

---

# МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ МЕТОДИ

---

Doi: <https://doi.org/10.15407/emodel.42.05.005>  
УДК 004.891:007.51

**О.Є. Коваленко**, канд. техн. наук  
Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України,  
Україна, 30164, Київ, вул. Генерала Наумова, 15  
Інститут проблем математичних машин та систем НАН України  
Україна, 30187, Київ, пр-т Академіка Глушкова, 42,  
тел. +380982143564, e-mail: Kovalenko.O.E@nas.gov.ua

## Онтологія та модель трансформації інформації в ситуаційних агентних системах

Запропоновано новий методологічний підхід до інформаційної систематики. Сформульовано класифікаційні ознаки визначення категорій інформації. Запроваджено єдиний кореневий концепт інформації та побудовано його онтологію. Розроблено модель трансформації інформації на основі запропонованої онтології. Описано застосування онтологічної моделі інформації при побудові архітектури ситуаційних агентів. Показано універсальність запропонованих моделей на прикладі моделі BDI (beliefs, desires, intentions) агента та можливості застосування у ситуаційних системах.

*К л ю ч о в і с л о в а* : інформація, представлення знань, онтологія, ситуаційний менеджмент, агент BDI.

Ситуаційне управління — це індивідуальна або колективна діяльність, пов'язана з прийняттям рішень і реакцією на виникнення в навколишньому середовищі подій та їх наслідків. Ситуаційне управління пов'язано з поняттям ситуації. Існують різні визначення цього поняття. У роботі [1] проаналізовано 15 різних визначень поняття ситуація і серед них такі: ситуація — це «діюча абстракція спостережуваних просторово-часових дескрипторів».

Дамо наступне визначення ситуації.

**Визначення 1.** Ситуація — це усвідомлені знання суб'єкта про динаміку навколишнього середовища, представлене певними типами інформаційних повідомлень (нарративів), що є основою для побудови обґрунтованої інтерпретації послідовності змін у станах (динаміці) світу (предметної області) з певної точки зору [2]. Процес ситуаційного управ-

ління включає в себе цикл прийняття рішень і складається з підпроцесів усвідомлення ситуації: оцінка ситуації, розробка стратегії управління ситуацією; визначення, надання та розподіл ресурсів; реалізація стратегії, аналіз досягнення цілей. Ця діяльність пов'язана з перетворенням (трансформацією) та обробкою різних видів інформації.

Інформація — це широке поняття, яке стосується різних аспектів сприйняття та представлення навколишнього середовища. Наприклад, словник Merriam-Webster дає чотири різні визначення інформації та додаткові її визначення [3]. Феномен інформації з семантичної точки зору досліджував Лучіано Флоріді [4]. У словнику інформаційних технологій [5] дано два визначення інформації:

1) щодо обробки інформації — це знання про об'єкти, а саме факти, події, речі, процеси та ідеї, в тому числі поняття, які в певному контексті мають особливе значення;

2) щодо теорії інформації — це знання, яке зменшує або усуває невизначеність про виникнення конкретної події з заданого набору можливих подій.

Проблема створення спільного інформаційного середовища пов'язана з необхідністю створення єдиної інформаційної моделі. За визначеннями чітко виділяються різні види інформації. Зазвичай розмежування між ними ґрунтується на атрибутах середовища передачі інформації, її структурі, способі сприйняття, засобах обробки, зберігання, стані та інтерпретації (за призначенням та семантикою).

Джерелом інформації є подія або явище, яке генерує сигнал (за відсутності сигналу інформація відсутня). Сигнал реєструється відповідними сенсорами (датчиками) і далі може бути поданий у вигляді структурованого набору даних. Після цього дані про сигнал інтерпретуються відповідно до області знань їх застосування з використанням моделей інтерпретації знань для збагачення та генерації нових знань. Далі знання перетворюються на мудрість (інтелект) у поєднанні з індивідуальністю їх носія. Притаманна людям мудрість передається доступним способом послідовникам. Так схематично можна подати трансформацію інформації.

Під час трансформації інформація проходить наступні етапи: сигнал (подія) → дані (структура) → усвідомлення (розпізнавання) → пізнання (розуміння) → рішення (мудрість). Перший етап має природне походження, а інші — є штучними когнітивними (пізнавальними) конструкціями.

**Таксономія та онтологія інформації.** Зміст поняття «інформація» має різне наповнення у різних філософських школах і залежить від географії та різних прагматичних контекстів. Одна з найпопулярніших ієрархічних моделей трансформації інформації, введена Р.Л. Акоффом, об'єднала концепції даних, інформації, знань та мудрості в єдиній фор-

мулі DIKW [6]. Ця модель певний час була корисною в прагматичному контексті, але не була формально коректною та строгою.

Розглянемо нову семантичну таксономію та онтологію для основних понять інформатики.

**Твердження 1.** Всі види сприйняття — це є сприйняття інформації.

**Твердження 2.** Результатом обробки прийнятої інформації є інформація.

**Твердження 3.** Інформація про об'єкти та властивості належить до однієї з категорій: сигнал, дані, знання, мудрість.

Відмінності між категоріями полягають у використанні сигналів для сприйняття та впливу, даних — для структурованого представлення та зберігання, знання — для розпізнавання та розуміння, а мудрість — для прийняття рішень та керування діяльністю.

У роботі [7] виділено чотири кількісні та дві якісні формалізації поняття інформації.

*Кількісні поняття:*

1. Інформація за концепцією Фішера.
2. Інформація за концепцією Шеннона.
3. Інформація за концепцією складності Колмогорова.
4. Інформація за квантовою концепцією (кубіт).

*Якісні поняття:*

5. Інформація про стан агента.
6. Семантична інформація.

Інформація 1 обчислюється кількістю інформації, що несе спостережувана випадкова величина про невідомий параметр, від якого залежить ймовірність спостережуваної випадкової величини.

Інформація 2 обчислюється як ентропія дискретної випадкової величини, що вимірюється рівнем невизначеності, пов'язаної зі значенням цієї дискретної випадкової величини.

Інформація 3 обчислюється як довжина найкоротшої програми, що видає двійкові рядки на еталонній універсальній машині Тьюрінга.

Інформація 4 є узагальненням класичного біта і описується квантовим станом у двостановій квантово-механічній системі, формально еквівалентній двовимірному векторному простору комплексних чисел. Чистий стан кубіта — це лінійна суперпозиція базисних станів 0 та 1.

Інформація 5 являє собою оцінку стану цільової предметної області через формальне логічне обґрунтування понять знань та переконань в контексті теорії інформації, результатів анкетування або поширення загальних повідомлень.

Інформація 6 визначає семантичну інформацію як добре сформовану, змістовну та правдиву.

