань) має надійно контролюватися в процесі створення й тестуватися як продукт.

Вибір такого алгоритму тестування, структури тестів, які б задовольняли викладеним вимогам і характеристикам, не є тривіальним завданням і надалі визначається як завдання дослідження.

Алгебра предикатів є зручним і ефективним способом формального запису інформації найбільш загального вигляду. Модель, побудована засобами алгебри предикатів та предикатних операцій, є системою предикатних рівнянь, для ефективного рішення якої слугує логічна мережа, що уможлиблює як моделювання і верифікацію інтелектуальних

моделей, так і безпосередню реалізацію як інтелектуального ядра.

Запропоновано два поняття: "логіт рівня знань" і "логіт рівня труднощів завдання" [11, 12]. Перше визначено як натуральний логарифм відношення частки правильних відповідей випробуваного на всі завдання тесту до частки неправильних відповідей, а друге поняття – як натуральний логарифм іншого відношення: частки неправильних відповідей на завдання тесту до частки правильних відповідей на ті самі завдання за множиною учасників тестування. Єдина логарифмічна шкала дає змогу встановити необхідну відповідність між рівнем підготовки й труднощами завдання й, крім того, скоригувати результати тестування за умови тестів різної складності [13].

Адаптивне тестування визначається як "сукупність процесів генерації, подання та оцінювання результатів виконання адаптивних тестів, що забезпечує приріст ефективності вимірів порівняно з традиційним тестуванням завдяки оптимізації добору характеристик завдань, їх кількості, послідовності й швидкості подання щодо особливостей підготовки учасників тестування" [14, 15].

В умовах адаптивного тестування (під час проходження тесту або набору тестів) будується модель суб'єкта навчання, що застосовується для генерації або вибору наступних завдань тестування залежно від рівня підготовки суб'єкта навчання. У комплексних системах отримана модель також може використовуватися в процесі навчання. У наш час адаптивне тестування реалізується здебільшого у вигляді алгоритмів комп'ютерного тестування. Адаптивне тестування має задовольняти такі вимоги:

- можливість регулювати пропорції підготовлених легких, середніх і важких завдань залежно від кількості правильних відповідей;
- можливість регулювати пропорцій запропонованих різних тематичних розділів навчальної програми в тесті;
- можливість регулювати рівні складності пропонованих тестів, зважаючи на семантичну компетенцію суб'єкта навчання;
- долучення адаптивного механізму переведення на більш високий рівень тестування на тому самому рівні запропонованих завдань;
- кожне завдання більш складного рівня оцінюється вищими балами.

Вибір алгоритмів тестування на сьогодні фактично обмежений формами подання тестових завдань і алгоритмами оцінювання результатів тестування. Досягнення більш високих результатів і підвищення мотивації навчання в остаточному підсумку є основною метою перевірки знань [16–18]. Сам процес тестування, обумовлений певним алгоритмом, має бути максимально формалізованим і водночас гнучким, для того щоб адекватно оцінювати знання суб'єктів навчання. Крім того, можливість регулювати пропорції пропонованих легких, середніх і складних завдань залежно від кількості правильних відповідей є нетривіальною вимогою. Це пов'язано з тим, що зрештою в оцінюванні знань і вмінь студента так чи інакше використовуються статистичні методи для валідної апроксимації функції успіху.

Вирішення таких завдань передбачає формування моделі тестування в розподіленому віртуальному навчальному середовищі та моделі оцінювання валідності за змістом наборів тестових завдань.

### 3. Опис проведених теоретичних досліджень

Самі набори тестових завдань, що розробляються, мають бути адекватним відбиттям предметної галузі, а сама процедура адаптивного тестування (зокрема розроблені тести, алгоритми тестування, алгоритми оцінювання знань) має надійно контролюватися під час розроблення й тестуватися як продукт.

Отже, вибір такого алгоритму тестування, структури тестів, які б задовольняли викладеним вимогам і характеристикам не є тривіальним завданням і надалі визначається як завдання дослідження [19, 20].

Моделі логічних предикатних мереж і логічного програмування, використані в роботі для конструювання систем багатоступінчастого тестування, основані на критерії максимуму інформації, що дозволяє брати до уваги різноманітні обмеження для різних тестових структур. Описи цих відношень за допомогою скінченних предикатів уможливають долучення таких обмежень у системи східчастого адаптивного тестування. Одним із видів багатоступінчастого підходу, описаного логічними мережами, є пірамідальне тестування (рис. 1).

На поданому рисунку жирною лінією показаний маршрут одного суб'єкта навчання (траєкторія відповідей на запитання).



Рис. 1. Пірамідальна модель логічної мережі, що описує процес адаптивного тестування

Якщо зміна порядку подання тестового завдання відбувається на кожному кроці тестування (постійна адаптація), тоді траєкторія відповідей на запитання прийме вигляд, що зображений на рис. 2.

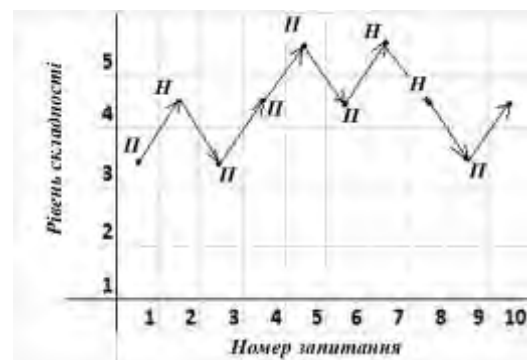


Рис. 2. Схема проходження завдань за умови постійної адаптації (H – неправильна відповідь; П – правильна відповідь)

Якщо ухвалення рішення про зміну порядку проходження завдань здійснюється після аналізу результатів звітів випробуваного на спеціальному блоку завдань (блокова адаптація), то схема проходження завдань має такий вигляд (див. рис. 3).

