

УДК 004.89:37.018.43

DOI: 10.31866/2617-796X.6.2.2023.293594

Костянтин Ткаченко,*доцент, кандидат економічних наук,**доцент кафедри інформаційних технологій,**Державний університет інфраструктури та технологій,**Київ, Україна**tkachenko.kostyantyn@gmail.com**https://orcid.org/0000-0003-0549-3396*

ВИКОРИСТАННЯ ДЕСКРИПТИВНИХ ЛОГІК В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ НАВЧАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

Мета статті полягає в дослідженні та вирішенні проблем використання базових принципів сучасного формалізму дескриптивних (термінологічних) логік в інтелектуальних навчальних системах, що використовують бази знань навчального контенту.

Методами дослідження є основні методологічні підходи й технологічні засоби для розробки інтелектуальних навчальних систем. Зокрема, системний і порівняльний аналізи – для виявлення особливостей інтелектуальних навчальних систем, метод експертних оцінок, який передбачає аналіз літературних джерел та інформаційних ресурсів, проведення інтерв'ю та опитування експертів з інформаційно-технологічної галузі та математичної логіки, а також процес розробки й тестування інтелектуальної системи.

Науковою новизною проведеного дослідження є розробка системи отримання експертних знань для інтелектуальної системи, що поєднує в собі формування бази експертних знань, формалізмом для представлення яких є дескриптивні логіки. Запропонований підхід формалізованого представлення знань з використанням дескриптивних логік можна застосовувати під час розробки авторських інтелектуальних навчальних систем у сфері онлайн-освіти та розвитку когнітивних навичок.

Висновки. Сфери застосування дескриптивних логік в інтелектуальних системах постійно розширюються, збільшуючи можливості цих систем щодо формалізованого виведення нових знань, у тому числі й в умовах неповної визначеності.

Дескриптивна логіка, яку використовують в інтелектуальних навчальних системах, надає широкі можливості побудови висновку (тобто формування відповіді), зокрема в таких ситуаціях, як формування та надання відповіді на різні види запитів до бази знань системи (наприклад, повністю визначений і чітко сформульований, неповністю визначений і нечітко сформульований, повністю невизначений, неповністю визначений і чітко сформульований, повністю нечітко сформульований, повністю невизначений і нечітко сформульований), допомагаючи конкретизувати запит. Для цього необхідно строго сформулювати відповідну систему числення (побудувати аксіоматичну теорію). Отже, як засіб вирішення семантичних та логічних завдань дескриптивна логіка стала унікальним і важливим механізмом представлення знань.

Успішне використання дескриптивної логіки в авторській інтелектуальній навчальній системі забезпечить підвищення якості освітнього процесу; моніторинг процесу навчан-

ня та контроль його результатів; сприятиме інтеграції цієї системи до багатьох сучасних інформаційних навчальних систем; забезпечить надання різноманітних консультацій, порад, тлумачень, пояснень щодо навчального контенту чи освітнього процесу, а також широкого спектра тем навчального контенту й тестів різного рівня.

Ключові слова: інтелектуальна система; інтелектуальна навчальна система; знання; база знань; дескриптивні логіки; виведення знань; навчальний контент.

Вступ. На сьогодні великий інтерес викликає використання програмних комплексів під час вирішення проблем у слабо формалізованих предметних областях (ПрО). Слабо формалізованими часто є моделі, що відповідають надскладним багатофакторним і багатозв'язковим проблемам. До останніх можна зарахувати більшість завдань, що стосуються, зокрема, процесів навчання.

В інтелектуальних системах взагалі (інтелектуальних навчальних системах зокрема) вирішення проблем представлення та отримання знань зазвичай спирається на методи опису знань високого рівня з використанням різноманітних моделей (наприклад, семантичних мереж (Martin, 2019; Pshtiwan, 2015), фреймових моделей (Pshtiwan, 2015), нейромереж (Artificial Neural Network Tutorial, n.d.), онтологій (Olha Tkachenko, Kostiantyn Tkachenko and Oleksandr Tkachenko, 2022) і т.д.), які доповнюються спеціальними, часто евристичними процедурами для роботи зі знаннями. Зараз у цій сфері (інтелектуальних навчальних системах) широко використовують дескриптивні логіки (Bechhofer and Globe, 1997).

Вищезгадані формалізми описують знання про ПрО, попередньо фіксуючи деякі базові її поняття (термінологію), а потім використовуючи ці поняття для точного опису властивостей і зв'язків відповідних об'єктів (Baader and Nutt, 2007).