Компонування та узгоджене використання різних понять в практичній діяльності у відповідному контексті може бути здійснено за допомогою адекватної онтології інформації. Різні концепції можуть бути реалізовані через онтологію. У роботі [8] запропоновано п'ять різних онтологій, пов'язаних зі словосполученням «онтологія інформації» (information ontology). Найбільш загальною з них є онтологія артефактів інформації (Information Artifact Ontology) [9]. Інші онтології мають окрему спеціалізовану семантику.

Інформація є ключовим елементом прийняття рішень та використовується на кожному етапі циклу прийняття рішень. Існують різні цикли прийняття рішень, але кожен з них являє собою послідовність етапів, що використовуються суб'єктом на повторюваній основі для досягнення і реалізації рішень та аналізу результатів [10]. Для прийняття рішень необхідна узгоджена таксономія інформації, яка дозволяє використовувати її у правильному контексті відповідно до ситуації.

Згідно твердження 3 властивості категорій інформації за атрибутами, використанням та орієнтацією обробки наведено в таблиці. Узгоджена онтологія інформації може бути побудована за допомогою композиції концептів інформації різного контексту в межах концепту верхнього рівня. Концепти нижчих рівнів повинні відображати специфіку конкретних проявів інформації. Такими проявами інформації є сигнали, дані, знання та мудрість.

**Онтологія сигналів.** У різних областях використання, таких як системи зв'язку, обробка сигналів та електротехніка, сигнал є способом передачі інформації про поведінку або ознаки якогось явища [11]. У [12] властивості сигналу як фізичного процесу визначаються взаємодією між матеріальним об'єктом та засобом його дослідження Це визначення сиг-

#### Властивості категорій інформації

Категорія інформації	Атрибути	Використання	Фокус оцінювання
Сигнал	Джерело, середовище, потужність, час	Передача, приймання, комунікації	Атрибути
Дані	Об'єм, тип	Запам'ятовування і зберігання	Структура
Знання	Семантична повнота	Розуміння, інтерпретація, мотивування	Логічна модель і виразність
Мудрість	Ефективність, продуктивність, корисність, практичність	Прийняття рішень, раціональна поведінка	Практичність, результативність, цілеспрямованість

налу відрізняється від його визначення як зміни фізичної величини, що використовується у роботі [6]. Модель I-SDKW [13] свідчить про те, що сигнали є носіями інформації про дані, знання та мудрість.

Атрибутами сигналу є джерело, середовище поширення, спектр, спосіб реєстрації, потужність, рівень, час, спосіб подання. Ці атрибути дозволяють визначити сигнал для його подальшого перетворення, зберігання та інтерпретації. Сигнал в інтерпретації семіотичної теорії Пірса асоціюється зі знаком та його категоріями. Типи знаків визначаються теорією знаків Пірса [14]. Сигнал є відображенням події, пов'язаної зі зміною стану об'єкту, що спостерігається та розпізнається сенсорами системи приймання сигналу. Отже, подія, яка не розпізнається сенсорами, не є сигналом. Сигнал є первинною формою обміну інформацією. Як первинна інформація про зміни у стані об'єкта спостереження сигнал описується функцією часу  $s(t)$ , що відображає параметри цих змін у часовій області. На основі первинного представлення сигналу у часовій області можуть бути отримані спектральні та інші атрибути (характеристики) сигналу.

**Онтологія даних.** Дані — це повторно інтерпретоване представлення інформації певним формалізованим способом, придатним для комунікацій, інтерпретації та обробки людиною або автоматичними засобами [6], тобто дані є інформацією. Опис даних формується на різних рівнях: атомарні дані — структури даних — тип даних GPD — визначений тип даних (конкретний, абстрактний, алгебраїчний). Вичерпну прагматичну онтологію типів даних загального призначення відповідно до стандарту ISO про типи даних описано у [15,16].

При прийнятті рішень у процесах ситуаційного управління важливо мати додаткову інформацію, що описує контекст даних, зокрема їх джерело, місце зберігання та спосіб використання. Дані характеризуються множиною допустимих операцій, що позначається акронімом CRUD (create, read, update, delete). Отже, формально дані є відображенням  $F_d$  сигналу  $s(t)$  у структуру даних  $D$  зі структурними елементами даних  $E$  і відношеннями  $R$  між ними:  $F_d : s(t) \rightarrow D = \langle E, R \rangle$ . Зворотнє перетворення формує сигнал на основі даних  $F_d^{-1} : D \rightarrow s(t)$ .

**Онтологія знань.** Існують різні визначення знань [17,18]. Як результат трансформації інформації можна дати наступне визначення поняття «знання».

**Визначення 2.** Знання — це обізнаність, усвідомлення, розуміння, вміння та навички суб'єктів (природних, соціальних, штучних агентів) про реальні чи абстрактні об'єкти та суб'єкти середовища, здобуті та систематизовані через обробку інформації [13]. Під суб'єктами (акторами) будемо розуміти автономні проактивні сутності середовища (предметної області), що характеризуються цілеспрямованою раціональною поведін-

кою на основі моделі світу. Проактивність передбачає не лише просте реагування на зміни середовища, але й формування цілеспрямованої поведінки і здатність проявляти ініціативу.

Слід відрізняти знання та розуміння. Розуміння — це володіння певною інформацією в різних формах представлення про об'єкти та суб'єкти середовища та відношення між ними. Знання — це структурована та систематизована інформація з певних предметних областей (доменів), представлена з використанням відповідних засобів і (або) інструментів маніпуляції, спрямованих на отримання нової інформації про ці предметні області. Засоби та інструменти маніпулювання знаннями можуть бути реалізовані як формальні абстрактні логічні теорії і технології на їх основі.

Одним із комплексних сучасних формальних методів представлення і маніпулювання знаннями є описові (дескрипційні) логіки (DL) [19]. База знань відповідно до формалізму DL — це впорядкована пара  $K = (T, A)$ , до якої належать множини TBox  $T$  і ABox  $A$ . Множина TBox є множиною термінологічних аксіом бази знань, а множина ABox є множиною тверджень та фактів бази знань, тобто тверджень про індивідів.

В окрему множину аксіом можна виділити ієрархію ролей RBox. Конкретна описова логіка має набір конструкторів та індуктивного правила, за допомогою якого складові концепти даної логіки будуються з атомарних концептів і атомарних ролей. Дескрипційні (описові) логіки пов'язані з модальними логіками (ML), але розроблені незалежно. Деякі варіанти описової логіки є синтаксичними варіантами ML. Загалом об'єкти DL відповідають можливим світам ML, концепти DL відповідають модальним пропозиціям (твердженням) ML, а обмежений роллю квантифікатор в DL — модальному оператору в ML з такою ж роллю, як доступні йому відношення.

