

УДК 519.7

Мейтис В. Ю.

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ, ОНТОЛОГІЇ ТА ОНТОЛОГІЧНІ ПРОСТОРИ

*В роботі розглянуто основні проблеми створення інтелектуальних систем. Подано класифікацію сучасних визначень поняття «інтелект». Проаналізовано основні риси інтелектуальних систем (ІС) та загальний план створення такої системи. Визначено роль онтології, покладену в основу семантичного уявлення про предметну область, в якій діє ІС. Запропоновано визначення онтологічного простору, в якому ІС веде пошук рішень поставлених перед нею задач.*

Проблеми створення ІС, поведінка яких була б наближеною до відповідної поведінки людини, в наш час стають актуальними, в зв'язку з тим, що існують **три передумови** для створення таких систем. По-перше, технічне забезпечення сучасних комп'ютерів досягло рівня, який за своїми показниками сумісний з тими технічними оцінками, що відповідають інтелекту людини. Комп'ютери мають великий об'єм пам'яті, що не тільки дає змогу зберігати терабайти інформації, а й ефективно її обробляти. Крім того, суттєво збільшилася швидкість роботи комп'ютерів, набагато перевершуючи можливості нервової системи людини. А це дає змогу створювати умови для розв'язання багатьох задач, які до сьогодні асоціювалися тільки з людиною.

По-друге, практично кожна сучасна складна система поліпшила би свої якості, якби додатково мала інтелектуальні властивості, вбудовані в алгоритми контролю та інтерфейсу, не кажучи вже про можливості прогнозування її діяльності. Перший крок в цьому напрямку – включення комп'ютерів у системи керування – вже здійснюється.

По-третє, сьогодні суспільство вже досягло такого рівня, коли поведінка кожної великої та складної системи на технічному і соціальному рівні виходить за межі розуміння процесів, що обумовлюють її діяльність, людиною, котра керує цією системою та використовує її. Численні системні аварії – від літаків, що розбиваються, до кризи економічних систем – тільки підтверджують цю тезу.

Тому в ХХ ст. для підвищення ефективності взаємодії людини і складної системи почали створювати методи командного управління, об'єднання в одній команді різних спеціалістів, практикування різних тактик: «мозкового штурму», «ситуаційних кімнат» і центрів керування. Перша спроба розв'язання цієї проблеми за допомогою комп'ютерної техніки була зроблена у

виділі автоматизованої системи управління, яка повинна була реалізувати відповідні інформаційні технології. Вважалося, що комп'ютери, завдяки своїй пам'яті та швидкості, дають змогу розв'язати ті проблеми, з якими не може впоратися людина. Численні приклади таких систем дають різноманітні АСУ, системи підтримки прийняття рішень, експертні системи, які з успіхом виконували свої задачі, але не змогли замінити людину навіть на нижчих рівнях керування складною системою.

Тоді виникла гіпотеза, що для успішного використання комп'ютерам не досить того ступеня розуміння виконуваних ними задач, який закладений людиною, їх треба наділити інтелектом, наближеним до людського. Тим більше, що спроби наукового створення інтелекту в тій чи іншій формі (штучний інтелект) почалися з моменту виникнення комп'ютерів у середині минулого сторіччя. Розроблялися програми, метою яких було моделювання складного процесу мислення людини на тому рівні, якого на той час досягли науки, що вивчали людину. Вважалося, що існують методи розв'язання більшості задач, які постають перед людиною. Досить розробити відповідні програми, і проблема створення штучної інтелектуальної системи буде значною мірою розв'язана. Однак ці спроби виявилися марними. Чим ширший був клас задач, до якого могла застосувати штучну систему, тим простіші проблеми доводилось розв'язувати за її допомогою [19].

Якщо на перших кроках свого становлення кібернетика та інформатика відокремили проблеми штучного інтелекту від створення систем, які суттєво використовують комп'ютери, то зараз настав час, коли інтелектуальні системи можуть стати частиною кожного сучасного складного продукту – від домашнього робота до космічного зонду, від побутових систем до сучасних виробництв, а далі до безпілотних кораблів, що досліджують планети Сонячної системи. До

того ж, умови, в яких працювали б інтелектуальні системи, створити набагато легше, ніж забезпечити існування та захист людини.

Для розв'язання задач, що належать до вузьких напрямів знань, створено експертні системи, які досить успішно розв'язують задачі, базовані на цих знаннях, наприклад, медичні діагностичні системи, задачі з хімії та військової справи, електроніки і геології. Проте експертні системи здебільшого тільки пов'язують задачі з існуючою в них системою впорядкованих знань, отриманих від експертів відповідної галузі. Крім того, експертні системи не мають, так би мовити, здорового глузду. Наприклад, якщо у людини запитують номер мобільного телефону Тараса Шевченка, то вона швидко зорієнтується, що у часи Шевченка телефонів ще не було. Натомість для експертної системи пошук відповіді може стати складною проблемою. Їхня цільова зорієнтованість робить їх безпорадними у всіх ситуаціях, окрім вузького кола тих, для розв'язання яких вони створені.

Аналогічно мозку ІС також знаходить розв'язання, базуючись на знаннях і логічних механізмах їх зв'язку та перетворення. Проте логіка мозку відрізняється від класичної логіки. Точніше кажучи, мозок використовує різні логіки для знаходження відповідних розв'язань. Те, що розуміється під «здоровим глуздом», частіш за все використовує некласичний логічний висновок, побудований на асоціаціях та аналогіях. Більшість шахістів стверджує, що розв'язання шахової задачі спочатку має в основі нелогічний пошук, а тільки після цього логічний перехід від умов до розв'язку. І складність таких задач якраз полягає в нелогічності (з погляду класичної логіки) перших ходів.

Тому ІС повинна мати дві риси: 1) базуватися на знаннях; 2) її механізми обробки цих знань використовують як класичні, так і некласичні методи побудови висновків з цих знань, формування нових знань та їхніх зв'язків (наприклад, чотиризначна логіка Белнапа [3]). Ці механізми повинні відповідати простору знань ІС. Нема потреби відтворювати докладно людську систему отримання результату, як і реконструювати людське мислення відповідно до комп'ютера. Йдеться тільки про те, щоб система могла пристосуватися до різних предметних областей, мала методи забезпечення цього пристосування та розв'язувала задачі на рівні людини, що підкріплювалося б оцінками спеціалістів. І дії комп'ютера, які оцінювалися з точки зору людини, можна було б порівняти з загальним уявленням про мислення.

Виникають **питання**: як будувати простір знань ІС, що є його складовими елементами, які

зв'язки між цими елементами існують; який рівень інтелекту забезпечує використання цього простору?

Тут зроблено спробу описати шляхи розв'язання цих питань, використовуючи поняття «онтологія» та будуючи відповідний онтологічний простір, де ІС може розв'язувати задачі завдяки можливостям формальної і неформальної логіки.