В інженерії знань став досить поширеним формалізм представлення знань, який називається дескриптивною логікою (Bechhofer and Globe, 1997). Цей формалізм широко застосовується під час побудови інтелектуальних систем, що базуються на знаннях, наприклад:

- для інтернет-застосунків;
- інтелектуальних (найчастіше експертних) систем у медицині;
- під час розв'язання завдань конфігурування обладнання;
- для побудови електронних бібліотек.

Найбільший інтерес становлять інтелектуальні навчальні системи, що імітують роботу викладача високого рівня компетентності (Basic Principles of Multimedia Learning, 2014).

У дослідженні про дескриптивні логіки (Nardi and Brachman, 2007) зазначено, що дескриптивні логіки є підмножиною логік 1-го порядку. Проте дескриптивні логіки пов'язані з обчисленням предикатів лише синтаксично (через використання предикатних форм). Використання унарних і бінарних (рольових) предикатів наблизило дескриптивні логіки до типізованих модальних мов пропозиційного рівня, якщо розглядати ролі як реалізацію відношення досяжності (Rodrigues, 2023).

Є досить багато розвинених логік і застосунків (Abacus.AI, 2019; Minker, 2000), орієнтованих, зокрема, на комфортність роботи із запитамі й отриманими відповідями.

Дескриптивні логіки ґрунтуються на поширеному інтуїтивно зрозумілому представленні про навколишній світ, як про множину об'єктів, пов'язаних між собою відношеннями й об'єднаних у класи. Відповідні дескриптивні мови є інструментом опису та управління такими класами.

Дескриптивні логіки, що є підмножиною модальних логік 1-го порядку, дають більш потужні та зручні засоби представлення знань про аналізовану ПрО (домен). Обговорюючи дескриптивні логіки, слід зазначити, що, крім так званих «класичних» дескриптивних логік, є різні їх модифікації: багатозначні, імовірнісні, тимчасові тощо.

Ефективно використовують дескриптивні логіки в разі:

- коли користувачі не дуже добре обізнані з контентом (вмістом) чи структурою даних;
- коли користувачі не зовсім упевнені в тому, який запит сформулювати;
- застосування в DataMining під час пошуку цікавих послідовностей і залежностей у великих обсягах даних, накопичених в інших цілях (Abacus.AI, 2019);
- необхідності побудови ієрархії запитів, за допомогою якої можна:
 - визначити неприпустимі запити, для яких зі схеми бази знань неможливо передбачити їхнє неправильне формулювання (Minker, 2000);
 - узагальнювати запит, оскільки досить часто так звана «порожня» відповідь є незадовільною навіть для правильно сформульованого запиту (у таких ситуаціях запит узагальнюється доти, доки у відповіді не буде отримано непусте значення);
 - оптимізувати запити на основі семантики даних (Meyer, 2009) (більшість робіт з оптимізації запитів до бази даних, як правило, концентрується на оптимізації алгебраїчного подання запиту та фізичному доступі до інформації).

Дескриптивні логіки сприяють, зокрема, вирішенню таких проблем, як:

- побудова відношень класифікації між запитом і так званими проєкціями (простими запитом з відповіддю, що зберігається), скорочуючи поле пошуку і, відповідно, час виконання запитів;
 - виконання величезної кількості запитів (наприклад, в областях дослідження даних), що здійснює група користувачів протягом досить тривалого часу;
 - можливість коментувати (з боку авторів) запити й відповіді на них;
 - скорочення загального навантаження на сервер даних та узгодження роботи колективу з кількох осіб (за допомогою побудови ієрархії з таких запитів) (Abacus.AI, 2019).

Усе вищесказане свідчить про те, що актуальність проблеми розробки методології використання дескриптивних логік в інтелектуальних системах, інформаційних системах з елементами інтелектуалізації (зокрема, в інтелектуальних навчальних системах) не викликає сумнівів.

Мета роботи полягає у дослідженні та вирішенні проблем використання базових принципів сучасного формалізму дескриптивних (термінологічних) логік в інтелектуальних навчальних системах, що використовують бази знань навчального контенту.

Одним з важливих складників інтелектуальних систем є механізм логічного виведення, тому розробці ефективних алгоритмів і процедур виведення, а також

зв'язаним з ними методам представлення знань мають приділяти особливу увагу у сфері когнітивних технологій.

Дескриптивні логіки, що використовуються в інтелектуальних навчальних системах, мають забезпечувати підтримку, зокрема:

- методів роботи зі складними концептами інтелектуальних систем та їх баз знань;
- техніки міркувань щодо властивостей цих концептів і виведення нових знань на них;
- можливості побудови компоненти пояснень відповідної інтелектуальної навчальної системи.