Знання можуть бути явними, неявними або уявними (ментальними). Ключовим механізмом розширення знань є розумова діяльність або процеси отримання знань та розуміння шляхом мислення, досвіду та відчуттів, що складають сутність когнітивних процесів.

Знання як категорію інформації складають структури даних  $D$  з заданими на них відношеннями  $M$  та функціями інтерпретації  $I$ , які визначають правила та обмеження їх обробки:  $K = F_k(D, M, I)$ . Тобто база знань має інтерпретацію  $I$  (моделює предметну область):  $I \models K$  iff  $I \models A$  &  $I \models T$ . Структури даних  $D$  складають концепти та факти баз знань, відношення  $M$  дозволяють побудувати твердження на їх основі, а функції інтерпретації  $I$  — побудувати логічні висновки на основі тверджень і фактів. Отже, формально знання є відображенням  $F_k$  структур даних  $D$ , що представляють концепти предметної області, у модель знань  $K$  з

заданими відношеннями  $M$  та функціями інтерпретації  $I$ , тобто  $F_k: D \rightarrow K = \langle D, M, I \rangle$ . Зворотнє перетворення формує набори даних на основі знань  $F_k^{-1}: K \rightarrow D$ .

**Онтологія мудрості.** Концепція мудрості — це філософська проблема, сформульована ще в часи античності і актуальна до сьогодні, яка стосується діяльності людини в різних сферах. Мудрість — це складна соціологічна та когнітивна конструкція, заснована на п'яти принципах [20]:

- 1) базується на розумі та спостережливості;
- 2) допускає нераціональні та суб'єктивні елементи в судженнях;
- 3) спрямована на справжні гуманні та добродієсні результати, тобто ґрунтується на загальноприйнятій етичній моделі;
- 4) є артикульованою, естетичною та суттєво корисною;
- 5) практична (має бути корисною для чогось).

У роботі [21] описано різні теорії мудрості, корисні в різних ситуаціях. Ці теорії ґрунтуються на таких підходах, як епістемічна стислість, епістемічна точність, використання знань, гібридність, раціональність. Теорія мудрості як раціональності уникає серйозних проблем інших теорій і пояснює мудрість як глибокий і всебічний вид раціональності. Теорія глибокої раціональності базується на чотирьох умовах [21], а саме суб'єкт  $S$  можна вважати мудрим тоді і лише тоді, коли:

- $S$  має широке розмаїття епістемічно обґрунтованих переконань щодо найрізноманітніших корисних теоретичних дисциплін, тобто є добре теоретично обізнаним;
- $S$  має широке різноманіття обґрунтованих переконань щодо того, як діяти раціонально (епістемічно, морально та практично);
- $S$  прагне діяти раціонально;
- $S$  має дуже мало необґрунтованих переконань і чутливий до їх обмежень.

В такій інтерпретації мудрості переконання, по суті, є глибоко усвідомленими знаннями, що визначають ментальність (ментальну модель) суб'єкта.

Ступінь (міра) раціональності (мудрості) поведінки суб'єкта формально може бути оцінена з використанням теорії корисності [22, 23] або теорії перспектив (проспектів) [24, 25]. Зокрема, основне спостереження кумулятивної (накопичувальної) теорії перспектив (Cumulative Prospect Theory) (і базової теорії перспектив) полягає в тому, що суб'єкти зазвичай оцінюють можливі результати відносно певної еталонної точки (певного статус-кво), а не відносно кінцевого стану, що називають ефектом обрамлення (фреймінгом). Більше того, вони мають різне ставлення стосовно ризику до переваг (тобто результатів вище еталону) та втрат (тобто

результатів нижче еталону) і в основному більше піклуються про потенційні втрати, ніж про потенційні переваги (відмова від втрат). Крім того, суб'єкти, схильні переоцінювати екстремальні, але малоімовірні події, недооцінюють «середні» події. Це положення, на відміну від базової теорії перспектив, передбачає, що суб'єкти надмірно переоцінюють малоімовірні події, незалежно від їх відносних результатів.

Кумулятивна теорія перспектив включає ці спостереження в модифіковану теорію очікуваної корисності через заміну кінцевої переваги перевагою відносно еталонної (опорної) точки, заміни функції корисності функцією значимості, що залежить від відносної переваги, і заміну кумулятивних ймовірностей зваженими кумулятивними ймовірностями. У загальному випадку це призводить до наступної формалізації суб'єктивної корисності ризикованого результату  $U(p)$ , описаного мірою ймовірності  $p$ :

$$U(p) := \int_{-\infty}^0 v(x) \frac{d}{dx} (w(F(x))) dx + \int_0^{+\infty} v(x) \frac{d}{dx} (-w(1-F(x))) dx,$$

де  $v$  — функція значимості;  $w$  — вагова функція;  $F(x) := \int_{-\infty}^x dp$  —

інтеграл вимірювання ймовірності для всіх значень  $x$ , тобто кумулятивна ймовірність. Це узагальнює первісне формулювання [24] від скінченної множини окремих результатів до нескінченних (тобто безперервних) результатів.

Таким чином, мудрість  $B$  є відображенням моделі знань  $K$ , доповненої функціями  $v$  та  $w$ , що визначають міру корисності  $U$  знань про варіанти дій в тій чи іншій ситуації:  $F_b : K \rightarrow B = \langle K, U \rangle$ . Зворотне перетворення формує фрагменти знань (логічні твердження) на основі запропонованих раціональних (мудрих) рішень  $F_b^{-1} : B \rightarrow K$ .

**Модель трансформації інформації I-SDKW** (Information as Signal, Data, Knowledge, Wisdom (Rationality, Intelligence)) базована на семантичних аспектах використання інформації в ситуаційних системах в процесах різних видів ситуаційного управління. Модель I-SDKW, як альтернатива популярній моделі DIKW, є композицією різних категорій феномену інформації — сигналів (сприйняття символів, знаків), даних (отримання та структурування сигналів), знань (знання, усвідомлення, розуміння, використання даних) та мудрості (прийняття рішень, корисність, розумна поведінка), що охоплюють різні когнітивні процеси мислення, такі як навчання, прийняття рішень, інтелектуальна поведінка. Таким чином, інформація трансформується через отримання, збирання, агрегування, фільтрування, представлення, усвідомлення, інтерпретацію, оцінку, ви-