## Інтелект

Сьогодні, у час розвитку комп'ютерних систем, виникли запитання: які задачі можуть бути визначені як інтелектуальні? Які системи і технології можна називати інтелектуальними? Які можливості ІС? І, нарешті, як створювати ІС?

Щоб відповісти на ці запитання, необхідно спочатку схарактеризувати саме поняття «інтелект», а потім вимагати від ІС, щоб їхні властивості узгоджувались із обраним визначенням інтелекту. Якщо це визначення буде загальним і конструктивним, то можна чекати, що й визначення інтелектуальних технологій і систем дасть змогу створювати якісно нові, наприклад, інтелектуальні комп'ютери, поява яких стане важливим елементом, що визначить майбутній розвиток цивілізації. Виникнення інтелектуальних об'єктів, створених людством, буде новим кроком в історично сформованому розвитку можливостей людини, характерних для сучасного суспільства.

Дослідження з інтелекту, що активно розвиваються з кінця XIX ст. фахівцями з психології, дають змогу використати отримані результати під час створення ІС. Історія пов'язаних з вивченням інтелекту психологічних досліджень розглянута в книгах М. Холодної [22], Б. Величківського [4], які можуть слугувати довідниками для всіх, хто цікавиться психологічними підходами до проблем інтелекту.

За теперішніми методами дослідження визначення інтелекту можна умовно згрупувати; у межах кожної групи дамо кілька визначень, посилаючись на відповідних авторів. Визначення інтелекту пов'язується з деяким суб'єктом, що діє певним чином у навколишньому середовищі, світі, дійсності.

1. *Визначення на основі порівняння з іншими здатностями, властивими людині, які зв'язуються з її розумовою діяльністю, мисленням, адаптацією до зовнішнього середовища* [16]. Також див. праці В. Дружиніна, Charlesworth.
2. *Визначення на основі класів виконуваних процесів або здійснюваних функцій* [1, 21, 18, 23].

3. *Визначення, що спираються на використання знань (когнітивний досвід), як основи подання й моделювання навколишнього середовища [13, 24, 25].*
4. *Визначення у вигляді багатфакторних подань про інтелект, отриманих в основному за допомогою факторного аналізу результатів психологічних експериментів (Спірмен, Кеттелл, Терстоун, Гілфорд [26], Стернберг [27]).*
5. *Визначення, які пов'язують інтелект зі структурними властивостями простору, що суб'єктивно відображує зовнішнє середовище й використовується для формування дії суб'єкта [4, 14, 22].*

З огляду спрямованості цієї роботи на проблеми створення ІС, а, отже, на побудову моделей, що уможливають ефективно розробляти й використовувати такі системи, дамо таке визначення інтелекту.

**Інтелект** – це невід'ємна якість суб'єкта, орієнтованого на взаємодію з різними предметними областями, що формують зовнішнє середовище. Ця якість подається у вигляді загальних методів аналізу й синтезу інформації та дає змогу суб'єктові віртуально структурувати це середовище, зберігати й модифікувати отримане структурне подання (інтелектуальне відображення) як форму свого когнітивного досвіду.

Суб'єкт використовує інтелект для адекватного семантичного сприйняття й моделювання ситуацій у середовищі, організації взаємодії із цим середовищем, у тому числі для прийняття рішень під час формування своєї поведінки.

Не аналізуючи докладно це визначення, наведемо кілька властивостей інтелекту.

*По-перше*, інтелект, в основі якого лежать методи й способи аналізу й синтезу інформації, спирається на структурне подання тих предметних областей (зовнішнього середовища), де суб'єкт визначає своє поведінку.

*По-друге*, це подання буде сам суб'єкт, встановлюючи зв'язки і співвідношення між елементами предметної області, використовуючи свій когнітивний досвід у вигляді знань. Тому система відкрита, оскільки під час взаємодії й обробки когнітивного досвіду можуть з'являтися нові знання.

*По-третє*, інтелект – складова процесу аналізу й моделювання ситуації, яка визначає відповідність побудованої моделі предметній області.

*По-четверте*, оскільки практика людського мислення засвідчує, що в основі його когнітивного досвіду лежить семантичне розуміння предметних областей, то оперування ними на цьому рівні є невід'ємною частиною інтелекту.

Ці риси інтелекту застосовуються надалі в цій роботі для побудови форм і методів подання зовнішнього середовища.

## Загальний погляд на ІС

Розгляд ІС заснований на припущенні, що такі системи призначені для взаємодії із середовищем (світом, реальним простором, реальністю), котре оточує систему, враховуючи аналіз самого середовища й процесів, які відбуваються у ньому, розв'язання завдань, поставлених перед системою, прийняття рішень і формування поведінки в умовах, визначеними цим середовищем і самою системою.

**Загальний метод**, який дає змогу пов'язати ІС й оточуючий її світ, *полягає в моделюванні цього світу у вигляді структури, що складається з окремих елементів і відносин між ними*. За такого створення структура органічно з'єднується з її аналізом як визначення складових елементів, з розв'язанням завдань, пошуку шляхів від тих складових структури, які визначають умову задачі, до елементів, що можуть розглядатися як її розв'язання, із прийняттям рішень як дивергентним вибором однієї з можливих альтернатив, обумовлених цією моделлю.

Припустимо, що ІС проектується й створюється для розв'язання класів задач, що формулюються з використанням складових зовнішнього середовища. Ці складові можуть бути невідомі задалегідь або можуть змінюватися в процесі функціонування ІС. Інформація, що накопичується в цьому процесі, становить когнітивний досвід ІС, використання якого природно пов'язане з введеним поняттям інтелекту.

Тут існує пряма асоціація з людиною, онтогенез якої визначався її взаємодією з навколишнім середовищем – природою й суспільством, що постійно змінюються. Протягом кількох тисяч років людині вдалося не тільки вижити в умовах мінливого світу, а й успішно розвиватися, спираючись, насамперед, на інтелект, закладений у неї природою, і на потенційні ресурси навколишнього світу.

Якщо зовнішнє середовище відоме, його структура та закономірності її зміни вивчені, клас або класи розглянутих задач сформульовані, то, створюючи алгоритми розв'язання таких задач, вдається будувати ефективні моделі систем, поведінка яких відповідає цьому простору, тобто ці системи більш-менш успішно розв'язують поставлені перед ними завдання. Цей підхід покладено в основу розвитку людства.

Наприклад, система керування ракетою, що виводить супутник на орбіту, використовує інформацію про простір навколо Землі, в якому діє сила гравітації. Ці відомості задано у вигляді балістичних рівнянь, що визначають рух ракети і умови, які її характеризують. Інтелект закладено у систему на рівні розробки цієї інформації, але це інтелект людини, творця ракети і системи керування, а не інтелект самої системи.