Результати дослідження. Розглянемо дескриптивні логіки як спеціалізовані мови, що підтримують композицію як мінімум двох видів термів (Rodrigues, 2023):

- концептів (класів – елементів домену);
- ролей (бінарних відносин на домені).

Концепт може бути комбінацією визначених раніше концептів і ролей, яка будується з використанням одного з конструкторів дескриптивної мови, що дає змогу моделювати більш складні об'єкти аналізованої Про (Brachman and Levesque, 2004).

Нижче наведено приклад типового композиційного опису з використанням CLASSIC (CLASSification of Individuals and Concepts) (Rodrigues, 2023; Brachman and Levesque, 2004)

(and COURSE, (at-most 15 students), (all students GROUP)) (1)

Сенс його можна сформулювати так: «Курси з не більш ніж 15 студентами, всі з яких належать класу GROUP». Дескриптивні логіки дають змогу розширювати набір стандартних конструкторів (кон'юнкції, заперечення, квантора загальності тощо), забезпечуючи таким чином лаконічний опис Про.

У табл. 1 представлено практично вичерпний набір конструкторів, що не залежать від конкретного застосування. Тут C та D позначають концепти, p і q – ролі, b_i – об'єкти (Nardi and Brachman, 2007; Brachman and Levesque, 2004).

Семантика конструкторів визначається через поняття інтерпретації. Інтерпретація I складається з домену Δ_I та інтерпретує функції (відображення) V_i . Відображення V зіставляє кожному концепту підмножину Δ_I і кожній ролі – «бінарне ставлення до Δ_I . Об'єкти відображаються в єдиному елементі Δ_I .

Важливою особливістю дескриптивних логік є здатність будувати ієрархії на концептах. Концепт C є підкласом концепту D ($C \Rightarrow D$), якщо за будь-якої інтерпретації I , $C_I \subseteq D_I$ (наприклад, концепт з (1)) є підкласом концепту:

and COURSE, (at-most 12 students).

Аналогічно, концепти C і D незв'язні, якщо за будь-якої інтерпретації I , $C_I \cap D_I = \emptyset$ (наприклад, концепт із формули (1) та

and COURSE, (at-least 15 students)).

C узгоджено, якщо є хоча б одна інтерпретація I , така, що $C_I \neq \emptyset$.

Розглянемо використання дескриптивних логік під час роботи з базами знань для опису даних і запитів на прикладі, наведеному у формулі (1). Спочатку визна-

чимо схему бази знань, включаючи деякі примітивні класи PERSONS, UNIVERSITY, STUDENT, SUBJECT, SCIENCE та полі has-subject, teaches, taughtBy, age та students.

Таблиця 1

Конструктори та їх описи

Конструктор	Опис
TOP-CONCEPT	Δ_1
NOTHING	\emptyset
TOP-ROLE	$\Delta_1 \times \Delta_1$
IDENTITY	$\{(d, d) \mid d \in \Delta_1\}$
and [C, D]	$C_1 \cap D_1$
or [C, D]	$C_1 \cup D_1$
not [C]	$\Delta_1 \setminus C_1$
all [p,C]	$\{d \in \Delta_1 \mid p_1(d) \subseteq C_1\}$
some [p,C]	$\{d \in \Delta_1 \mid p_1(d) \cap C_1 \neq \emptyset\}$
at-least [n,p]	$\{d \in \Delta_1 \mid p_1(d) \geq n\}$
at-most [n,p]	$\{d \in \Delta_1 \mid p_1(d) \leq n\}$
at-least-c [n,p,C]	$\{d \in \Delta_1 \mid p_1(d) \cap C_1 \geq n\}$
at-most-c [n,p,C]	$\{d \in \Delta_1 \mid p_1(d) \cap C_1 \leq n\}$
same-as [p,q]	$\{d \in \Delta_1 \mid p_1(d) = q_1(d)\}$
subset [p,q]	$\{d \in \Delta_1 \mid p_1(d) \subseteq q_1(d)\}$
not-same-as [p,q]	$\{d \in \Delta_1 \mid p_1(d) \neq q_1(d)\}$
fills [p,b]	$\{d \in \text{dom}_1 \mid b_1 \in p_1(d)\}$
not-fills [p,b]	$\{d \in \text{dom}_1 \mid b_1 \notin p_1(d)\}$
one-of [b_1, \dots, b_m]	b_1, \dots, b_m
role-and [p,q]	$p_1 \cap q_1$
role-or [p,q]	$p_1 \cup q_1$
role-not [p]	$\Delta_1 \times \Delta_1 \setminus R_1$
inverse [p]	$\{(d, d') \mid (d, d') \in R_1\}$
restrict [p,C]	$\{(d, d') \in p_1 \mid d' \in C_1\}$
compose [p,q]	$p_1 \circ q_1$
product [C,D]	$C_1 \times D_1$
trans [p]	$\bigcup_{n \geq 1} (p_1)^n$