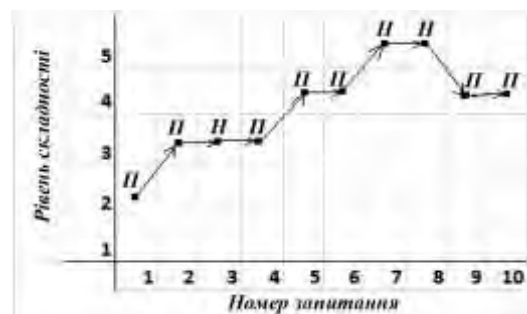


Рис. 3. Схема проходження завдань за умови блокової адаптації (H – неправильна відповідь; П – правильна відповідь)

На протипагу дискретним завданням, множини завдань встановлюють так звані блоки, тобто зв'язані завдання, об'єднані загальною тематикою (або за іншою ознакою). До того ж ці зв'язки розглядаються як неподільні одиниці. Блоки запитань об'єднані таким чином, що припускають фіксований порядок подання тестових завдань [17, 18].

Стохастичний вибір тем лекційного курсу зумовлений тим, що вони, як правило, не є рівнозначними. Інакше кажучи, теми можуть відрізнятися за кількістю розглянутих питань, за рівнем складності теми загалом і, як наслідок, конкретних запитань, за важливістю теми та за іншими ознаками, суб'єктивно обумовленими викладачем.

Запитання (у межах наведеного вище сценарію) обирається після вибору теми. Вибір теми здійснюється стохастично з обліком наведених вище обставин. Доцільним у цьому разі є використання вагового коефіцієнта  $K_{wt}$  теми таким чином, щоб:

$$\sum_{i=1}^t K_{w_i}(i) = 1,$$

де  $T = (1...t)$  визначає  $i$ -ту тему із загальної кількості  $t$  тем.

Тоді вибір дозволеної теми здійснюється в такий спосіб.

Крок 1.

Для множини дозволених тем із використанням конгруентного генератора псевдовипадкових чисел генерується випадкове  $A_t^{(i)} = \{0..1\}$  число, відповідне до рівномірного розподілу функції ймовірності.

Крок 2.

Визначається для кожної теми добуток  $K_{w_t}^{(i)} \times A_t^{(i)}$ .

Крок 3.

Обирається тема (з якої потім буде обрано запитання) за ознакою найбільшого значення добутку  $K_{w_t}^{(i)} \times A_t^{(i)}$ .

Аналогічно можуть обиратися запитання для кожної теми.

Вибір додаткового запитання або їх ланцюжка потребує іншого підходу. Так само, як і для тем, і основних запитань існують переваги до їх вибору (відсутність переваг може розглядатися як їх рівність). Однак, якщо під час складання реального іспиту вибір запитань здійснюється практично миттєво й визначається рівномірною функцією

розподілу, то для додаткових запитань існують такі правила:

– вони ставляться по одному, тобто ситуація, коли ставиться понад одне запитання одночасно, не можлива;

– вибір додаткового запитання здійснюється на розсуд викладача, який має з тих або інших причин певні переваги в цьому виборі.

Значені переваги полягають у частоті запитань, що ставляться екзаменатором, за одиницю часу. Це приводить до визначення подібного роду вибору як потоку подій, а процедури вибору – як моделі марківських мереж.

Отже, для вибору додаткового запитання метод має такі кроки.

Крок 1.

Для кожного додаткового запитання, що може бути як одне, так і кореневе в ланцюзі (дереві) додаткових запитань, за допомогою конгруентного генератора псевдовипадкових чисел визначається число  $A_t^{(i)} = \{0..1\}$ .

Крок 2.

Відповідно до заданого для кожного додаткового запитання  $\lambda_{(i)}^{(i)}$  визначається число  $b_{(i)}^{(i)}$ :

$$b_{(i)}^{(i)} = -\frac{1}{\lambda_{(i)}^{(i)}} \ln(A_t^{(i)}).$$

Крок 3.

Обирається те додаткове запитання, для якого значення  $b_{(i)}^{(i)}$  є найменшим.

Значення  $b_{(i)}^{(i)}$  за умови обґрунтованого  $\lambda_{(i)}^{(i)}$  відповідає часу, після якого буде поставлено додаткове запитання.

Наведений алгоритм із ваговими коефіцієнтами для тем і основних запитань є доречним, а результат у двох випадках практично однаковий, незважаючи на різницю в шкалах оцінки (нормальну й логарифмічну). Однак у першому випадку (для тем і основних запитань) фактично маємо справу з об'єднаною моделлю формування білетів традиційного іспиту. У другому – з моделлю додаткового опитування.

Під час тестування та верифікації тесту як продукту зазначений роздільний підхід дозволить оцінити різницю витрат часу за умови автоматизованого тестування і, з іншого боку, може бути використаний для прогнозування традиційного

іспиту як частина моделі, що визначає час, витрачений на вибір додаткових запитань.