Більш складний рівень систем керування виникає тоді, коли під час роботи системи змінюються умови, що визначають вихідне завдання, наприклад, коли ракета «земля – повітря» переслідує літак у повітрі. Літак маневрує, щоб відірватися від ракети, а та, з огляду на зміни положення літака, прагне його наздогнати. Для цього ракета або керується із землі оператором, або її система керування містить спеціальний блок, що захоплює положення літака та виводить на нього ракету незалежно від дій літака. І в цьому випадку інтелект закладений у систему її творцем й обмежений завданням. Можна створити таку систему керування ракетою, що буде досконалішою за людину у розв'язанні цього класу задач. Але сама система не буде інтелектуальною, тому що її дії повністю визначені закладеними в неї алгоритмами. Якби пілот літака знав ці алгоритми, а технічні особливості літака та людського організму дозволили, можливо, він міг би врятуватися від атак ракети.

Прикладом системи, що імітує інтелект, є шахова програма, яка успішно протистоїть людині. У шахах простір визначений шахівницею, фігурами на ній і правилами їхнього пересування. Завдання полягає в тім, щоб поставити супротивникові мат або примусити його здатися. У цьому просторі програма грає з людиною, використовуючи закладені в неї алгоритми аналізу ситуацій, великий обсяг інформації про зіграні раніше майстрами та гросмейстерами партії і швидкий вибір варіантів, забезпечений сучасними комп'ютерами. Крім того, програма навчається, граючи нові партії і зберігаючи інформацію про вдалі прийоми та комбінації. Завдяки навчанню така програма збільшує свої можливості. Вона демонструє всі властивості, характерні для інтелекту, але в обмеженому, хоч і складному, шаховому просторі.

Зауважмо, що суб'єктом, який за визначенням має інтелект, є людина. Тому інтелектуальною буде будь-яка система, де людина є складовим елементом, що бере участь у формуванні поведінки системи. Так, без сумніву, АСУ – розглянута як спільна система з людини-керівника й мережі комп'ютерів, що збирають і обробляють інформацію для побудови керуючих рішень, – інтелектуальна система.

Якщо ситуація, створена навколишнім середовищем, містить неясні фактори, які важко вирізнити, якщо закономірності середовища невідомі, а зміни не можуть бути спрогнозовані, то для розв'язання завдань у такому середовищі людина використовує свої інтелектуальні ресурси. Вона прагне змоделювати середовище так, щоб, спираючись на семантичні відношення, свої знання та наявні прийоми прогнозування й аналізу ситуації, знайти шлях розв'язання проблеми.

**Основне завдання створення ІС** полягає в тому, щоб побудувати систему, яка була б наділена інтелектом й успішно розв'язувала б завдання, схожі на ті, які вирішує людина у реальних зовнішніх середовищах. Інакше кажучи, ІС створюється для розв'язання «людських» завдань, які виникають у певній реальності й мають розв'язки, адекватні для цієї реальності. Формулювання задач для ІС містить семантичні елементи, які система «розуміє» за допомогою бази знань, а її рішення наперед не визначені, тому використовують інтелектуальні функції обробки інформації.

При цьому зовнішнє середовище, реальність завжди має певні вимоги або умови. Наприклад, у 10-й проблемі Гільберта йдеться про існування цілих раціональних розв'язків для діофантових рівнянь. Ця реальність обмежена саме цілими раціональними числами. Доказ нерозв'язності цієї проблеми підтверджує, що не існує для всіх рівнянь єдиного алгоритму, який би побудував такий розв'язок за заданим рівнянням.

Основна задача поділяється на ряд етапів, послідовне виконання яких веде до створення ІС, спочатку реалізуючи процес її **проектування**, а потім і **розробки**.

**Перший етап.** Для того, щоб спиратися на це подання, потрібно вміти структурно подавати зовнішнє середовище, виконуючи аналіз поточної ситуації, прогнозування її змін, пошук локальних подань і майбутню структурування. Побудувати структурну модель середовища або ряд таких моделей, означає зробити істотний крок у розумінні поставлених у цьому середовищі задач і виборі шляхів їх розв'язання (або спрощення).

Завжди робиться спроба звузити, обмежити зовнішнє середовище, що структурується для розв'язання задачі, розглядаючи тільки деяку її частину, певну область, обмежену загальними напрямками, що підходять для цих задач. Наприклад, у математиці одні задачі розв'язуються за допомогою алгебри, інші – за допомогою аналізу, а для розв'язання третіх потрібні методи й мови програмування. Вибір методів розв'язання визначає область – алгебра, аналіз, програмування, в якій створена відповідна модель.

Але навіть для будь-якої обмеженої області зовнішнього середовища й класів задач у ній, якщо область неможливо замінити спрощеною моделлю, дуже важко побудувати загальне подання, що враховує всі властивості і якості цієї області. Таке подання будується протягом тривалого часу в процесі розв'язання завдань у цій реальності. Воно розширюється, здобуває нові властивості та якості, але завжди залишається неповним. Дві тисячі років людство використовувало геометрію Евкліда, доки Лобачевський

не знайшов нову геометрію, що також діє в навколишньому світі, наприклад, псевдосфера або модель Пуанкаре.

Тому розв'язання окремих класів задач нерозривно пов'язане з розширенням подання про область, у якій ці завдання сформульовані, хоча під час розробки ІС ці взаємозалежні процеси – розв'язання задач та подання реальності – розведені в часі функціонування ІС. Задача розв'язується тільки тоді, коли вже існує таке подання, однак є і такі задачі, які не розв'язуються навіть теоретично, хоча вони правильні у цьому середовищі [11, 15].

Сам процес подання реальності досить складний. Він спирається на різні форми цього подання, з яких можна виділити образні, знакові й семантичні, що зв'язують із людським інтелектом [26].

**Образна** форма визначена тією інформацією, що формується й виробляється нашими органами чуттів або образними поданнями формальних моделей.

**Значкова** форма – це подання, що складається з букв, цифр, символів, ієрогліфів й інших умовних знаків, зазвичай об'єднаних у загальні системи: алфавіт, знакові конструкції, числові системи, діаграми, схеми.

**Семантична** форма визначається смисловими значеннями слів, понять, тверджень. Предметна співвіднесеність об'єктів і відношень, які існують у реальності, із семантичною формою подання дає змогу організувати обробку інформації, що ставиться до поставленого завдання на рівні знань, застосовуючи прийоми, засоби та методи, які використовують такі змістовні терміни, як «розуміння» й «смісл».

У наш час ІС створюються для роботи в обмежених областях навколишнього світу. Це – локальні системи. Їхні органи сприйняття, бази знань, моделі поведінки орієнтовані на обраний тип середовища, на умови його існування. Розробляючи систему, в неї завантажують максимальну кількість відомої людині інформації, щоб звести до мінімуму можливості виникнення ситуацій, невідомих системі.