Для введення нового об'єкта, наприклад «Курс з дисципліни “Software Engineering Fundamentals” (“Основи програмної інженерії”)», що має ідентифікацію в базі знань інтелектуальної навчальної системи Crs021, потрібно виконати таку операцію:

```
Crs021: = CREATE-IND().
```

Інформація про такі об'єкти зберігається в базі знань за допомогою зазначення:

- класу, до якого вони належать (Crs021 є екземпляр COURSE);
- їх зв'язків через ролі («Об'єкт Crs021 teaches (викладає) Ivanchuk (Іванчук) and (та) Stepanchuk (Степанчук) studies (вивчає) об'єкт Crs021»).

Для цих цілей використовуються оператори **insert-in** та **fill-with**, які застосовуються таким чином:

```
insert-in(Crs021,COURSE);
```

```
fill-with(Crs021,taughtBy, Ivanchuk);
```

```
fill-with(Crs021,students, Stepanchuk).
```

Запит до інформації інтелектуальної навчальної системи, заснованої на дескриптивних логіках, є описом, що характеризує множину об'єктів. Наприклад, якщо потрібно отримати інформацію про «всі курси з не менш ніж 10 студентами, на яких викладають викладачі з факультету управління та технологій», запит має бути таким:

```
and (COURSE, at-least (10, students), all (taughtBy,
all (in-dept, Management and technology))).
```

Конструктор **fills** використовують для визначень подібно **fills**(age,24), щоб описати клас об'єктів, які серед зв'язків із роллю age мають значення 24. Використовуючи його, можна представити операцію

```
fill-with (Crs021, students, Petruk) як
```

```
insert-in (Crs021, fills (students, Petruk)).
```

Переформулювавши оператори мови системи управління базами знань на обмеження в описі об'єкта, можемо отримати, зокрема:

```
insert-in (New-crs, (2)
```

```
and (COURSE,
```

```
at-least (25, students), fills (subject, Software Engineering Fundamentals),
```

```
all (taughtBy, fills (department, Management and technology))).
```

Такі конструкції дають змогу обробляти неповну інформацію про об'єкти. Наприклад, з формули (2) невідомо, хто викладає дисципліну «Software Engineering Fundamentals» («Основи програмної інженерії»), але деяка інформація все ж таки є (зокрема, значення атрибута department у цій формулі дорівнює «Management and technology» («Управління та технології»). Ця інформація може використовуватися для формування відповіді на запити типу «Знайти всі дисципліни, які викладає професорсько-викладацький склад факультету управління та технологій»; може бути повернене значення New-crs, якщо від запиту відбувається успадкування опису об'єкта.

Використання дескриптивних логік в інтелектуальних навчальних системах дає змогу працювати з неповною інформацією завдяки, зокрема:

– поданню інформації з необмеженою кількістю «pull»-значень (наприклад, «щось, що має не менше 15 зв'язків за роллю»); коректно відповідати на запити щодо них;

– можливості надавати відповідь на запит за поліноміальний час (у деяких випадках у разі обмежень, що стосуються вигляду запиту).

Зазвичай на запит «Хто викладає New-crs?» або «Скільки років Петруку?» відповіддю є список значень.

У дескриптивних логіках можна асоціювати опис з об'єктом, тому з'являється можливість давати описові відповіді в термінах, якими об'єкт був описаний у базі знань або які були результатом дедуктивного висновку.

Тому для сформульованих вище питань можна отримати відповідь:

and(FACULTY, **fills**(department, Management and technology)) або **rang** (19,25).

Застосування такої можливості є доцільним, коли:

– інформація неповна;

– відповідь не має бути представлена у вигляді списку, великого за розміром.