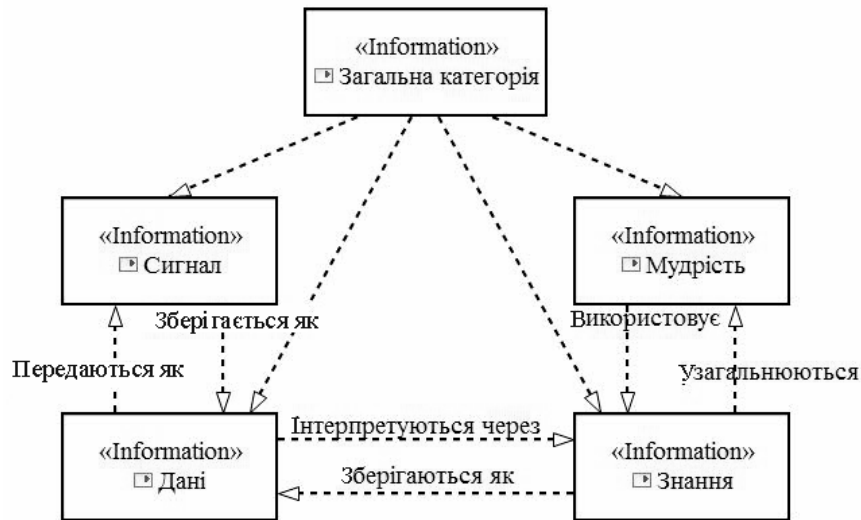


Рис. 1. Зв'язок між категоріями інформації

користання та збагачення, складання та просування до етапів вищого рівня та в зворотному напрямку. Зв'язок між категоріями інформації зображено на рис. 1.

Перетворення інформації в інформаційних системах відбувається відповідно до моделі I-SDKW у двох напрямках: від сприйняття сигналу як події до формування на його основі «мудрого» висновку та зворотного представлення цього висновку у вигляді сигналу для цільової системи. Отримання інформації починається з події прийому сигналу від джерела з навколишнього середовища з використанням відповідних сенсорів. Відсутність сигналу означає відсутність інформації.

Отже, сигнал про спостережуване явище (процес, подію) несе в собі первинну інформацію про це явище у формі динамічного фізичного процесу і після трансформації може бути представлений відповідними структурами даних. Ці структури даних можуть складати семантичні (змістовні, контекстні) композиції у вигляді аксіом термінологічної частини TBox та множини фактів і тверджень стверджувальної частини ABox [19] деякої області знань, в пов'язаній множині фактів в межах конкретної бази знань. Проблема полягає у способах отримання та інтерпретації (трансформації) інформації з цільової предметної області. Способи отримання та інтерпретації інформації визначаються категорією інформації та її властивостями, які можуть бути представлені у вигляді онтології верхнього рівня.

Фрагмент верхнього рівня онтології I-SDKW в поданні OntoGraf зображений на рис. 2. У цій онтологічній моделі інформацію представле-

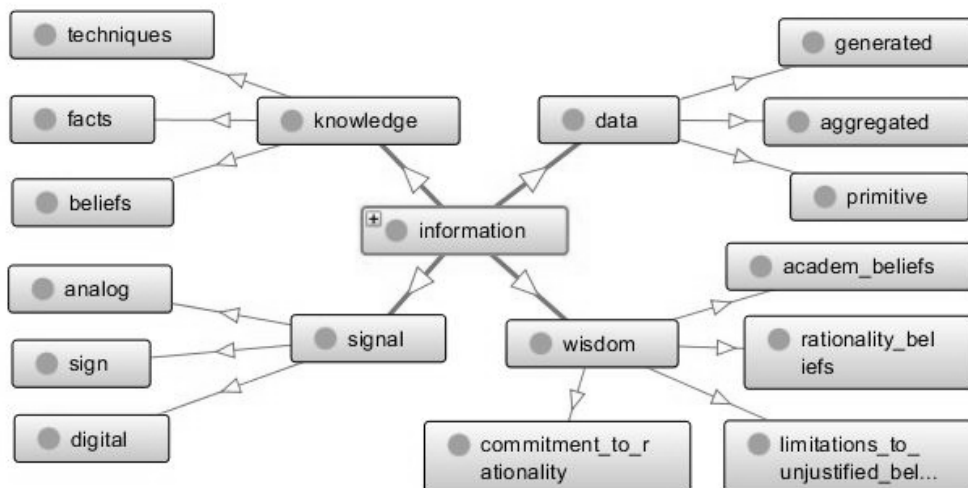


Рис. 2. Фрагмент онтології I-SDKW у поданні візуалізатора OntoGraf

но в різних проявах. Інформація виявляється або сигналом, або структурою, або теорією (системою), або рекомендаціями, або найкращою практикою тощо. Слід зазначити, що наявність знань не є достатньою умовою для ефективного (розумного, мудрого) рішення. Суть мудрості полягає в тому, що рішення крім логічності також має відповідати контексту ситуації.

Онтологія є результатом систематизації тезаурусу проблемної області знань. Інформація про проблемну область структурується через трансформацію інформації, починаючи з реєстрації сигналів (послідовностей, символів, знаків та символів) з наступним формуванням відповідних структур даних, подальшою побудовою керованих словників, їх систематизації, і, зрештою, створенням тезаурусу та онтологій. На основі сформованих структур можна побудувати перцептивну модель з прямою трансформацією інформації від сигналу до мудрості та зворотною трансформацією від мудрості до сигналу.

Наведена модель трансформації інформації є притаманною властивістю ситуаційного агента. Відповідно до онтології I-SDKW трансформація інформації відбувається у ситуаційних системах [26], які складаються з ситуаційних агентів.

**Визначення 3.** Ситуаційним агентом є цілеспрямований суб'єкт предметної області, якому притаманна модель раціональної поведінки на основі усвідомлення, аналізу та прогнозування наслідків поточної ситуації.

Отже, метою ситуаційного агента є вплив на процеси ситуаційного середовища для зміни його стану у відповідності з уявленнями (знаннями, переконаннями) агента (рис. 3).

Ситуаційного агента можна розглядати як варіант «розумного» агента (smart agent) за класифікацією Н.С. Nwana [27]. Поведінка ситуаційного агента визначається моделлю трансформації інформації I-SDKW. Поведінкову модель ситуаційного агента наведено на рис. 4. Спираючись на модель BDI

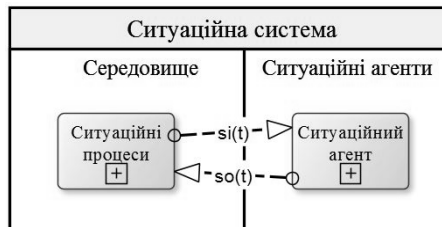


Рис. 3. Взаємодія середовища і ситуаційного агента

(переконавання-прагнення-наміри) [28] поведінки агента, можна описати модель ситуаційного агента, що формує раціональну поведінку у відповідності з описаною I-SDKW моделлю трансформації інформації.

Модель практичного міркування BDI була запропонована М. Братманом [29] як спосіб пояснення намірів, орієнтованих на досягнення поставлених цілей у майбутньому. В основі моделі BDI лежить так звана фолк-психологія (народна психологія, теорія теорії, теорія здорового глузду) [30], що відображає ментальні моделі світу (оточуючого середовища) у формі теорій. Модель BDI було покладено в основу розробки моделі BDI програмування поведінки розумних агентів.