Наприклад, під час проектування робота для проведення досліджень на Місяці або на Марсі в нього вводять вже відомі умови, що характеризують поверхню небесного тіла, силу ваги на ньому, можливий характер рельєфу й взаємодії коліс із поверхневим покриттям під різними кутами переміщення робота, температурні умови. Потрапивши на Місяць, робот використовує ці знання, щоб будувати свою розумну поведінку. Така ж задача, але вже з іншим середовищем, виникає, якщо розглядати ІС, створювану для роботи в умовах окремого складального або інструментального цеху машинобудівного підприємства.

*Другий етап* визначений зануренням задачі (або класу задач) у вже задану реальність. Це занурення визначається як відображення елементів, що становлять умову задачі, у структуру, котра ототожнюється з областю середовища, до якої належить задача. Саме занурення вже здійснюється ІС, що повинна розв'язати задачу.

Під час побудови такого відображення виникає безліч проблем. По-перше, необхідно встановити адекватність елементів, використовуваних у завданні, з елементами структури тієї області, де здійснюється відображення. Цілком припустимо, що деякі елементи задач, не знаходять своїх прототипів у побудованій структурі реальності. У цьому випадку процес структурування розглянутої області реальності потрібно повторити, щоб одержати більш детальне подання. Іноді можна поповнити структуру області, ввівши в неї нові елементи, вибрані з задачі, зв'язавши їх з існуючими елементами структури.

По-друге, потрібно використати когнітивний досвід ІС у формуванні відображення. Наявність такого досвіду пов'язана з поняттям інтелекту й дає змогу застосувати для занурення розглянутої задачі в середовище вже відомі й збережені системою варіанти подання.

По-третє, занурення задачі в середовище ускладнюється, якщо неможливо встановити прямий зв'язок між структурою середовища й структурою, що визначає формулювання задачі. Часто потрібно зрозуміти умови задачі, подавши його в поняттях і відношеннях, що входять в опис середовища. Крім того, якщо відсутній прямий зв'язок, необхідний для розуміння задачі, то доводиться розв'язувати проблему знаходження відповідності між умовою задачі й середовищем вже за змістом. Знайти зміст елемента або виразу та зрозуміти їх – це дві основні проблеми, пов'язані із зануренням задачі в подання зовнішнього середовища.

Крім того, для ІС істотним є пошук аналогій між новими умовами, пов'язаними з задачею, і відомими або отриманими результатами. Процеси розуміння й пошуку аналогій – два дуже близьких процеси, широко застосовуваних у діяльності людини.

*Третій етап* – це складання плану розв'язання задачі. Він може бути як самостійною метою системи, так і складовим елементом деякого процесу, наприклад, процесу прийняття розв'язань, що розпадається на кілька проміжних завдань. Поряд з умовами, задача містить якусь невідому, яку треба знайти, або очікуваний результат, який потрібно побудувати, виходячи із заданих умов. Інакше кажучи, потрібно знайти деяке перетворення, узгоджене з середовищем, що є композицією існуючих методів, яке переведе умови задачі в необхідний результат.

Пошук плану розв'язання задачі спирається, як і більшість операцій ІС, на базу знань, у якій разом з іншими знаннями повинні зберігатися знання про задачі, розв'язані ІС, у тому числі й плани розв'язків. Тут допоможе розуміння завдань, оскільки нове розв'язання може бути схожим на отримане раніше або незначною мірою відрізнятися від нього в окремих структурних елементах, або збігатися з ним для проміжних завдань.

### Онтологія й знання

Подання про інтелект нерозривно пов'язане із семантичними властивостями предметної області, смисловими характеристиками її об'єктів і зв'язків між ними, з їхньою прив'язкою до тих реальних сутностей, які входять у предметну область – складову частину зовнішнього середовища, в якій працює ІС. У цьому контексті семантика є загальним механізмом, що забезпечує додаткові можливості під час обробки інформації завдяки використанню смислових залежностей, що існують у предметній області. Тому, створюючи ІС, необхідно водночас з використанням структурних особливостей знайти такі схеми подання предметної області, які містили б смислові залежності компонентів цієї області.

Однією з таких схем є використання підходів, заснованих на понятті «онтології». Це поняття почало успішно застосовуватися в проектах, пов'язаних зі створенням ІС, уже із середини минулого століття й розвивається по теперішній час [2, 5, 10, 20]. Поняття «онтологія» має багато значень, але тут воно буде вживатися саме для розгляду тих семантичних залежностей, які існують у предметних областях.

**Онтологію** предметної області визначимо як:

- 1) **специфікацію концептів** або **описових компонентів** цієї області (предметів і їхніх властивостей, ознак, атрибутів), представлену в природній або формальній мові;
- 2) **специфікацію відношень** у вигляді предикатів і функцій, які пов'язують описові компоненти;
- 3) **правила застосування** відношень до концептів (описових компонентів);
- 4) **інтерпретацію** кожного елемента специфікацій у предметній області, що пов'язана із онтологією.

Специфікація концептів предметної області може задаватися як перелік цих концептів, у випадку скінченності їх числа, або породжуватися з використанням граматики, правил висновку, моделей предметної області. Онтологія звичайно представляє не всі елементи предметної області. Вона може розширюватися й збільшуватися, включаючи нові поняття й нові залежності, або

поповнювати структуру предметної області онтологічними концептами. Так, у фізиці створення нових онтологічних моделей виявляє необхідність існування нових елементарних часток або їхніх складових, які стають предметом подальшого пошуку (наприклад, вільні кварки).

Специфікація відношень включає функції й предикати, безпосередньо пов'язані із множиною концептів предметної області, причому до специфікації належать: відношення, які формують подання одних понять через інші; правила, що визначають можливості дедуктивного чи індуктивного висновків у логіці, що вживається при завданні онтології. Надалі ці відношення використовуються для завдання семантики.

**Інтерпретація** – це відображення специфікацій компонентів та відношень в елементах предметної області, тобто встановлення відповідності між елементами онтології й поданням предметної області. Залежно від того, як будеться ІС, ця відповідність може подаватися в формальній або в природній мові. Наприклад, використовувана людиною в повсякденному житті онтологія базується на природних мовах, а онтологія системи, що доводить теореми, – на онтології, обумовленій мовою формальної логіки або деякою модифікацією цієї мови (як, прикладом, алгоритм очевидності Глушкова [7]).

**Метаонтологією** будемо називати сукупність підходів і принципів, які покладені в основу побудови онтологій предметних областей та визначають семантичні закономірності, пов'язані із цими предметними областями.