Доцільно в таких ситуаціях давати абстрактні відповіді: щодо дескриптивних логік такою відповіддю є генерування найменшого загального надкласу, що описує загальні властивості знайдених об'єктів. Нижче для двох описів (*a*) представлено:

– їхній найбільший загальний підклас (*b*);

– найменший загальний надклас (*c*);

– пов'язане доповнення між (*c*) і першим описом з (*a*) (тут справедливим є таке твердження: для двох описів *B* і *C*, таких, що $B \Rightarrow C$, пов'язаним доповненням називається такий максимальний опис *D*, що **and** (*C*, *D*) \equiv *B*).

and(COURSE, **at-most**(25,students),

all(taughtBy, **one-off**(Gauss,Euclid)))

and(COURSE, prim(FUNNY-EVENT), **at-most**(20,students),

all(taughtBy, **one-off**(Gauss,Plank)))

a) два описи

and(COURSE, FUNNY-EVENT, **at-most**(20,students),

all(taughtBy, **one-off**(Gauss)));

б) перетин двох описів з а)

and(COURSE, **at-most**(25,takers),

all(taughtBy, **one-off**(Gauss,Euclid,Plank)));

в) об'єднання двох описів з а)

all(taughtBy, **one-off**(Gauss,Euclid,Plank)).

Інтенціональні відповіді на запити, що показують якими властивостями мав би володіти об'єкт, щоб задовольняти запит, використовуються в тому разі, коли:

– схема бази знань дуже велика;

– користувач, незнайомий з семантикою бази знань, знаходить своє застосування.

Наприклад, під час додавання нового члена до групи студентів, які працюють спільно над одним дуже великим навчальним (або науковим, або конкурсним)

проектом, що містить множину обмежень на дані та знання, інтенціональні відповіді допомагають йому швидко розібратися в проблематиці проекту, методах його розробки, схемі (структурі) бази знань.

Дескриптивні логіки дають змогу описувати конфігурацію складних (багатокомпонентних) елементів системи, що взаємодіють. В інтелектуальних навчальних системах такими елементами можуть бути, зокрема:

- підсистема тестування знань студентів;
- підсистема моніторингу знань студентів;
- підсистема аутентифікації користувачів;
- підсистема надання навчального контенту;
- підсистема візуалізації інформації;
- підсистема моделей і методів навчання (індивідуалізації навчання).

Особливостями дескриптивних логік, що відрізняють їх від інших формалізмів (наприклад, від семантичних мереж і фреймів), є, зокрема, такі:

- ці логіки є суворими теоріями з добре визначеною семантикою;
- використання формального виведення як основний спосіб, коли машина виведення дає змогу отримувати імпліцитні знання з інформації, що явно міститься в базі знань системи.

Дескриптивні логіки, які підтримують стратегії логічного висновку, в інтелектуальних навчальних системах можна використовувати для структурування та розуміння ПрО, що передбачають класифікацію понять та їх представників (екземплярів, примірників), типізацію, ієрархію, успадкування властивостей (Bechhofer and Globe, 1997).

У дескриптивних логіках можливим є використання деяких результатів у сфері складності здійсненності задач модальних логік, зокрема техніки виведення та конструкцій мови, які раніше не використовувалися в дескриптивних логіках (Rodrigues, 2023). Отже, дескриптивні логіки можна зарахувати як до логіки обчислення висловлювань, так і до логіки обчислення предикатів.

Використовуючи дескриптивні логіки щодо ПрО, пов'язаної з обробкою результатів освітнього процесу у ЗВО, виділено базові концепти, зокрема такі елементи, як *DEPARTMENTS*, *SUBJECT*, *PERSON*, *UNIVERSITY_STUDENT*, *LEARNING_CONTENT*, *TEST*, *LECTOR*, *COURSE*, *GROUP*, *CONSULTATION*, *EXERCISE*, *RESULT* [11].

Як базові терміни визначено такі ролі концептів, як *Has*, *Learns*, *Performs*, *Leads* тощо. Відносини між концептами можна описати за допомогою ролей: *Lector CHECKS TASK*, *Student HAS Gradebook*, *Student COMPLETES TASK*, *LECTOR*, *CHECKS TASK* та ін. Як конструктор дескриптивної мови використовується синтаксис дескриптивної логіки CLASSIC (Nardi and Brachman, 2007).

Важливою властивістю дескриптивних логік є їхня здатність будувати ієрархії на концептах. Вважають, що концепт C є підкласом концепту D ($C \Rightarrow D$), якщо за будь-якої інтерпретації I , $C_I \subseteq D_I$. Аналогічно, концепти C і D нескладні, якщо за будь-якої інтерпретації I , $C_I \cap D_I = \emptyset$. C узгоджено, якщо є хоча б одна інтерпретація I така, що $C_I \neq \emptyset$.

Наведемо приклад композиційного опису консультацій студентам:

(**and** Consultation, (**at-least** 10 students),
(**all** students UNIVERSITY_STUDENT)).

Сенс опису можна сформулювати так: «Консультація з не менше ніж 10 слухачами, усі з яких належать до класу UNIVERSITY_STUDENT».