У послідовному підході вибір завдань і реалізація обмежень є пов'язаними. Хоча зазначений підхід припускає оптимальну адаптацію, послідовна реалізація обмежень не є ідеальною. Алгоритми з такими особливостями мають схильність до вибору завдань із найбільшою кількістю зв'язків з іншими темами на початку тестування. Однак вибір деяких запитань може виявитися не оптимальним у подальшому проходженні тесту. У цьому разі це призведе до того, що результат оцінювання знань буде менш адекватним, ніж за умови оптимального адаптивного тестування, та/або до неможливості завершення тесту без порушення обмежень.

В експертних методах є опція експертного оцінювання всього тестового матеріалу перед процедурою тестування. Явне кодування суттєвих для завдань атрибутів не завжди є необхідним [19, 20]. Також зазначені підходи не мають повної адаптації у виборі завдання. Ці методи дозволяють часткову адаптацію з ієрархічними переходами. Угрупування блоків тестових завдань і створення багатоступінчастої тестової системи таким чином, щоб будь-яка частина системи задовольняла всі обмеження, призводить до значної комбінаторної проблеми, яка зі свого боку може спричинити виникнення неоптимальної системи з ієрархічними переходами та/або до порушення обмежень. Однак, як було зазначено, формальні методи для створення багатоступінчастих систем тестування існують.

Використання формальних методів для розроблення багатоступінчастих систем тестування дає змогу отримати явне кодування всіх важливих для завдання атрибутів.

Аналіз має здійснюватися за такими критеріями:

- інформативність – застосування принципу максимуму інформації для кінцевої кількості заданих тестових завдань;

- у процесі тестування здійснюється оцінювання знань і вмінь студента методами математичної статистики (наприклад  $j$ -та ймовірність правильної відповіді на завдання  $i$ -го рівня складності); крім цього, статистичне оброблення дозволяє визначити момент завершення тестування, що відбувається, коли функція розподілу  $j$ -х ймовірностей правильних відповідей на завдання  $i$ -го рівня складності змінюється несуттєво;

- ймовірність помилок – це ймовірність того, що тестування проводитиметься неадекватно знанням студента або відбудеться порушення обмежень системи тестування;

- складність проєктування;

- адекватність оцінювання знань суб'єкта тестування;

- рівень адаптації, що пов'язаний із критерієм інформативності, – що вищий рівень адаптації, то вища інформативність системи;

- експертна оцінка – результативний висновок, що дає змогу робити висновки про ті або інші властивості тестових завдань;

- формалізація процедур створення тестових завдань і обмежень, що припускає застосування рутинного алгоритму для досягнення заданої мети за певного набору початкових умов.

Аналіз наявних методів комп'ютерного адаптивного тестування приводить до дуже важливої дилеми. Алгоритм із оптимальними властивостями мав би обирати завдання в такій послідовності, щоб досягати оптимальної адаптації та одночасно брати до уваги всі обмеження. Це потрібно для того, щоб запобігти порушень деяких із них або не отримати неоптимальну адаптацію під час подальшого тестування.

Можливі такі вирішення цієї дилеми:

- реалізація алгоритму з можливістю повернення назад, щоб поліпшити наступні результати;

- реалізація лінійного алгоритму, який би зважав на наслідки прийнятих у майбутньому рішень. За умови адаптивного тестування відстеження у зворотному порядку неможливе, алгоритм застосовується в масштабі реального часу й попередній вибір не може бути скасований. Отже, залишається тільки один варіант – використовувати алгоритм, який щоразу обирає нове завдання. Це є новим класом алгоритмів.

#### 4. Опис методу адаптивного тестування та застосування логічних мереж

Для визначення базового алгоритму необхідно навести сценарій роботи системи. У його основі лежить парадигма приймання іспиту викладачем у студента як модель адаптивного тестування. Такий вибір сценарію роботи системи зумовлений тим, що, по-перше, ця процедура історично склалася дуже давно й добре формалізована, по-друге,

у проєктуванні тестів їх розробникам необхідно спиратися на загальноприйняті, відомі та використовувані ним методи з мінімальною модифікацією. Сам алгоритм адаптивного тестування має супроводжуватися на кожному кроці (під час переходу від одного завдання до іншого) максимальною інформативністю (надавати максимум інформації про відповіді студента на кожне запропоноване запитання). Водночас необхідно зважати на суб'єктивні властивості учасника тестування, що можуть спричинити нерозуміння очевидно поставленого запитання або завдання.

Подання предиката  $P$  у вигляді кон'юнкції предикатів  $P_1, P_2, \dots, P_n$  називається його кон'юнктивною композицією. Розкладання предиката  $P$  у кон'юнкцію тих самих предикатів  $P_1, P_2, \dots, P_n$  називається його кон'юнктивною декомпозицією. Важливим висновком декомпозиції є так звана бінарна декомпозиція предиката  $P$ , яка характеризується тим, що кожний предикат у системі  $\{P_1, P_2, \dots, P_n\}$  має в точності два істотні аргументи.

Тепер можна формально визначити логічну мережу для оцінювання складності наборів тестових завдань і встановлення шляху надання комплектів тестів для оцінювання знань суб'єктів навчання – це подання результату бінарної кон'юнктивної декомпозиції багатомісного предиката.

Предикати саме і є моделями наборів тестових завдань. Саме в прийнятному формальному визначенні логічна мережа виявилася простим і універсальним засобом подання структури будь-якого об'єкта. Це вагомий довід на користь того, щоб ототожнити формальне визначення логічної мережі з її змістовим визначенням.