Інтерпретація встановлює співвідношення елементів онтології з поданням прототипів, які існують у предметній області. Щоб оцінити характер цього співвідношення, припустимо, що:

- a) існує логіка  $\Lambda$ , за допомогою якої можна оцінити ступінь адекватності цього зв'язку (логіка  $\Lambda$  може бути: класична, модальна, багатозначна, нечітка, змішана і т. д.);
- b) з інтерпретацією зв'язана логічна функція  $\lambda$ , що зіставляє парі (інтерпретація, специфікація) її значення в обраній логіці  $\Lambda$ . Це значення задає оцінку ступеня вірогідності тієї відповідності, що, по-перше, існує між онтологічним поняттям та компонентами предметної області, які зв'язані між собою інтерпретацією; по-друге, між поняттями, сформованими за рахунок композиції онтологічних відношень.

Можливі відношення, композиція яких дає зв'язок між поняттями, якого немає з погляду реальності. Таку композицію назвемо **непринципністю**.

Онтологія – це, з одного боку, сукупність імен, приписаних елементам предметної області, що подають ці елементи в мовній формі. Ці

імена дають змогу оперувати із предметною областю на рівні її змісту, що задається семантичними зв'язками й семантичною близькістю понять, використовуваних у природній або формальній мові. Мовне подання онтологічних понять має свою семантику, що виражається через інші онтологічні поняття й відношення. Семантика відображує змістовні уявлення про світ, де сформувалася мова, з якої беруться введені в онтологію поняття. Відношення й поняття, що існують у цій мові, зв'язуються із предметною областю як істини або, наприклад, як гіпотези, припущення, що потребують доведення та розкриття на рівні об'єктів, структур і відношень предметної області.

Семантика поняття розкривається як статичний чи динамічний зв'язок з іншими поняттями та відношеннями. Вона природно визначається в *ситуаціях*, які розглядаються як множина частково взаємозв'язаних відношень понять – тверджень, множина, яка зберігає свій понятійний склад, доки ситуація розглядається як одне ціле.

З іншого боку, онтологія – це дані основних елементів мови, якою інтелектуальна система «розмовляє» в певній предметній області, спілкуючись із об'єктивною реальністю. Як у кожній мові, в онтології існують неповнота, неоднозначність, неточність, що дають змогу по-різному сприймати мовні подання й завдяки цьому шукати можливі розв'язання з певним ступенем наближеності. Таким чином, онтологія задає інформаційну область, що використовується ІС у формуванні розв'язків.

«Прийняти світ речей означає лише прийняти певну форму мови, інакше кажучи, прийняти правила утворення пропозицій і перевірки, прийняття або відкидання їх» [8]. Онтологія і є прийнятою формою мови, а інтерпретація – один з засобів перевірки.

Логіка – спосіб оцінки, що дає змогу визначити, наскільки подання системи про навколишній світ збігаються із цим світом, тобто наскільки подання системи адекватні світові та, отже, можуть бути використані для формування її поведінки. Тому природним виглядає включення логіки  $\Lambda$  і функції  $\lambda$  у визначення онтології. У моделі онтології  $\Omega$  до трьох елементів специфікації й інтерпретації додані ще два – логіки  $\Lambda$  і функції  $\lambda$ . При цьому онтологія завжди розглядається разом з тією предметною областю навколишнього середовища, з тією реальністю, яку вона відображує в своїх специфікаціях і в якій вона їх інтерпретує.

*Модель онтології*  $\Omega$  подається як шістька символів  $\Omega = (E, X, R, P, \Lambda, I, \lambda)$ , де  $E$  – подання предметної області, для якої будується онтологія,  $X$  – специфікація понять області  $E$ , їхніх властивостей й ознак,  $R$  – специфікація відно-

шень між поняттями області  $E$ ,  $P$  – правила породження в онтології нових понять із вихідних понять і відношень,  $\Lambda$  – логіка, обрана для оцінки характеру відповідності між онтологічними специфікаціями й предметною областю,  $I$  – функція інтерпретації,  $I: X \cup R \rightarrow E$ ,  $\lambda$  – логічна функція.

Зв'язуючи онтологію із предметною областю, інтерпретація приписує онтологічним поняттям ті елементи, які існують у предметній області, а відношенням – відношення на них. Якщо специфікації понять і відношень змінюються в процесі взаємодії із предметною областю, то розширюється й онтологія цієї області завдяки модифікації існуючих і включення нових понять і предикатів.

З будь-яким поняттям природно поєднуються два подання: екстенціонал й інтенціонал, введені Р. Карнапом [5, 6, 8, 9, 17]. *Екстенціонал*  $Ext(A)$  поняття  $A \in E$  – це подання поняття  $A$  як множини зв'язаних понять або фактів (даних, сукупностей ознак, тверджень, виразів), які характеризують поняття  $A$  в контексті можливих ситуацій у вигляді інших понять і відношень між ними. *Інтенціонал*  $Int(A)$  поняття  $A$  – це одна або кілька моделей (характеристичних функцій, процедур), що дають змогу визначити, чи зв'язаний даний факт (дані, твердження) з поняттям  $A$ .

Крім того, будемо вважати, що до існуючих конструкцій екстенціонала та інтенціонала можна додати проміжну конструкцію, яка позначається як  $Mix(A)$  – це *мікстенціонал*. Така конструкція включає деяку множину  $M_A$  тверджень з  $Ext(A)$  та одночасно сукупність перетворень, моделей, які дають змогу отримувати з  $M_A$  інші твердження, що належать  $Ext(A)$ .

*Смисл* онтологічного поняття  $A$  задається елементом предметної області  $s_A$ , яка подається евклідовим простором  $V_U, s_A = I(A)$ . Координати в цьому евклідовому просторі будемо називати атрибутами поняття  $A$ . Будь-яке оточення  $U_A$  поняття  $s_A$  в просторі  $V_U$  називають смисловим оточенням  $A$ . Екстенціонал поняття  $A$  може бути розширений заміною поняття  $A$  близькими до нього за змістом поняттями. Якщо діаметр оточення  $U_A$  дорівнює  $\varepsilon$ , то  $\varepsilon$ -екстенціонал  $A$  визначається як  $Ext(A, \varepsilon) = \bigcup_{B \in U_A} Ext(B)$ . Інакше кажу-

чи,  $\varepsilon$ -екстенціонал будується завдяки заміні поняття  $A$  близькими йому за змістом поняттями й об'єднанням в одне їх екстенціоналів. Додатково визначимо функцію  $J$ , яка з елементом  $s_A$  зиставляє поняття  $A$ .

Задаючи онтологічний (понятійний) опис елементів структурного подання, необхідно на ці структури й системи продовжити логічну функцію  $\lambda$ , що у цьому випадку дає логічну оцінку

відповідної структури. Такі онтологічні структурні елементи разом з логічною оцінкою їхньої вірогідності, що має, наприклад, залежно від використовуваної логіки значення «істина», «вірогідність», «необхідність», називають **абстрактними знаннями**, поданими в онтологічному просторі й пов'язаними з предметною областю.