Фолк-психологія — це термін, який широко використовується в філософії свідомості і когнітивній науці, а також в науковій літературі в трьох різних контекстах:

- 1) для позначення певної сукупності когнітивних здібностей, які включають в себе здатність передбачати і пояснювати поведінку;
- 2) для позначення теорії поведінки, що обґрунтовує сукупності когнітивних здібностей, зокрема здатність передбачати і пояснювати поведінку;
- 3) для позначення ненаукової психологічної теорії, що складається з поширених протонародних трактувань психологічних термінів, поведінки і особистісних якостей.

Фолк-психологія має важливе значення для оцінки та остаточного розуміння нових ситуацій в оточуючому середовищі. Зокрема, на основі контекстних ментальних моделей (контекстної моделі знань) в формі прототипу та зразкових уявлень (переконань) індивіди (агенти) здатні точніше представляти та усвідомлювати ситуації в навколишньому середовищі. Відповідно до контекстної моделі знань загальна схожість між прототипом та заданим екземпляром категорії оцінюється на основі декількох точок зору (тобто вимірів: форми, розміру, кольору тощо). Мультиплікативна функція, яка моделює явище, має вигляд

$$s(P, E_i) = \prod_k s(P, E_{ik}).$$

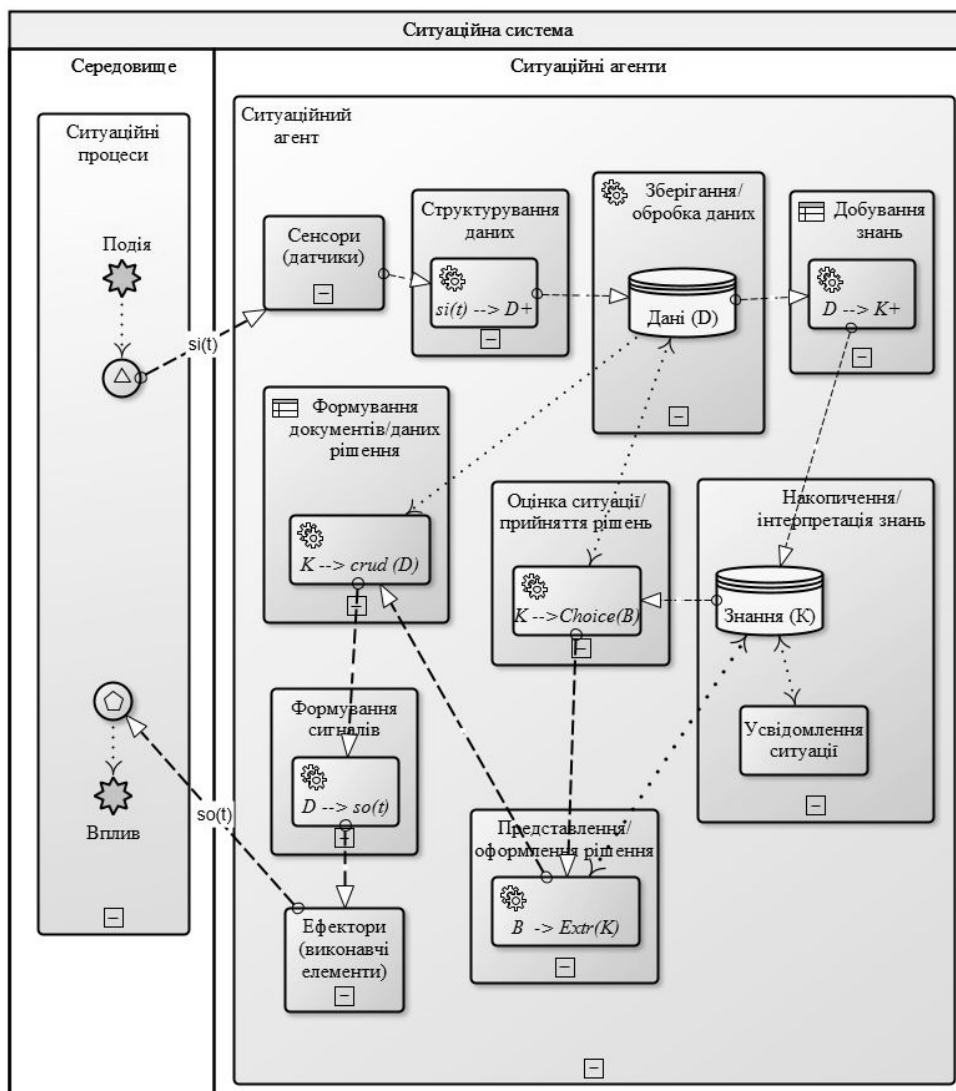


Рис. 4. Поведінкова модель ситуаційного агента

Тут  $S(P, E_i)$  — схожість між прототипом  $P$  та  $i$ -ми екземплярами;  $k$  — кількість вимірів (точок зору),  $k = 1 \dots k$ ;  $S(P, E_{ik})$  — подібність між прототипом та  $i$ -м зразком у  $k$ -му вимірі.

При описі поведінки розумних агентів слід також враховувати їх обмежену раціональність, пов'язану з проблемою вибору, обмеженнями знань, доступними ресурсами тощо. Обмежена раціональність, яка є основою математичного моделювання при прийнятті рішень, використовується як певна оптимізація, коли прийняття рішень розглядається як

цілком раціональний процес пошуку оптимального вибору з урахуванням наявної інформації. У роботі [31] описано моделі раціональності, які можуть набути більшої реалістичності, але з дотриманням достатньо строгої формалізації. Моделі раціональної поведінки більш широкого застосування (глобального типу), що будуються зазвичай, так і локального застосування (обмеженого типу), повинні включати в себе деякі або всі елементи наступного переліку:

1. Множина альтернатив поведінки (альтернативи вибору чи рішення).
2. Обмежена підмножина альтернатив поведінки, яка розглядається або сприймається агентом. Тобто агент може зробити свій вибір у рамках більш обмеженої множини альтернатив у порівнянні з усіма об'єктивно доступними йому альтернативами.
3. Можливі майбутні ситуації чи результати вибору. Тобто, на початку немає необхідності розрізняти фактичний та прийнятний результат.
4. Функція окупності, яка представляє цінність або корисність, що надаються агентом при кожному з можливих результатів вибору. Для спрощення можна вважати, що корисність результату вибору вже є визначеною.
5. Інформація щодо того, які результати з множини можливих результатів фактично будуть обрані, якщо буде обрана певна альтернатива з множини альтернатив рішень. Ця інформація може бути неповною, тобто для кожної альтернативи поведінки може бути більше одного можливого результату, а саме подається інформація про відображення кожного елемента з множини обраних альтернатив поведінки на підмножину можливих результатів.
6. Інформація щодо ймовірності того, що конкретний результат настане, якщо буде обрано певну альтернативу поведінки.