Додаткові запитання є невід'ємною частиною тестів за певних умов, однак потрібно брати до уваги таке:

- не всі додаткові запитання є тотожними як з погляду складності, так і з погляду повноти відповідності основному запитанню;
- ланцюжки додаткових запитань є логічно пов'язаними послідовностями;
- запитання (як основні, так і додаткові) ставляться послідовно, тобто неможливо поставити два або більше запитань одночасно;
- частота подання додаткових запитань різна.

За базову модель системи адаптивного тестування обрано подання у вигляді логічних мереж

і математичні моделі алгебри скінченних предикатів, що має такі властивості:

- основною одиницею є запитання певної складності, у якого можуть бути ланцюги додаткових запитань;
- вибір додаткового запитання визначається з огляду на ймовірності появи кожного додаткового запитання як потоку найпростіших подій із шляхом логічного висновку на вибір неправильної відповіді;
- система тестів є замкненою в розумінні логічних мереж, тобто якщо запитання (основне або додаткове) є станом  $S_i$ , що має предикат виконання тестового завдання  $P(S_i)$ , то логічна сума предикатів тестових відповідей та перебування системи в стані  $S$  тотожно визначається як

$$P = \vee P(S_i),$$

де  $S_i$  – визначений стан – тестове завдання як процес оцінювання знань і вмінь студента; воно має виконуватися в разі вдалої відповіді на одне із запитань та/або додаткового запитання (або їх ланцюга), тобто вилучення одного із запитань не має призвести до присвоєння стану нульового значення.

Остання вимога дозволяє обходити запитання нескінченно, тобто завершення тесту можливе в таких ситуаціях:

- вичерпані всі запитання в банку тестових завдань;
- досягнуто кінець тесту;
- рівень знань оцінений з достатньою точністю;
- рівень знань суб'єкта навчання визначений як недостатній для досягнення критерію проходження тесту;
- суб'єкт навчання демонструє свою неспроможність, відповідаючи на запитання тесту.

Інформація береться з відповідей студента в процесі розв'язання завдання або з його передісторії. Комплексна модель адаптивної комп'ютерної системи навчання й тестування (КСНТ) будується на основі моделей учасників навчального процесу, подання знань предметної галузі, системи тестування й керування процесом навчання.

Комплексна модель адаптивної систем навчання й тестування має містити:

- семантичну модель навчального курсу;
- множину моделей суб'єктів навчання;
- модель організації процесу навчання й тестування знань тих, кого навчають.



запитання, доцільним є об'єднання запитання й процедури ухвалення пов'язаного з ним рішення. Такий підхід спрощує як процедуру тестування, так і саму систему тестування з погляду задоволення вимог мінімальної складності застосовуваних алгоритмів.

Прийняття загальних для всього процесу тестування рішень потребує загальних підходів в одному сеансі тестування. Ці підходи визначаються:

- застосуванням загального методу (або методів), що визначає той крок у процесі тестування, коли додаткова інформація про знання суб'єкта тестування буде надлишковою;
- процедурою початку роботи системи тестування (вибір першого запитання) і стратегією переходу від одного запитання до наступного;
- наданням докладних результатів тестування, як у природній, так і обробленій тими або іншими методами формі.

Це вимагає використання протоколу тестування й застосування:

- алгоритмів логічного операційного та статистичного аналізу результатів тестування з погляду надмірності або недостатності інформації;
- алгоритмів, що визначають рівень підготовки суб'єкта тестування;
- алгоритмів, що забезпечують стохастичні переходи по мережах тестових завдань.

В окремій сесії модель суб'єкта навчання визначається такими параметрами:

- протоколом опитування;
- результатами оцінювання знань.

Отже, зазначений підхід формує парадигму тестування, що є природною для викладача, має аналог у класичному розумінні іспиту й визначається як модель суб'єкта навчання. Необхідно наголосити, що безпосереднє використання подання логічних мереж не забезпечує розв'язання поставленого завдання, тому що є ціла низка обмежень логічного характеру, що визначають як перехід зі стану в стан, вилучення станів, так і обмеження кількості переходів (тестування не може проводитися нескінченно й запитання не мають повторюватися).

Процедуру додаткових запитань пропонується виконувати двома способами. Перший спосіб полягає в тому, що до закінчення множини додаткових запитань (одного основного або єдиного запитання) не здійснюється жодних дій, крім фіксування відповідей з наступної передачі протоколу

щодо основного запитання, де ухвалюється одне з таких рішень:

- зарахувати відповідь на основне запитання як правильну з можливим коригуванням складності;
- вважати запитання незадовільним і перейти до групи запитань більш низького рівня;
- повторно поставити додаткове запитання із залученням додаткових запитань, що залишилися;
- повторно поставити основне запитання без залучення додаткових.

Другий спосіб полягає в тому, що функції прийняття рішень про правильності відповіді та/або перехід до інших основних, додаткових запитань або про завершення тестування передається додатковому запитанню.

Останнє є загальною формою, тобто псевдоінтерактивна процедура може бути зведена до маршової шляхом вилучення логічного аналізу й прийняття рішень (логічний перехід у розумінні теорії логічних мереж).

Наявність логічного аналізу й ухвалення рішення в тестовому завданні моделює правило поведінки екзаменатора. Прийнятий ситуативний підхід на підставі правил для конкретного запитання про поведінку (передача керування іншому запитанню) у межах окремо взятого завдання.