Дескриптивні логіки дають змогу розширювати набір конструкторів понад стандартні (кон'юнкції, заперечення, квантора загальності тощо), забезпечуючи в такий спосіб лаконічний опис ПрО.

Проілюструємо використання дескриптивних логік в описі даних і запитів до них. Для цього опишемо деякий стан інтелектуальної навчальної системи у визначеній базі знань, пов'язаної з навчальними дисциплінами (навчальним контентом, тестами, завданнями, викладачами тощо).

Необхідно ввести новий об'єкт, наприклад, COURSE1:

COURSE1:=**create-ind**()

Інформація про подібні об'єкти зберігається в базі знань двома способами:

- зазначенням класу, до якого вони належать (COURSE1 є екземпляр класу COURSE);

- визначенням їх зв'язків через ролі («Об'єкт COURSE1 teaches (викладає) Ivanchuk, and (i) Stepanchuk studies (вивчає) об'єкт COURSE1»).

Для цих цілей використовуються оператори **insert-in** та **fill-with**, які застосовуються таким чином:

insert-in (COURSE1, COURSE);

fill-with (COURSE1, teaches, Ivanchuk);

fill-with (COURSE1, studies, Stepanchuk).

Дескриптивні логіки доцільно застосовувати, зокрема, у ситуаціях, коли:

- користувачі (співробітники деканату, викладачі, студенти, методисти курсів тощо) не дуже знайомі з вмістом чи структурою інформації (даних, знань);

- користувачі не зовсім упевнені в тому, який запит слід сформулювати, щоб отримати необхідну інформацію;

- необхідно відстежувати послідовності та залежності у великих обсягах даних (Brachman and Levesque, 2004).

Використання можливості побудови ієрархії запитів дає змогу, зокрема:

- визначати неприпустимі запити, для яких, зважаючи на схему бази знань, впливає неможливість повернути хоча б одне значення;

- попереджати про неправильне формулювання запиту;

- узагальнювати запит, оскільки порожня відповідь (null-відповідь) часто є незадовільною навіть для правильно сформульованого запиту (у таких ситуаціях запит узагальнюється доти, доки у відповіді не буде отримано непусте значення);

- оптимізувати запити, використовуючи семантику даних і знань;

- будувати відношення класифікації між запитами і так званими проєкціями (простими запитами з відповіддю, що зберігається), значно скорочуючи зону пошуку і час виконання запитів (на відміну від підходу, який базується на оптимізації алгебраїчного подання запиту та фізичному доступі до даних).

Вилучення інформації з даних (*Data Mining*) передбачає виконання або величезної кількості запитів, або виконання протягом досить довгого часу. Запити та відповіді на них можуть супроводжуватися коментарями авторів. Побудова ієрархії таких запитів дає змогу, зокрема:

- скоротити загальне навантаження на сервер даних;

- узгоджувати роботу групи користувачів інтелектуальної системи.

Для сучасних інтелектуальних систем, зокрема й систем навчання, операція класифікації нового запиту стосовно раніше виконаних є звичайною.

Конструктор **fills** використовується для визначень, подібних **fills** (age, 22), щоб описати клас об'єктів, які серед зв'язків з роллю age мають значення 22. Використовуючи його, можна представити операцію

fill-with (Crs021, students, Stepanchuk)

як

insert-in (Crs021, **fills** (students, Stepanchuk)).

Нижче сформульовані оператори запиту до бази знань (з використанням конструкторів мови дескриптивної логіки:

insert-in (New-COURSE,

and (COURSE, **at-least** (10, stud ents),

fills (thema, Neural networks),

all (teaches, **fills** (scientific degree, Doctor of Technical Sciences))).

Такі конструкції мови відкривають дуже широкі можливості: вони дають змогу системі управління базами знань обробляти неповну інформацію про об'єкти. Наприклад, у наведеному вище описі є невідомим викладач, який читатиме курс (дисципліну) «Software Engineering Fundamentals» («Основи програмної інженерії») і тему «Neural networks» («Нейронні мережі»), але деяку інформацію все ж таки маємо (зокрема, що його scientific degree (науковий ступінь) – Doctor of Technical Sciences (д.т.н.)). Ця інформація може використовуватися під час побудови відповіді:

- на запити типу «Знайти всі дисципліни та теми, що ведуть викладачі, які є докторами технічних наук»;
- коли як відповідь може бути повернене значення NeW-COURSE, якщо опис об'єкта успадковується від запиту.

Зауважимо, що сучасні системи управління базами даних з такою неповною інформацією про NeW-COURSE працювати або взагалі не можуть, або ця робота дуже ускладнена.