Під час створення й навчання ІС абстрактні знання розширюються, поповнюються формальними знаннями, у формі екстенціоналів, мікстенціоналів та інтенціоналів для абстрактних знань.

**Екстенціонал знання** розглядається як множина фактів, які формуються на підставі екстенціоналів понять, що входять у формулювання знання, і зв'язаних відповідними відношеннями. Факти – це твердження (дані, сукупності ознак, подання), що включають поняття разом з їх зв'язками, які належать до знань, або елементи екстенціонала цих понять і відношень, сумісних зі структурою знання.

**Інтенціонал знання** подається у вигляді моделі, процедури, логічної формули, які формалізують побудову знання, у вигляді дедуктивних, індуктивних або абдуктивних висновків, структури семантичних мереж, процедурних побудов, алгебраїчних та інших математичних моделей.

Абстрактні знання, об'єднані зі своїми екстенціоналами, мікстенціоналами та інтенціоналами, формують для даної предметної області **універсум знань**, що змінюється залежно від функціонування ІС, яка використовує ці знання.

Процес формування знань є досить складним і неоднозначним. Найчастіше, він складається нагромадженням окремих фактів, що включають у мікстенціонал, з наступним переходом до інтенціоналу, а від нього до формулювання самого знання. Хоча можливий і зворотний процес: формування знання як деякої гіпотези або моделі, вираженої в онтологічних поняттях і структурах, з підтвердженням або спростуванням її у вигляді фактів, які увійдуть до екстенціоналу знання як гіпотеза (підтверджена або спростована).

Зазначимо, що подання знань багато в чому визначене тією онтологією, у якій ці знання формуються. Якщо, наприклад, онтологія визначена функціональною мовою типу рекурсивних функцій або мовою програмування, то знання задають деякі процедури (процедурні знання), які подають обчислювальні процеси в предметній області. Якщо предметна область описана деякими поняттями й відношеннями, то її подання у вигляді знань задано у вигляді тверджень (декларативні знання). Якщо предметна область – це підприємство, то відповідні знання представлені у вигляді моделей (модельні знання), де модель визначена поняттями й відповідними перетвореннями. У моделі в єдину сутність поєд-

нуються декларативні й процедурні знання, пов'язані відповідними перетвореннями.

Одночасний розгляд структурного й онтологічного описів дає змогу будувати двокомпонентні алгоритми. Перший компонент дає змогу вибирати шляхи розв'язання цієї задачі, базуючись на відбитих в онтологічному просторі семантичних зв'язках і аналогіях, орієнтуючись на смислові відношення та розуміння поставленої проблеми. Другий компонент працює із внутрішньою структурою предметної області, у якій ІС шукає формальні логічно допустимі розв'язання поставленої задачі.

Розв'язання задачі представляється у вигляді **онтологічного ряду**, окремі елементи якого задають операції, виконувані з елементами або класами структур, що подають частину предметної області, де сформульована задача. Сам ряд у цілому задає процедуру, яка визначає перетворення інформації, що входить у процес розв'язання задачі. Інтерпретація цього ряду в предметній області задає структурне розв'язання задачі, а онтологічний ряд – це мовне подання шуканого розв'язання. Так, доказ теореми, виражений у вигляді послідовності математичних формул, може бути описаний поняттями, термінами, перетвореннями і переходами між ними.

### Онтологічний F-простір

Нехай задана модель онтології  $\Omega = (E, X, R, P, A, I, \lambda)$ . Специфікація відношень  $R$  складається із двох множин – множини предикатів  $P$  і множини функцій  $F$ , що визначають зв'язки між поняттями онтології або, відповідно, між об'єктами предметної області. За допомогою бінарних предикатів задаються відношення на множині об'єктів: відношення зв'язку, обумовлені структурними відношеннями «екземпляр–клас», «вид–рід», «частина–ціле», відношення класифікації, приналежності, порівняння, каузальні [17]. У всіх цих випадках такі відношення можна подати у вигляді графа, в якому стрілкою з'єднані поняття, причому сама стрілка визначає характер відношення, заданого предикатом.

Якщо два об'єкти пов'язані певною функцією, що визначає перетворення понять, зіставлених цим об'єктам, то ця функція відповідає стрілці, яка об'єднує ці об'єкти. Через природне співвідношення між алгебраїчними операціями й предикатами – перехід від алгебраїчних систем до моделей [12] – для таких функцій можна визначити відповідний предикат і повернутися до попередніх міркувань.

Сама онтологія, без предметної області, не визначає семантику понять і відношень, що входять у неї. Вони є тільки іменами, назвами, що зв'язані з відповідними елементами предметної



області. Завдання ж семантики в онтології можливе на двох рівнях. Перший рівень визначається поданням будь-якого поняття зі специфікації  $X$  у вигляді деякої **структури**, яка визначається відповідними предикатами.

Можливі такі варіанти. Перший варіант створюється множиною понять і відношень самої онтології, множиною, що розглядається як деяка ситуація. У цій ситуації обумовлене поняття є її необхідним елементом, що виникає в контексті інших понять і відношень та одержує ім'я, зафіксоване в онтології. Другий варіант – основне поняття виражається через свої складові елементи – поняття й відношення, які можуть використовуватися замість основного поняття. Третій варіант – поняття являє собою елемент більш широкого поняття, що отожднюється із класом понять. У загальному вигляді, такі структури є елементами  $Ext(X)$ .

Нехай  $r$  – предикат з  $R$ , що подає поняття  $A_0$  через поняття  $A_1, A_2, \dots, A_k$ . Отримане подання назовемо **елементарною понятійною структурою**  $C_A = r(A_0, A_1, A_2, \dots, A_k)$ . Число  $k$  називають рангом структури  $f$ . Понятійна структура рангу 0 збігається з поняттям  $A$ . У кожний екстенціонал, що складається з елементарних понятійних структур, за визначенням ще додається єдина пуста структура (dead structure).

Природно, що для того самого поняття можливі різні подання у вигляді елементарних структур, які становлять різні відтінки, різні аспекти цього поняття. Особливо, якщо врахувати, що деякі ознаки або поняття, пов'язані з  $A$ , можуть суперечити одне одному. Наприклад, ознаки «неодружений» або «одружений» не повинні одночасно бути в одній понятійній структурі «чоловік», хоча як складові поняття входять у визначення загального класу «чоловіків».

Введемо категорію  $A_F$ , об'єктами якої є, поперше, поняття зі специфікації  $X$  і понятійні структури, які можуть бути побудовані для цих понять. По-друге, для будь-якої понятійної структури  $f = r(A_0, A_1, A_2, \dots, A_k)$ , для якої існує правило її формування через визначення в  $R$ , встановимо об'єкт – кінцевий добуток  $A_0 \times A_1 \times \dots \times A_k = \prod_{i=0}^k A_i$ . Всі такі добутки є об'єктами категорії  $A_F$ . По-третє, об'єктами категорії  $A_F$  є всі скінченні кодобутки об'єктів  $A_F$ , для яких в онтології існують визначальні їхні поняття або понятійні структури,  $A_0 \times A_1 \times \dots \times A_k = \prod_{i=0}^k A_i$ .