Додаткові запитання можуть бути обрані з основних із будь-яким рівнем складності та/або створені окремо (для конкретного тесту). Як і основним запитанням, їм має бути привласнений рівень складності. Отже, можна узагальнити запитання в наборі тестових завдань як структуру (клас) даних і визначити його поведінку. Необхідно, щоб запитання мали:

- ознаку, що визначає зв'язки (такі запитання, у які з нього можна перейти), обумовлені логічними висновками;
- ознаку, що визначає зв'язки (ті запитання, у які з нього можна перейти звичайним для логічних мереж способом);
- ознака "зупинки" запитання в логічних мережах, тобто ситуація, коли запитання вже було поставлено;
- ознака, що визначає, чи є запитання унікальним для певної мережі;
- ознака, що визначає, яке або які наступні запитання можуть бути викликані цим запитанням, тобто яким запитанням може бути передане керування.

Наведемо приклад створення логічної мережі адаптивного тестування.

Запитання мають відповідати таким положенням:

- забезпечити приймання керування від попереднього запитання з отриманням поточного протоколу опитування;

- забезпечити видачу тестового завдання і варіантів відповідей до них;

- забезпечити початок відліку власного часу в момент видачі завдання;

- підтримувати логічну функцію, що визначає зниження рівня складності, у разі виходу за межі часу, встановленого для відповіді на конкретне запитання та/або прийняти (за певних умов) для цього запитання рішення про правильні / неправильні відповіді;

- передати протокол опитування наступному запитанню і контролерові мережі запитань;

- передати ознаки, що визначають стан запитання контролерові мережі запитань;

- перевірити роботу запитання (передбачається передача керування контролерові мережі та/або наступному запитанню).

На рис. 5 зображений фрагмент побудованої мережі запитань (основне запитання з додатковими).

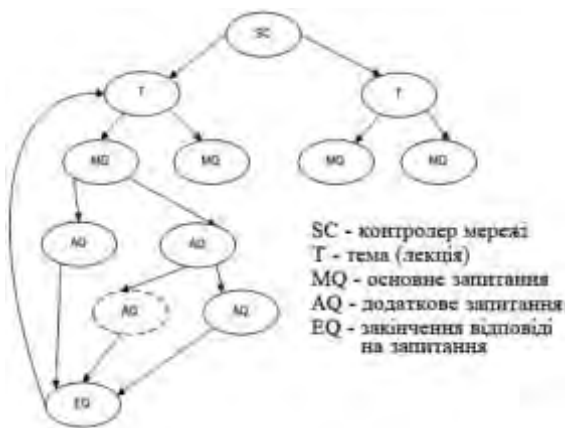


Рис. 5. Фрагмент мережі запитань

Використання логічних мереж на основі алгебри скінченних предикатів та предикатних операцій припускає наявність моделі системи як абстракції, що має сукупність станів  $S = \{S_1, \dots, S_n\}$ . Ці стани є взаємовиключними й перехід з одного стану в інший здійснюється різними для мережі шляхами через появу події, що є загалом предикатом подій. Необхідно, щоб кожний стан системи  $S_i$  мав як мінімум один вхід і один вихід, тобто так звані

"глухі" або кінцеві стани відсутні. Фактично будь-який стан системи може бути обраний як початковий.

Останній метод перевіряє предикат, чи сформувалася множина такої ознаки, як складність запитань для всієї групи суб'єктів навчання й одночасно чи сформувалася множина предикатів розподілу відповідей залежно від їх складності для конкретного суб'єкта тестування. Також збільшення складності алгоритму тестування не спричинить суттєве збільшення витрат ресурсів.

## Висновки

Ідея адаптивного тестування, основана на блоках запитань, має безпосереднє відношення до одного із найбільш поширених форматів багатоступінчастого тестування, за умови якого суб'єкт навчання проходить послідовність тестів, рухаючись у бік більш складних запитань, даючи успішні відповіді, або до більш простих, якщо його відповіді не правильні. У цьому разі перехід від запитання до запитання відбувається за певними правилами, що описані алгебро-логічними рівняннями. Автоматизація в практиці тестування також уможливує статистичне оцінювання знань на кожному кроці тестування.

Виявлено низку обмежень логічного характеру, що визначають як перехід зі стану в стан, вилучення станів, так і обмеження кількості переходів (тестування не може проводитися нескінченно й запитання не мають повторюватися). Однак у разі незначної різниці між зазначеними передбачуваними й дійсними властивостями групи студентів застосування зазначеної методики має позитивний результат. Із цього можна зробити висновок, що впровадження запропонованого методу є ефективним для будь-яких обсягів та інших властивостей, що визначають тестування як процес.

Використання кон'юнктивної декомпозиції з бінарними предикатами дає змогу досягти мети дослідження, оскільки таким способом будь-який багатомісний предикат  $P(x_1, x_2, \dots, x_m)$  можна подати логічною мережею. Долучення в кон'юнкцію, крім бінарних, унарних предикатів жодної користі не приносить, тому робити так немає необхідності. Можна будувати мережі, використовуючи кон'юнктивну декомпозицію предиката  $P$  на предикати  $P_1, P_2, \dots, P_m$  більшого числа їх істотних аргументів, але з інженерного погляду це нераціонально, оскільки

складність такої мережі (та її вартість і швидкодія) стрімко зростає зі збільшенням бінарності предикатів  $P_1, P_2, \dots, P_m$ . Отже, логічно приходимо до мереж з бінарними предикатами. Збільшення складності алгоритму тестування не призведе до суттєвих витрат ресурсів ПК.