Г. Саймон [31] запропонував при прийнятті рішень агентами використовувати евристичну модель раціональної поведінки замість жорстких правил оптимізації. Вибір евристичної моделі поведінки пов'язаний зі складністю ситуації та неможливістю обробити та обчислити очікувану корисність кожної альтернативної дії. Окрім оцінки витрат часто буває потрібно врахування інших економічних факторів, які впливають на прийняття рішень.

Г. Діксон [32] запропонував процес міркування, що лежить в основі обмеженої раціональності. Якщо припустити, що агенти обирають дію, яка наближена до оптимальної, то можна використати наближену  $\epsilon$ -оптимізацію, тобто агент обирає дії так, щоб значення критерію оптимальності було в межах  $\epsilon$  від оптимального. Якщо визначити оптимальний (найкращий можливий) виграв як  $U^*$ , то набір  $\epsilon$ -оптимальних параметрів  $S(\epsilon)$  можна визначити як усі варіанти  $s$ :  $U(s) \geq U^* - \epsilon$ . Поняття стро-

гої раціональності (оптимальності) буде тоді частковим випадком, коли  $\varepsilon = 0$ . Перевага такого підходу полягає в тому, що при його використанні немає необхідності детально визначати процес міркування, а оптимальний вибір знаходиться в межах  $\varepsilon$ .

В моделі Братмана прагнення і наміри вважаються мотивами, з яких випливає дія, але намір сприймається як керівний мотив вищого порядку. Він визначає поняття зобов'язання як фактору, що розділяє прагнення і наміри, з урахуванням, що, по-перше, зобов'язання встановлює тимчасову сталість в реалізації певного плану, і, по-друге, наступні плани будуються на основі тих, які агент вже прийняв як обов'язкові до виконання.

Модель програмування BDI частково визначає практичну реалізацію зазначених концепцій. Однак тимчасова сталість в розумінні безпосередньо минулого часу з моменту початку реалізації конкретного плану не розглядається. Ієрархічність планів відбивається досить простим способом: кожен план складається з набору кроків, на кожному з яких може бути ініційований черговий новий план. У такій ієрархії природним чином закладена саме описана вище тимчасова сталість, адже кожен новий план по суті є продовженням попереднього, а агент продовжує слідувати загальному плану відповідно до його наступних варіантів.

Важливим аспектом моделі BDI в теоретичному сенсі є наявність логічних моделей, за допомогою яких можна визначити і потім вивчати поведінку агентів. Так, наприклад, дослідження в даній області привели до аксіоматизації деяких реалізацій моделі BDI і до появи описів на основі формальної логіки, таких як BDICTL [33], де об'єднано мультимодальну логіку, що описує модальності переконань, прагнень і намірів, і темпоральну логіку CTL. Пізніше М. Вулдрідж [34] розширив BDICTL до LORA (the Logic of Rational Agents (логіка раціональних агентів)), використовуючи логіку дій. LORA дозволяє розглядати не тільки поведінку окремих агентів, але і процеси взаємодій в мультиагентній системі, таких як передача інформації.

Отже, неформально семантику компонентів архітектури BDI-агента можна описати наступним чином.

Переконання описують ступінь інформованості агента, або його уявлення про навколишній світ (модель світу), включаючи себе самого та інших агентів. Переконання можуть також будуватися на основі міркувань (логічного виводу), що дозволяють виводити наслідки і створювати нові переконання. Поняття переконання можна трактувати, як особливий вид суб'єктивних знань агента, які можуть містити не лише правильні (істинні) твердження, а й хибні, в загально прийнятому розумінні, твердження, які агент суб'єктивно вважає правильними. Модель знань, яка

представляє переконання, впливає на поведінку агента. Переконання зберігається у частині бази знань, яку називають базою переконань, набором переконань, вірою.

*Прагнення* (бажання) відображають стан мотивацій агента. Вони подаються у формі цілей або ситуацій, яких хотів би досягти агент. Прикладами таких прагнень можуть бути: знайти кращу роботу, відпочити, забезпечити захист. Цілі є прагненнями, прийнятими агентом до виконання. Множина цілей є підмножиною активних прагнень агента, що складається з ситуаційно сумісних (здійснених, несуперечливих) елементів. Так, наприклад, агент не повинен мати своїми цілями одночасно бажання захистити систему і зламати систему або попрацювати і відпочити.

*Наміри* відображають усвідомлений вибір плану дій агентом для реалізації прагнень, які агент вважав за краще виконувати. Наміри є підмножиною прагнень, поставлених агентом в план обов'язкового виконання. План — це послідовність елементарних дій (алгоритм, процедура або фрагмент знань), які агент здатний виконати для того, щоб здійснити один або кілька зі своїх намірів. Плани можуть бути вкладеними, тобто типовий план «відкрити двері» може припускати наявність вкладених планів «дістати ключі», «вибрати потрібний ключ». Це відображає особливість моделі Братмана, яка полягає в тому, що плани спочатку замислюються лише частково (в загальному), а деталізуються в процесі їх просування з урахуванням поточної ситуації. Зовнішнім мотиватором (сигналом) для відповідної реакції агента є подія. Зокрема, подія може призвести до оновлення (перегляду) переконань, зміни цілей або до вибору нового плану. Події генеруються (виникають) у зовнішньому середовищі і сигнали, пов'язані з подіями, обробляються агентом (див. рис. 4). Агент може також самостійно генерувати події, необхідні для реалізації власного життєвого циклу.

Представляючи компоненти архітектури BDI-агента у вигляді відповідних наборів концептів бази знань запропонованої моделі, можна вважати BDI-агентів окремим випадком ситуаційних агентів.

## **Висновки**

Запропонована модель I-SDKW трансформації інформації пов'язує між собою процеси отримання інформації у вигляді сигналів, консолідації і зберігання інформації у формі структур даних, семантичної інтерпретації інформації як знань і використання інформації для реалізації раціональної (мудрої) поведінки. Описана онтологія трансформації інформації є безперервним процесом від сприйняття сигналу до формулювання раціональних (мудрих) рекомендацій (висловлювань), корисних для ситуаційного управління через створення та інтерпретацію структур даних. Наведені твердження базовані на сучасних підходах до визначення семантики

понять, пов'язаних з трансформацією інформації: сигналів, даних, знань та мудрості.