Морфізми категорії  $A_F$  визначаються, поперше, бінарними предикатами й функціями зі специфікації відношень  $R$  для понятійних структур однакового рангу. Якщо дані дві структури  $C_A = r(A_0, A_1, A_2, \dots, A_k)$  і  $C_B = r'(B_0, B_1, B_2, \dots, B_k)$ ,

то морфізм  $\varphi: C_A \rightarrow C_B$  задається набором функцій з  $R = (\varphi, \varphi_0, \varphi_1, \dots, \varphi_k)$ , де  $\varphi: r \rightarrow r'$ ,  $\varphi_i: A_i \rightarrow B_i$  ( $0 \leq i \leq k$ ) і справедлива рівність:

$$\varphi(r(A_0, A_1, A_2, \dots, A_k)) = \varphi(r)(\varphi_0 A_0, \varphi_1 A_1, \varphi_2 A_2, \dots, \varphi_k A_k) = r'(B_0, B_1, B_2, \dots, B_k).$$

По-друге, всі проєкції  $p_j: \prod_{i=0}^k A_i \rightarrow A_j$  ( $0 \leq j \leq k$ ), що входять у визначення добуток об'єктів. По-третє, всі вкладення  $i_j: A_j \rightarrow \prod_{i=0}^k A_i$ , що входять у визначення кодобутків. По-четверте, вводяться пусті морфізми.

Добуток морфізмів задає нові відношення між онтологічними поняттями. Відношення  $p$  і  $q$  називаються сумісними, якщо існує їхня композиція, що визначає перетворення понять, інтерпретованих у предметній області, як припустиме перетворення. У випадку неприпустимої композиції добуток відповідних морфізмів дорівнює пустому морфізму.

Цю категорію  $A_F$  називають **базовим онтологічним  $F$ -простором**. У ньому представлено властивості й структури, які можуть визначатися виходячи із заданої семантики онтологічних понять і відношень між ними.

З виникненням нових понять і нових відношень базовий простір розширюється, як основа для послідовної побудови рядів онтологічних  $F$ -просторів, елементи яких уже включають ці поняття й відношення. Саме онтологічний простір є тим формальним середовищем, де ІС розв'язує свої задачі, спираючись на семантичні подання, пов'язані з використанням онтології (онтологічних структур).

Зауважимо, що в цій теорії кожен онтологічний простір також може розглядатися як предметна область, для якої визначається свій онтологічний простір. Інакше кажучи, у певних умовах існує ієрархія онтологічних просторів, розгляд якої представляє цікаву тему для дослідження. Побудова онтологічного простору відіграє істотну роль у створенні ІС, тому що в цьому просторі ІС розв'язує поставлені перед нею задачі. Це як той тривимірний простір, в якому існує людство. Хоча на маленьких або ж дуже великих відстанях можуть існувати багатовимірні простори, однак для визначення більшості своїх дій людина використовує саме тривимірний варіант, якість якого підтверджена багатовіковою практикою існування людства на планеті Земля.

Проте деякі елементи онтологічного простору можуть не знайти свого еквівалента в предметній області. Так, псевдосфера, на якій реалізується геометрія Лобачевського, була побудована набагато пізніше, ніж створений онто-

логичный простор в виде теории геометрии, где параллельные могут пересекаться. В физике существует много теорий, для которых еще не найдено соответствующих предметных эквивалентов. В этом случае интерпретация таких онтологических понятий отсутствует, а функция интерпретации  $I$  в общем случае является частковой функцией.

И, наоборот, в предметной области могут существовать понятия, которые еще не имеют своего подання в онтологии, но будут в нее вводиться в зависимости от развития онтологии предметной области и знаний о ней. Перетворения, определенные над понятиями, могут быть перенесены в онтологичный простор. Но этот простор допускает и свои внутренние построения. Например, если рассматриваются понятия, связанные с числовым поданием в окружающей среде, то в онтологичном просторе может быть сформулировано или использовано общее подание про число со своими свойствами. Так, математическое понятие натурального числа, которое не имеет материальной реализации в какой-либо реальности, эффективно используется как обобщение любого конкретного числа, с которым мы имеем дело в предметной области. Экстенционал натурального числа включает конкретные числа, а интенционал задается, например, рекурсивной функцией, которая порождает натуральный ряд.

Для точек простора  $A_F$  вводятся свои атрибуты, которые характеризуют элементы этого простора, и отношения рассматриваются как перетворения этих атрибутов. Таким образом, каждый элемент  $A_F$  характеризуется собственными атрибутами и атрибутами, приписанными ему функцией  $J$ . Эти атри-

буты дают характеристику каждого элемента в виде его признаков. Значения атрибутов можно нормировать, рассматривая их в отрезке  $[0, 1]$ . При этом сам атрибут характеризуется своим именем и этими значениями.

Итак, справедливый такой результат.

**Теорема.** Будь-какое онтологичное отношение  $R \subseteq X \times Y$  между множествами элементов  $X$  и  $Y$  простора  $A_F$  может быть представлено как сравнение атрибутов, заданных на числовом отрезке  $[0, 1]$ .

Пусть отношение  $R = \{(x, y) \in X \times Y\}$ . Введем этому отношению атрибут  $\delta_R$  с шкалой измерения на отрезке  $[0, 1]$ . Для атрибута  $\delta_R$  построим отображение  $\varphi$  пары множеств  $X$  и  $Y$  в  $[0, 1]$ . Если  $x \notin pr_1 R$ , то  $\varphi(x) = 0$ ; если  $x \in pr_1 R$ , то  $\varphi(x) = 0,5$ . Если  $y \notin pr_2 R$ , то  $\varphi(y) = 0$ ; если  $y \in pr_2 R$ , то  $\varphi(y) = 1$ . Тогда, если  $(x, y) \in R$ , то  $\varphi(x) < \varphi(y)$  для отрезка  $[0, 1]$ . Теорема доказана.

В этой работе предполагается, что онтология и базовый онтологичный простор заданы, а основная проблема заключается в разработке ИС, которая могла бы своей работой на основе использования онтологии, базы знаний, интеллектуальных функций, приближая свою работу к работе средней личности, которая решает аналогичную задачу. При разработке задач ИС может перетворяться онтологичный простор, расширяя онтологию и базу знаний, вводя новые объекты и морфизмы. Возможны и другие подходы: построить онтологию и соответствующий ей простор, используя начальные последовательности, а затем решать задачи с использованием созданного онтологичного простора. Но этот подход требует дальнейшего исследования в работе не рассматривается.