Очікуваний результат щодо впровадження розроблених моделей логічних мереж моделювання наборів тестових завдань відповідно до параметричної моделі тестування досягнутий за умови апроксимації предикатної функції успіху, що припускає визначення уточнених значень дискримінаторів завдань способом розв'язання завдання оптимізації із використанням відомих алгоритмів. Це пов'язане насамперед з тим, що застосований метод опису тестових завдань є універсальними, а вирішення проблеми потребує

додаткового дослідження, метою якого є часткове заміщення цих алгоритмів операційними методами, що використовують як властивість поставленого завдання тестування, так і іншу апріорну інформацію.

Різниця в рівнях складності основних і додаткових запитань і запропонований зв'язок між основними запитаннями й гілками додаткових запитань дає змогу в процесі тестування мінімізувати кількість необхідних відповідей суб'єкта навчання для визначення рівня його знань і водночас суттєво поліпшити адаптаційні властивості тестування.

Застосування методів побудови логічних мереж для реалізації етапу перевірки знань у системах адаптивного навчання є ефективним для будь-яких обсягів та інших властивостей, що визначають тестування як процес.

### Список літератури

1. Шубін І., Пітюкова М. Логічні мережі та їх використання для вирішення морфологічних завдань. Матеріали III Міжнародної конференції "Інноваційні технології в науці та освіті". Амстердам, Нідерланди, 2019. С. 402–405. URL: <http://dspace.opu.ua/jspui/bitstream/123456789/10382/1/%D0%86%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B2-%D0%A2%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%97-2019-%D0%90%D0%BC%D1%81%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B4%D0%B0%D0%BC-%D0%9B%D0%BE%D0%B7%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B0-%D0%9F%D1%94%D1%82%D1%83%D1%88%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B0-%D0%94%D1%80%D1%83%D0%BA%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%82%D1%8F.pdf>
2. Backer, P., Siemens G. Educational data mining and learning analytics. The Cambridge handbook of the learning sciences, 2019. 274 p. DOI:10.1017/CBO9781139519526.016
3. Fourier J. Un modele d'indexation relationnel pour les graphes conceptuels fondee sur une interpretation logique, Phd thesis Universitee. Grenoble, 1998. 302 p. URL: [https://www.academia.edu/2686445/Un\\_mod%C3%A8le\\_dindexation\\_relationnel\\_pour\\_les\\_graphes\\_conceptuels\\_fond%C3%A9\\_sur\\_une\\_interpr%C3%A9tation\\_logique](https://www.academia.edu/2686445/Un_mod%C3%A8le_dindexation_relationnel_pour_les_graphes_conceptuels_fond%C3%A9_sur_une_interpr%C3%A9tation_logique)
4. Gruzdo I., Kyrychenko I., Tereshchenko G., Shanidze O. Analysis of Models Usability Methods Used on Design Stage to Increase Site Optimization, Proceedings of the 7th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems. (COLINS), Volume III: Intelligent Systems Workshop, 2023. In CEUR Workshop Proceedings, Vol. 3403, P. 387-4093. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3403/paper31.pdf>
5. Shubin I. Development of conjunctive decomposition tools. CEUR Workshop Proceedings, 2021. P. 890–900. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-2870/>
6. Karataiev O., Sitnikov D., Sharonova N. A Method for Investigating Links between Discrete Data Features in Knowledge Bases in the Form of Predicate Equations, CEUR Workshop Proceedings. 2023. P. 224–235. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3387/paper17.pdf>
7. Тест як інструмент педагогічного моніторингу. URL: <http://opentest.com.ua/test-kak-instrument-izmereniya-urovnyaznaniy> (дата звернення: 20.11.2023.)
8. MyTestXPro – Система програм для створення та проведення комп'ютерного тестування, збору та аналізу їх результату, URL: <http://mytest.net> (дата звернення: 28.11.2023.)
9. Комп'ютерна програма тестування OpenTEST2. URL: <http://opentest.com.ua/kompyuternaya-programma-testirovaniyaznaniy-opentest-2> (дата звернення: 21.11.2023.)
10. Конструктор тестів Keepsoft. URL: <http://www.keepsoft.ru/simulator.htm> (дата звернення: 20.11.2023.)
11. Безкоштовна програма для тестування знань та онлайн-підготовки. URL: <http://xtls.org.ua/test.html> (дата звернення: 20.11.2023.)
12. Sharonova N. et al. Issues of Fact-based Information Analysis. International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems. 2018. 178 p. URL: [http://web.kpi.kharkov.ua/iks/wp-content/uploads/sites/113/2021/10/preface\\_colins\\_volume2\\_2018.pdf](http://web.kpi.kharkov.ua/iks/wp-content/uploads/sites/113/2021/10/preface_colins_volume2_2018.pdf)
13. Williams P. E-learning: what the literature tells us about distance education. *An overview. Aslib Proceedings*. Vol. 57. 2005. P 109–122. DOI: <https://doi.org/10.1108/00012530510589083>
14. Omran P. G., Wang K., Wang Z. An Embedding-based Approach to Rule Learning in Knowledge Graphs, *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*. Vol. 33(4). 2021. P. 1348–1359. DOI: 10.1109/TKDE.2019.2941685