Запропонована парадигма трансформації інформації I-SDKW враховує атрибутивні властивості інформації та способи її подання та використання. Це особливо важливо при обробці інформації під час ситуаційного управління, коли ситуаційна інформація може мати різні форми та призначення. Основні інформаційні особливості походження (атрибутивність), структурування, використання та спрямованість смислового значення створюють основу для формальної класифікації та адекватної інтерпретації інформації під час ситуаційного управління, правильного прийняття рішень та його реалізації. Для цих цілей розроблено інформаційну таксономію та формальну онтологію, які можна використовувати при формуванні системи знань ситуаційних конвергентних агентів.

Практичне використання запропонованих моделей пов'язане з адекватною побудовою інформаційних моделей для систем ситуаційного управління, їх належною обробкою та інтерпретацією. Подальші дослідження стосуватимуться зв'язків між концепціями запропонованої моделі для її практичного використання в ситуаційному управлінні.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Singh V.K., Gao M., Jain R.* Situation recognition: an evolving problem for heterogeneous dynamic big multimedia data. Proc. of the 20th ACM international conf. on Multimedia. Nara, Japan: ACM, 2012, pp. 1209–1218.
2. *Коваленко О.Є.* Застосування онтологій в системах ситуаційного управління// Матеріали XV міжнар. наук. семінару. «Сучасні проблеми інформатики в управлінні, економіці, освіті та подоланні наслідків Чорнобильської катастрофи». Київ, 4–8 липня 2016 р. Київ: Національна академія управління, 2016, с. 84–89.
3. *Definition of information.* Merriam-Webster dictionary. URL: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/information> (дата звернення: 20.05.2020).
4. *Floridi L.* Semantic Conceptions of Information. URL: <https://plato.stanford.edu/entries/information-semantic> (дата звернення: 20.05.2020).
5. *ISO/IEC 2382-2015(en).* Information technology. Vocabulary. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:63598:en> (дата звернення: 20.05.2020).
6. *Ackoff R.L.* From data to wisdom// Journal of Applied Systems Analysis, 1989, Vol. 16, pp. 3–9.
7. *Adriaans P.* Information. The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Fall 2013 Edition) / E.N. Zalta (ed.). URL: <https://plato.stanford.edu/archives/fall2013/entries/information> (дата звернення: 20.05.2020).
8. *Ontology Lookup Service.* URL: <https://www.ebi.ac.uk/ols/search?q=information+ontology&groupField=iri&exact=on&start=0> (дата звернення: 20.05.2020).
9. *Information Artifact Ontology.* URL: <https://github.com/information-artifact-ontology/IAO> (дата звернення: 20.05.2020).
10. *Decision cycle (Wikipedia).* URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Decision\\_cycle](https://en.wikipedia.org/wiki/Decision_cycle) (дата звернення: 20.05.2020).
11. *Priemer R.* Introductory Signal Processing. Singapore: World Scientific, 1990, 752 p.
12. ДСТУ 2938-94. Системи оброблення інформації. Основні поняття. Терміни та визначення. Київ, 1995, 31 с.



13. *Kovalenko O.* Information Taxonomy and Ontology for Situational Management// IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies, CSIT: proc. (7 November 2018). 2018, Vol. 2, pp. 94–97. DOI: 10.1109/STC-CSIT.2018.8526723.
14. *Peirce C.S., Welby V.* Semiotics and Significs. Bloomington IN: Indiana University Press, 1977, 201 p.
15. ISO/IEC 11404:2007(en) Information technology – General-Purpose Datatypes (GPD). URL: <https://www.iso.org/standard/39479.html> (дата звернення: 20.05.2020).
16. *Panov P., Soldatova L.N., Džeroski S.* Generic ontology of datatypes// Information Sciences. 2016, N 329, pp. 900–920.
17. *Knowledge.* URL: <https://en.oxforddictionaries.com/definition/knowledge> (дата звернення: 20.05.2020).
18. Definition of knowledge. URL: <https://www.collinsdictionary.com/dictionary/english/knowledge> (дата звернення: 20.05.2020).
19. *Van Harmelen F., Lifschitz V., Porter B. (eds.)* Handbook of Knowledge Representation. Amsterdam: Elsevier B.V., 2008, 1034 p. DOI: 10.1016/S1574-6526(07)03003-9.
20. *Rooney D., McKenna B., Liesch P.* Wisdom and Management in the Knowledge Economy. New York, London: Routledge, Taylor&Francis Group, 2010, 248 p.
21. *Ryan S.* *Wisdom.* The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Winter 2014 Edition) / E.N. Zalta (ed.). URL: <https://plato.stanford.edu/archives/win2014/entries/wisdom> (дата звернення: 20.05.2020).
22. *Нейман Дж., Моргенштерн О.* Теория игр и экономическое поведение. М.: Наука, 1970, 707 с.
23. *Savage L.J.* The Foundations of Statistics. New York: Dover Publications, 1972, 310 p.
24. *Kahneman D., Tversky A.* Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk. // *Econometrica*, 1979, Vol. 47 (2), pp. 263–291. DOI: 10.2307/1914185.
25. *Tversky A., Kahneman D.* Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty // *Journal of Risk and Uncertainty*, 1992, Vol. 5 (4), pp. 297–323. DOI: 10.1007/BF00122574.
26. *Коваленко О.С.* Принципи інженерії ситуаційних систем // *Математичні машини і системи*, 2019, № 4, с. 65–78. DOI: 10.34121/1028-9763-2019-4-65-78
27. *Nwana H.S.* Software Agents: An Overview // *The Knowledge Engineering Review*, 1996, Vol. 11 (3), pp. 205–244. DOI: 10.1017/s026988890000789x
28. *Rao A.S., Georgeff M.P.* BDI Agents: From Theory to Practice. Proc. of the First International Conference on Multiagent Systems (ICMAS). San Francisco, 1995, pp. 312–319.
29. *Bratman M.* Intention, plans, and practical reason. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1987, 208 p.
30. *Ravenscroft I.* Folk Psychology as a Theory. The Stanford Encyclopedia of Philosophy URL: <https://plato.stanford.edu/entries/folkpsych-theory> (дата звернення: 20.05.2020).
31. *Herbert S.A.* A Behavioral Model of Rational Choice// *Quarterly Journal of Economics*, 1955, Vol. 69 (1), pp. 99–118. DOI: 10.2307/1884852.
32. *Dixon Huw.* Surfing Economics. Artificial Intelligence and Economic Theory. Ch. 7: Some thoughts on economic theory and artificial intelligence. URL: <https://www.huwdixon.org/SurfingEconomics/chapter7.pdf> (дата звернення: 20.05.2020).
33. *Georgeff M.P., Rao A.S.* The Semantics of Intention Maintenance for Rational Agents. IJCAI-95. Montreal, Canada, 1995, pp. 704–710. URL: <https://www.ijcai.org/Proceedings/95-1/Papers/092.pdf> (дата звернення: 20.05.2020).
34. *Wooldridge M.* Reasoning about rational agents. Cambridge: MIT press, 2000, 227 p.