1. Ананьев Б. Г. О проблемах современного человекознания / Б. Г. Ананьев. – М.: Наука, 1977.
2. Андон Ф. И. Логические модели интеллектуальных информационных систем / И. Ф. Андон, А. Е. Яшунин, В. А. Резниченко. – К.: Наукова думка, 1999. – 396 с.
3. Белнап Н. Логика вопросов и ответов / Н. Белнап, Т. Стил. – М.: Прогресс, 1981. – 288 с.
4. Величковский Б. М. Когнитивная наука: основы психологии познания / Б. М. Величковский. – М.: 2006. – Т. I, II.
5. Гаврилова Т. А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т. А. Гаврилова, В. Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2000. – 384 с.
6. Глибовец М. М. Штучный интеллект / М. М. Глибовец, О. В. Олецкий. – К.: КМ Академия, 2002. – 366 с.
7. Капитонова Ю. В. Парадигмы и идеи академика В. М. Глушкова / Ю. В. Капитонова, А. А. Летичевский. – К.: Наукова думка, 2003. – 455 с.
8. Карнап Р. Значение и необходимость / Р. Карнап. – М., 1959.
9. Кокорева Л. В., Диалоговые системы и представление знаний / Л. В. Кокорева, О. Л. Перевозчикова, Е. Л. Ющенко. – К.: Наукова думка, 1992. – 448 с.
10. Куайн У. В. О. Онтологическая относительность / У. В. О. Куайн // Современная философия науки: знание, рациональность, ценности в трудах мыслителей Запада: Учебная хрестоматия. – М.: Логос, 1996.
11. Линдон Р. Заметки по логике / Р. Линдон. – М.: Мир, 1968. – 128 с.
12. Мальцев А. И. Алгебраические системы / А. И. Мальцев. – М.: Наука, 1970. – 392 с.
13. Мейтус В. Ю. К проблеме интеллектуализации систем управления / В. Ю. Мейтус // Материалы XIII Международной конференции с автоматического управления (Автоматика – 2006). – Винница, 25–28 вересня 2006 р. – Винница, 2006. – С. 466–471.
14. Мейтус В. Ю. К проблеме интеллектуализации компьютерных систем / В. Ю. Мейтус // Математичні машини і системи. – 2008. – № 2. – С. 24–37.
15. Мендельсон Э. Введение в математическую логику / Э. Мендельсон. – М.: Наука, 1971. – 320 с.
16. Пиаже Ж. Психология интеллекта / Ж. Пиаже // Избранные психологические труды. – М.: Просвещение, 1969.
17. Поспелов Д. А. Ситуационное управление: теория и практика / Д. А. Поспелов. – М.: Наука, 1986. – 288 с.
18. Рубинштейн С. Л. Избранные философско-психологические труды / С. Л. Рубинштейн. – М.: Наука, 1997.
19. Уотермен Д. Руководство по экспертным системам / Д. Уотермен. – М.: МИР, 1989. – 388 с.
20. Хайдеггер М. Бытие и время / М. Хайдеггер. – М.: Ad Marginem, 1997. – 236 с.
21. Хокинс Д. Об интеллекте / Д. Хокинс, С. Блейкли. – М.: Вильямс, 2007. – 240 с.

22. Холодная М. А. Психология интеллекта. Парадоксы исследования / М. А. Холодная. – СПб. : Питер, 2002. – 272 с.
23. Gottfredson L. S. Mainstream Science on Intelligence / L. S. Gottfredson // Wall Street Journal. – December 13, 1994. – P. 18.
24. Glaser R. A research agenda for cognitive psychology and psychometrics / R. Glaser // Amer. Psychologist. – 1980. – V. 36 (9). – P. 923–936.
25. Glaser R. Education and thinking: The role of knowledge / R. Glaser // Amer. Psychologist. 1984. – V. 39(2). – P. 93–104.
26. Guilford I. P. The structure of intellect / I. P. Guilford // Psychol. Bull. – 1956. – V. 53. – P. 267–293.
27. Sternberg, R. J. Introduction / R. J. Sternberg // Models of intelligence : International perspectives / R. J. Sternberg, J. Lautrey & T. I. Lubart (Eds.). – Washington, DC : American Psychological Association, 2003.

V. Mejtus

## INTELLECTUAL SYSTEMS, ONTOLOGIES AND ONTOLOGY SPACES

*The basic problems of creation of the systems allocated with intelligence are considered. Classification of modern definitions of concept «intelligence» is presented. The basic lines of intellectual systems (IS) and a general plan of creation of such system are analysed. The role ontology which is taken as a principle semantic representation about a subject domain in which operates IS is noted. Definition of ontology space in which IS conducts search of the decision of the problems it is offered.*

УДК 681.3.06

Шкільняк С. С.

## НЕОКЛАСИЧНІ АЛГЕБРИ ТА ЇХ ГОМОМОРФІЗМИ

*Розглянуто узагальнені поняття алгебри, алгебраїчної системи, гомоморфізми алгебр та алгебраїчних систем. Досліджено неокласичні алгебри (алгебри з квазіарними функціями і предикатами) та їх гомоморфізми, доведено теореми про гомоморфізми та ізоморфізм.*

Розвиток інформаційних технологій та програмування на сучасному етапі характеризується широким використанням понять і методів математичної логіки. Це актуалізує проблему побудови адекватних логічних формалізмів, орієнтованих на особливості тих чи інших предметних областей. Методологічною основою такої побудови є інтегрований інтенціонально-екстенціональний підхід [1], який базується на спільному для логіки та програмування композиційно-номінативному підході [2].

Згідно з інтенціонально-екстенціональним підходом, інтенціональні аспекти визначаються властивостями відповідного рівня абстракції розгляду, вони індукують тип логіки, її мову, екстенціональні семантичні моделі. Такими моделями є предикатні композиційні системи [2]. Предикатна композиційна система  $(D, Pr, C)$  фактично задає дві алгебри – предикатну алгебру  $(Pr, C)$  та алгебру (алгебраїчну систему) даних  $(D, Pr)$ .

Дослідження алгебр та алгебраїчних систем композиційно-номінативних логік започатковане в [3]. Далі такі об'єкти вивчались, зокрема, в [4]. У статті продовжимо дослідження алгебр і алгебраїчних систем та їх гомоморфізмів. У першій частині розглядаємо, опираючись на роботу [3], загальне поняття абстрактної алгебри. У другій та третій частинах вивчаємо алгебри з квазіарними функціями і предикатами – неокласичні алгебри, доводимо теореми про гомоморфізми та ізоморфізм таких алгебр.

Невизначені тут поняття трактуємо у роботі [4].

### 1. Абстрактні алгебри та алгебраїчні системи. Гомоморфізми

Поняття алгебри належить до найфундаментальніших понять математики. В загальному випадку під *алгеброю* будемо розуміти множину, на якій задані певні функції.