В інтелектуальних системах, заснованих на використанні дескриптивних логік, саме робота з неповною інформацією є однією з найважливіших. Крім того, такі системи можуть представляти дані з необмеженою кількістю null-значень і коректно відповідати на запити, що мають подібні недовизначення.

Дескриптивні мови представляють зручний інструмент для маніпулювання даними, що має застосування практично у всіх галузях, охоплюючи бази даних, медицину, лінгвістику та мови програмування.

На сьогодні, окрім класичних дескриптивних логік, розроблено різні розширення, зокрема для імовірнісних дескриптивних логік, що дають змогу будувати n-відношення на домені, та інші, що збільшують виразність мови і повноту, виразність створюваної з їхньою допомогою моделі Про.

Висновки. Сфери застосування дескриптивних логік в інтелектуальних системах постійно розширюються, збільшуючи можливості цих систем щодо формалізованого виведення нових знань, у тому числі й в умовах неповної визначеності.

Дескриптивна логіка, яку використовують в інтелектуальних навчальних системах, надає широкі можливості побудови висновку (тобто формування відповіді), зокрема в таких ситуаціях, як формування та надання відповіді на:

- повністю визначений і чітко сформульований запит до бази знань системи;
- неповністю визначений і нечітко сформульований запит до бази знань системи;
- повністю невизначений запит до бази знань системи;
- неповністю визначений і чітко сформульований запит до бази знань системи;
- повністю нечітко сформульований запит до бази знань системи;
- повністю невизначений і нечітко сформульований запит до бази знань системи, що допомагає конкретизувати запит.

Для цього спочатку необхідно строго сформулювати відповідну систему числення (побудувати аксіоматичну теорію). Отже, як засіб вирішення семантичних і логічних завдань у семантичних мережах дескриптивна логіка стала унікальним та важливим механізмом у сучасному розділі інформаційних технологій – представленні знань.

Успішне використання дескриптивної логіки в авторській інтелектуальній навчальній системі забезпечить, зокрема:

- сприяння підвищенню якості освітнього процесу;
- моніторингу процесу навчання та контролю його результатів;
- сприяння інтеграції цієї системи до багатьох сучасних інформаційних навчальних систем;
- надання різноманітних консультацій, порад, тлумачень, пояснень щодо навчального контенту чи освітнього процесу;
- надання широкого спектра тем навчального контенту;
- надання широкого спектра тестів різного рівня.

REFERENCES

- Abacus.AI, 2019. An Overview of Logic in AI and Machine Learning. *Medium*, [online] 09 August. Available at: <<https://medium.com/abacus-ai/an-overview-of-logic-in-ai-and-machine-learning-2f41ccb2a335>> [Accessed 14 July 2023].
- Artificial Neural Network Tutorial, n.d. *JavaTpoint*. [online] Available at: <<https://www.javatpoint.com/artificial-neural-network>> [Accessed 03 July 2023].
- Baader, F. and Nutt, W., 2007. Basic Description Logics. In: F. Baader, D. Calvanese, D. McGuinness, D. Nardi and P. Patel-Schneider, eds. *The description logic handbook: Theory, implementation and applications*. 2nd Ed. [e-Book] Cambridge: Cambridge University Press, pp.47-100. Available at: <<http://www.inf.unibz.it/~franconi/dl/course/dlhb/dlhb-02.pdf>> [Accessed 26 July 2023].
- Basic Principles of Multimedia Learning, 2021. In: R. Mayer, ed. *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. [e-Book] Cambridge: Cambridge University Press, pp.143-182. <https://doi.org/10.1017/9781108894333.014>
- Bechhofer, S. and Globe, C., 1997. Using a description logic to drive query interfaces. In: *Proceedings of the 1997 International Workshop on Description Logics*. [online] Université Paris-Sud. Available at: <<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=59635216a075243cc229f53ddc442ae00fce1a89>> [Accessed 04 July 2023].
- Brachman, R.J. and Levesque, H.J., 2004. *Knowledge Representation and Reasoning*. [online] Amsterdam: Morgan Kaufmann. Available at: <<https://www.cin.ufpe.br/~mtcfa/files/in1122/Knowledge%20Representation%20and%20Reasoning.pdf>> [Accessed 02 July 2023].

Martin, F.R., 2019. How Important Are Semantic Networks in Artificial Intelligence? *Analytics India Magazine*, [online] 23 January. Available at: <<https://analyticsindiamag.com/semantic-networks-ai/>> [Accessed 04 July 2023].