15. Pellissier-Tanon T., Weikum G., Suchanek F. F. YAGO 4: A Reasonable Knowledge Base, *17th International Conference, ESWC 2020*, Heraklion, Crete, Greece, May 31–June 4. 2020, P. 583–596. DOI:10.1007/978-3-030-49461-2\_34
16. Kyrychenko I., Malikin D. Research of Methods for Practical Educational Tasks Generation Based on Various Difficulty Levels, *6th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems (COLINS-2022)*, May 12–13, 2022, Gliwice, Poland. CEUR Workshop Proceedings 3171, Volume I: Main, 2022. P. 1030–1042. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3171/paper74.pdf>
17. Omran P. G., Wang Z., Wang K. Scalable rule learning via learning representation, *Twenty-Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence. IJCAI-18*. 2018. P. 2149–2155. DOI:10.24963/ijcai.2018/297
18. Svato M., Schockaert S., Davis J. STRiKE: Rule-Driven Relational Learning Using Stratified k-Entailment, in: *ECAI, 2020*. URL: <https://ida.fel.cvut.cz/~kuzelka/pubs/ecai2020.pdf>
19. Sharonova N., Gruzdo I., Tereshchenko G. Generalized Semantic Analysis Algorithm of Natural Language Texts for Various Functional Style Types. *6th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems (COLINS-2022)*, May 12–13, 2022, Gliwice, Poland. CEUR Workshop Proceedings 3171, Volume I: Main, P. 16–26. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3171/paper4.pdf>
20. Barkovska, O. Research into Speech-to-text Transformation Module in the Proposed Model of a Speaker's Automatic Speech Annotation. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries. № 4 (22)*. 2022. P. 5–13. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2022.22.005>

## References

1. Shubin, I., Pitiukova, M. "Logichni mezhy ta jih vykorystannja dl'a vyrishennia morfologichnyh zavdan. Materials of the 3rd International Conference Innovative Technologies in Science and Education. Amsterdam, the Netherlands", 2019. P. 402–405. available at: <http://dspace.opu.ua/jspui/bitstream/123456789/10382/1/%D0%86%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B2-%D0%A2%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%97-2019-%D0%90%D0%BC%D1%81%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B4%D0%B0%D0%BC-%D0%9B%D0%BE%D0%B7%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B0-%D0%9F%D1%94%D1%82%D1%83%D1%88%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B0-%D0%94%D1%80%D1%83%D0%BA%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%82%D1%8F.pdf>
2. Backer, P., Siemens, G. (2019), "Educational data mining and learning analytics". *The Cambridge handbook of the learning sciences*, 274 p. DOI:10.1017/CBO9781139519526.016
3. Fourier, J. (1998), "Un modele d'indexation relationnel pour les graphes conceptuels fondee sur une interpretation logique", *Phd thesis Universitee. Grenoble*, 302 p. available at: [https://www.academia.edu/2686445/Un\\_mod%C3%A8le\\_dindexation\\_relationnel\\_pour\\_les\\_graphes\\_conceptuels\\_fond%C3%A9\\_sur\\_une\\_interpr%C3%A9tation\\_logique](https://www.academia.edu/2686445/Un_mod%C3%A8le_dindexation_relationnel_pour_les_graphes_conceptuels_fond%C3%A9_sur_une_interpr%C3%A9tation_logique)
4. Gruzdo, I., Kyrychenko, I., Tereshchenko, G., Shanidze, O. "Analysis of Models Usability Methods Used on Design Stage to Increase Site Optimization", *Proceedings of the 7th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems. (COLINS)*, Volume III: Intelligent Systems Workshop, 2023. In CEUR Workshop Proceedings, Vol. 3403, P. 387–4093. available at: <https://ceur-ws.org/Vol-3403/paper31.pdf>
5. Shubin, I. "Development of conjunctive decomposition tools". CEUR Workshop Proceedings, 2021. P. 890–900. available at: <https://ceur-ws.org/Vol-2870/>
6. Karataiev, O., Sitnikov, D., Sharonova, N. "A Method for Investigating Links between Discrete Data Features in Knowledge Bases in the Form of Predicate Equations", CEUR Workshop Proceedings, 2023, P. 224–235. available at: <https://ceur-ws.org/Vol-3387/paper17.pdf>
7. "The test as a tool of pedagogical monitoring" ["Test yak instrument pedahohichnoho monitorynhu"] available at: <http://opentest.com.ua/test-kak-instrument-izmereniya-urovnya-znaniy> (last accessed 20.11.2023.)
8. "MyTestXPro – System of programs for creating and conducting computer testing, collecting and analyzing their results". ["Systema prohram dlia stvorennia ta provedennia kompiuternoho testuvannia, zboru ta analizu yikh rezultativ"] available at: <http://mytest.net> (last accessed 28.11.2023.)
9. "Computer testing program OpenTEST2" ["Kompiuterna prohrama testuvannia OpenTEST2"]. available at: <http://opentest.com.ua/kompyuternaya-programma-testirovaniya-znaniy-opentest-2> (last accessed 21.11.2023.)
10. "Test designer Keepsoft". ["Konstruktor testiv Keepsoft"]. available at: <http://www.keepsoft.ru/simulator.htm> (last accessed 20.11.2023.)
11. "Free program for knowledge testing and online preparation". ["Bezkoshtovna prohrama dlia testuvannia znan ta onlain pidhotovky"]. available at: <http://xtls.org.ua/test.html> (last accessed 20.11.2023.)
12. Sharonova, N. et al. "Issues of Fact-based Information Analysis". *International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems*. 2018. 178 p. available at: [http://web.kpi.kharkov.ua/iks/wp-content/uploads/sites/113/2021/10/preface\\_colins\\_volume2\\_2018.pdf](http://web.kpi.kharkov.ua/iks/wp-content/uploads/sites/113/2021/10/preface_colins_volume2_2018.pdf)
13. Williams, P. (2005), "E-learning: what the literature tells us about distance education". *An overview. Aslib Proceedings*. Vol. 57. P 109–122. DOI: <https://doi.org/10.1108/00012530510589083>
14. Omran, P. G., Wang, K., Wang, Z. (2021), "An Embedding-based Approach to Rule Learning in Knowledge Graphs", *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*. Vol. 33(4). P. 1348–1359. DOI: 10.1109/TKDE.2019.2941685