Отримано 24.06.2020;  
після доопрацювання 03.07.2020

REFERENCES

1. Singh, V.K., Gao, M. and Jain, R. (2012), "Situation recognition: an evolving problem for heterogeneous dynamic big multimedia data", *the Proceedings of the 20th ACM international conference on Multimedia*, ACM, pp. 1209-1218.
2. Kovalenko, O.E. (2016), "Application of Ontologies in Situational Management Systems", *the Proceedings of the XV International Scientific Workshop on Modern Problems of Informatics in Management, Economics, Education*, Kyiv, Svityaz, July 4-8, National Academy of Management, pp. 84-89.
3. "Definition of information" (2018), *Merriam-Webster dictionary*, available at: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/information> (accessed September 15, 2020)
4. Floridi, L. (2015), "Semantic Conceptions of Information", available at <https://plato.stanford.edu/entries/information-semantic> (accessed September 15, 2020)
5. "ISO/IEC 2382-2015" (2015), *Information technology*, available at: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:63598:en> (accessed September 15, 2020)
6. Ackoff, R.L. (1989), "From data to wisdom", *Journal of Applied Systems Analysis*, Vol. 16, pp. 3-9.
7. Adriaans, P. (2012), "Information", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, available at: <https://plato.stanford.edu/archives/fall2013/entries/information> (accessed September 15, 2020).
8. "Ontology Lookup Service" (2018), available at: <https://www.ebi.ac.uk/ols/search?q=information+ontology&groupField=iri&exact=on&start=0> (accessed September 15, 2020).
9. "Information Artifact Ontology" (2017), available at: <https://github.com/information-artifact-ontology/IAO> (accessed September 15, 2020).
10. "Decision cycle" (2020), available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Decision\\_cycle](https://en.wikipedia.org/wiki/Decision_cycle) (accessed September 15, 2020).
11. Priemer, R. (1990), *Introductory Signal Processing*, World Scientific.
12. "DSTU 2938-94" (1994), *Information processing systems. Basic concepts. Terms and definitions*.
13. Kovalenko, O. (2018). "Information Taxonomy and Ontology for Situational Management", *2018 IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies*, Vol. 2, November 7, 2018, Article no. 8526723, pp. 94-97. DOI: 10.1109/STC-CSIT.2018.8526723
14. Peirce, C. S. (1977), *Semiotics and Significs*, Indiana University Press, Bloomington.
15. "ISO/IEC 11404:2007" (2007), *Information technology — General-Purpose Datatypes (GPD)*, <https://www.iso.org/standard/39479.html> (accessed September 15, 2020).
16. Panov, P., Soldatova, L.N. and Džeroski, S. (2016), "Generic ontology of datatypes", *Information Sciences*, Vol. 329, pp. 900-920.
17. "Knowledge" (2018), available at: <https://en.oxforddictionaries.com/definition/knowledge> (accessed September 15, 2020).
18. "Definition of 'knowledge'" (2018), available at: <https://www.collinsdictionary.com/dictionary/english/knowledge> (accessed September 15, 2020).
19. Van, H.F., Lifschitz, V. and Porter, B. (2008), *Handbook of Knowledge Representation*. DOI:10.1016/S1574-6526(07)03003-9
20. Rooney, D., McKenna, B. and Liesch, P. (2010), *Wisdom and Management in the Knowledge Economy*, Routledge, Taylor&Francis Group, New York, London.
21. Ryan, S. (2014), *Wisdom*, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, available at: <https://plato.stanford.edu/archives/win2014/entries/wisdom> (accessed September 15, 2020).
22. Von Neumann, J. and Morgenstern, O. (1944), *Theory of games and economic behavior*, Princeton University Press.

23. Savage, L. J. (1972), *The Foundations of Statistics*, Dover Publications, New York.
24. Kahneman, D. and Tversky, A. (1979), "Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk", *Econometrica*, Vol. 47, Iss. 2, pp. 263-291. DOI: 10.2307/1914185.
25. Tversky, A. and Kahneman, D. (1992), "Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty", *Journal of Risk and Uncertainty*, Vol. 5, Iss. 4, pp. 297-323. DOI:10.1007/BF00122574
26. Kovalenko, O.Ye. (2019), "Principles of situational systems engineering", *Mathematical machines and systems*, no. 4, pp. 65-78. DOI: 10.34121/1028-9763-2019-4-65-78
27. Nwana, H.S. (1996). "Software Agents: An Overview", *The Knowledge Engineering Review*, Vol. 11, Iss. 3, pp. 205-244. DOI:10.1017/s026988890000789x
28. Rao, A.S. and Georgeff, M.P. (1995), "BDI Agents: From Theory to Practice", *Proceedings of the First International Conference on Multiagent Systems (ICMAS)*, pp. 312-319.
29. Bratman, M. (1987), "Intention, plans, and practical reason", *Harvard University Press*, Vol. 10.
30. Ravenscroft, I. (2016), Folk Psychology as a Theory, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, available at: <https://plato.stanford.edu/entries/folkpsych-theory> (accessed September 15, 2020).
31. Simon, H.A. (1955), "A Behavioral Model of Rational Choice", *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 69, Iss. 1, pp. 99-118. DOI:10.2307/1884852
32. Dixon, H. (2018), Some thoughts on economic theory and artificial intelligence, *Surfing Economics. Artificial Intelligence and Economic Theory*, available at: <https://www.huwdixon.org/SurfingEconomics/chapter7.pdf> (accessed September 15, 2020).
33. Georgeff, M.P. and Rao, A.S. (1995), "The Semantics of Intention Maintenance for Rational Agents", *IJCAI*.
34. Wooldridge, M. (2000), *Reasoning about rational agents*, MIT Press, Cambridge, Mass.

Received 24.06.2020;  
after revision 03.07.2020

*O.E. Kovalenko*

#### ONTOLOGY AND MODEL OF INFORMATION TRANSFORMATION IN SITUATIONAL AGENTS' SYSTEMS

A new methodological approach to information systematics is proposed. Classification features of definition of categories of information are formulated. According to this approach, a single root concept of information was introduced and its ontology was built. A model of information transformation based on the proposed ontology is developed. The application of the ontological model of information in the construction of the architecture of situational agents is presented. The universality of the proposed models is shown on the example of the BDI (beliefs, desires, intentions) agent model and the possibility of application in situational systems.

*К е у в о р д с*: information, knowledge representation, ontology, situational management, BDI agent.

*КОВАЛЕНКО Олексій Єпіфанович, докторант Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.С. Пухова НАН України. У 1984 р. закінчив Київський політехнічний інститут. Область наукових досліджень — інформаційні технології, засновані на використанні моделей знань, системи ситуаційного управління, онтології, мультиагентні системи.*