Meyer, J.J., 2009. Logic in AI. In: J.N. Kok, ed. *Artificial Intelligence*. [e-Book] Oxford: EOLSS. Vol. 1 Encyclopedia of Life Support Systems, pp.21-44. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/46666490_Logic_in_AI?enrichId=rgreq-c3ac39601cdf333e51cc2507fcbc3092-XXX-&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzQ2NjY2NDkwO0FTOjExNDk3MzUxNDY3MDA4MkAxNDA0NDIzMjMwOTgy&el=1_x_3&_esc=publicationCoverPdf> [Accessed 14 July 2023].

Minker, J., 2000. Introduction to Logic-Based Artificial Intelligence. In: J. Minker, eds. *Logic-Based Artificial Intelligence*. [e-Book] Boston: Springer, pp.3-33. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1567-8_1

Nardi, D. and Brachman, J., 2007. An Introduction to Description Logics. In: F. Baader, D. Calvanese, D. McGuinness, D. Nardi and P. Patel-Schneider, eds. *The description logic handbook: Theory, implementation and applications*. 2nd Ed. [e-Book] Cambridge: Cambridge University Press, pp.1-44. Available at: <<http://www.inf.unibz.it/~franconi/dl/course/dlhb/dlhb-01.pdf>> [Accessed 26 July 2023].

Pshtivan, Q.R., 2015. *Semantic Network and Frame Knowledge Representation Formalisms in Artificial Intelligence*. Master of Science. Eastern Mediterranean University. [online] Available at: <<http://i-rep.emu.edu.tr:8080/jspui/bitstream/11129/1783/1/RashidPshtivan.pdf>> [Accessed 12 July 2023].

Rodrigues, W.P., 2023. The Role of Mathematical Logic in Artificial Intelligence. *Linkedin*, [online] 28 June. Available at: <<https://www.linkedin.com/pulse/role-mathematical-logic-artificial-intelligence-pereira-rodrigues>> [Accessed 12 July 2023].

Tkachenko, Olha, Tkachenko, Kostiantyn and Tkachenko, Oleksandr, 2022. Designing Intelligent Multi-agent Ontology-Based Training Systems: The Case of State University of Infrastructure and Technology. In: *Advances in Computer Science for Engineering and Manufacturing*, Conference proceedings. [e-Book] Cham: Springer, pp.181-192. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-03877-8>

UDC 004.89:37.018.43

Kostiantyn Tkachenko,

Associate Professor, PhD in Economics,

Associate Professor at the Department

of Information Technologies,

State University of Infrastructure and Technology,

Kyiv, Ukraine

tkachenko.kostyantyn@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-0549-3396>

USING DESCRIPTIVE LOGIC IN INTELLIGENT EDUCATIONAL SYSTEMS

The purpose of the article is to study and solve the problems of using the basic principles of the modern formalism of descriptive (terminological) logic in intelligent learning systems that use knowledge bases of educational content.

The research methods are the main methodological approaches and technological tools for the development of intelligent learning systems. In particular, systemic and comparative analyses to identify the features of intelligent learning systems, the method of expert evaluation, which involves the analysis of literature and information resources, interviews and surveys of experts in the field of information technology and mathematical logic, as well as the process of developing and testing an intelligent system.

The scientific novelty of the study is the development of a system for obtaining expert knowledge for an intelligent system that combines the formation of an expert knowledge base, and the formalism for representing which is descriptive logic. The proposed approach of formalized knowledge representation using descriptive logic can be used in the development of authors' intelligent learning systems in the field of online education and cognitive skills development.

Conclusions. The scope of application of descriptive logic in intelligent systems is constantly expanding, increasing the capabilities of these systems to formally derive new knowledge, including in conditions of incomplete certainty.

Descriptive logic, used in intelligent learning systems, provides ample opportunities for building a conclusion (i.e., forming an answer), in particular in situations such as forming and answering various types of queries to the system's knowledge base (e.g., fully defined and clearly formulated, incompletely defined and vaguely formulated, completely vague, incompletely defined and clearly formulated, completely vague, completely vague and vaguely formulated), helping to specify the query. To do this, it is necessary to formulate a rigorous number system (to build an axiomatic theory). Thus, as a means of solving semantic and logical problems, descriptive logic has become a unique and powerful mechanism for representing knowledge.

The successful use of descriptive logic in the author's intelligent educational system will ensure the improvement of the quality of the educational process; monitoring of the learning process and control of its results; will facilitate the integration of this system into many modern information educational systems; will provide various consultations, advice, interpretations, explanations regarding the educational content or educational process, as well as a wide range of topics of educational content and tests of different levels.

Keywords: intelligent system; intelligent tutoring system; knowledge; knowledge base; descriptive logic; knowledge inference; educational content.

28.08.2023