15. Pellissier-Tanon, T., Weikum, G., Suchanek, F. (2020), "F. YAGO 4: A Reasonable Knowledge Base", *17th International Conference, ESWC 2020*, Heraklion, Crete, Greece, May 31–June 4. P. 583-596. DOI:10.1007/978-3-030-49461-2\_34
16. Kyrychenko, I., Malikin, D. "Research of Methods for Practical Educational Tasks Generation Based on Various Difficulty Levels" 6th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems (COLINS-2022), May 12–13, 2022, Gliwice, Poland. CEUR Workshop Proceedings 3171, Volume I: Main, 2022. P. 1030–1042. available at: <https://ceur-ws.org/Vol-3171/paper74.pdf>
17. Omran, P. G., Wang, Z., Wang, K. (2018), "Scalable rule learning via learning representation", *Twenty-Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence. IJCAI-18*. P. 2149–2155. DOI: 10.24963/ijcai.2018/297
18. Svato, M., Schockaert, S., Davis, J. "STRiKE: Rule-Driven Relational Learning Using Stratified k-Entailment", in: ECAI, 2020. available at: <https://ida.fel.cvut.cz/~kuzelka/pubs/ecai2020.pdf>
19. Sharonova, N., Gruzdo, I., Tereshchenko, G. "Generalized Semantic Analysis Algorithm of Natural Language Texts for Various Functional Style Types". 6th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems (COLINS-2022), May 12–13, 2022, Gliwice, Poland. CEUR Workshop Proceedings 3171, Volume I: Main, 2022. P. 16–26. available at: <https://ceur-ws.org/Vol-3171/paper4.pdf>
20. Barkovska, O. (2022), "Research into Speech-to-text Transformation Module in the Proposed Model of a Speaker's Automatic Speech Annotation". *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*. № 4 (22). P. 5–13. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2022.22.005>

Надійшла 07.12.2023

*Відомості про авторів / About the Authors*

**Ляшик Володимир Андрійович** – Харківський національний університет радіоелектроніки, аспірант кафедри програмної інженерії, Харків, Україна; e-mail: [volodymyr.liashyk@nure.ua](mailto:volodymyr.liashyk@nure.ua); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7326-0813>

**Шубін Ігор Юрійович** – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, професор кафедри програмної інженерії, Харків, Україна; e-mail: [igor.shubin@nure.ua](mailto:igor.shubin@nure.ua); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1073-023X>

**Liashyk Volodymyr** – Kharkiv National University of Radio Electronics, Postgraduate, Kharkiv, Ukraine.

**Shubin Ihor** – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Professor at the Department of Software, Kharkiv, Ukraine.

## METHOD OF LOGIC NETWORKS FOR MODELING SYSTEMS OF ADAPTIVE KNOWLEDGE TESTING

**The subject** of the research is the development of mathematical and algorithmic support of the intellectual toolkit for the analysis of sets of test tasks and the modeling of the process of interpreting the quality of sets of test tasks, which allows for objective and comprehensive continuous control of the knowledge of subjects of training, subject to the implementation of the concept of virtual distributed training (retraining). **The purpose** of the research is to improve the effectiveness of monitoring the knowledge of subjects of education in the distance form of education through the use of adaptive computer testing methods based on models of logical networks and the algebra of finite predicates. The following **tasks** are solved in the article: the formation of a testing model in a distributed virtual learning environment and a model of validity assessment based on the content of sets of test tasks. The following **methods** are used: methods of logical networks and algebraic programming based on the algebra of finite predicates and predicate operations, intellectual analysis of information. The following **results** were obtained: the principles of intellectual analysis were formulated in the development of a model of a universal logical network and its application to actual tasks of artificial intelligence in the field of informal information processing, namely, in the construction of knowledge testing systems for distributed virtual learning. **Conclusions.** Algorithms for optimal multi-stage adaptive testing of knowledge as part of distributed virtual learning models and methods for analyzing the success of training subjects have been improved. The use of conjunctive decomposition with binary predicates achieves the goal of the research, because in this way any multi-place predicate can be represented by a logical network simulating the process of knowledge testing, the model of the subject of learning is described.

**Keywords:** software engineering; knowledge bases; algebra of finite predicates; logical networks; logical rules; reliability of tests; use of knowledge; model of the learning subject.

*Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions*

Ляшик В. А., Шубін І. Ю. Метод логічних мереж для моделювання систем адаптивного тестування знань. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2023. № 4 (26). С. 45–57. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2023.26.045>

Liashyk, V., Shubin, I. (2023), "The Method Of Logical Networks For Modeling Adaptive Knowledge Testing Systems", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (26), P. 45–57. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2023.26.045>