

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МОДЕЛЮВАННЯ В ЕНЕРГЕТИЦІ ім. Г.Є. ПУХОВА**

КОВАЛЕНКО ОЛЕКСІЙ ЄПІФАНОВИЧ



УДК 004.891.2:004.82

**МОДЕЛІ І МЕТОДИ ПОБУДОВИ КОНВЕРГЕНТНИХ СИСТЕМ
СИТУАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ**

05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Інституті проблем математичних машин і систем НАН України та Інституті проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України

**Науковий
консультант**

член-кореспондент НАПН України,
доктор технічних наук, професор
Верлань Анатолій Федорович,
Інститут проблем моделювання в енергетиці
ім. Г.Є. Пухова НАН України,
головний науковий співробітник відділу
моделювання енергетичних процесів і систем

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Опанасенко Володимир Миколайович,
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України,
провідний науковий співробітник відділу
мікропроцесорної техніки

доктор технічних наук, професор
Стасюк Олександр Іонович,
Державний університет інфраструктури та технологій,
професор кафедри автоматизації та комп'ютерно-
інтегрованих технологій

доктор технічних наук, професор
Голуб Сергій Васильович,
Черкаський державний технологічний університет,
професор кафедри програмного забезпечення
автоматизованих систем

Захист відбудеться "07" травня 2021 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.185.01 в Інституті проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України за адресою: 03164, м. Київ, вул. Генерала Наумова, 15.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України за адресою: 03164, м. Київ, вул. Генерала Наумова, 15.

Автореферат розісланий "06" квітня 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



В.В. Душеба

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасні інформаційні системи управління є невід'ємною частиною засобів підтримки ефективної діяльності у різних предметних сферах. Непередбачуваність, випадковість та мінливість середовища у різних сферах діяльності потребує усвідомлення ситуаційного характеру процесів і застосування адекватних підходів та принципів у процесі здійснення такої діяльності. Таким підходом є ситуаційний підхід для організації діяльності в рамках відповідних ситуаційних систем. Ситуаційно-орієнтована діяльність реалізується в рамках перцептивного циклу і включає етапи емпіричного усвідомлення стану середовища (цільової предметної області), побудови його моделі та застосування цієї моделі при формуванні раціональної поведінки у середовищі на основі періодичного оновлення усвідомлення поточного стану цільової предметної області. Оскільки ситуаційне управління загалом стосується непередбачуваних випадкових подій, то цільова ситуаційна система повинна бути адаптована до вирішення специфічних задач конкретної проблемної ситуації. Така адаптація може бути реалізована на основі конвергенції інформаційних технологій у ситуаційних системах. Методологія ситуаційного управління (СУ) передбачає розробку і впровадження універсальних методів обробки інформації при формуванні та впровадженні ситуаційної діяльності на основі формалізованих описів цільової предметної області з використанням моделей знань.

Дослідження проблем ситуаційного управління та ситуаційної діяльності у світі та Україні мають вже більш ніж півсторічну історію. Існуючі підходи і теоретичні засади створення комп'ютеризованих систем ситуаційного управління та їх компонентів стосуються або окремих задач ситуаційного управління, або окремих рівнів та процесів їх функціонування і є специфічними для кожної реалізації і можуть бути обмежено застосовані при масштабуванні та тиражуванні таких систем. Аналіз публікацій за тематикою побудови систем ситуаційного управління показує фрагментарність досліджень і пропонування технічних рішень, що обмежує їх застосування в різних задачах ситуаційного управління.

Однією з важливих проблем створення сучасних систем ситуаційного управління є забезпечення оперативного й ефективного поєднання спроможностей систем у складі цільової системи або системи систем на основі конвергенції комп'ютеризованих засобів підтримки ситуаційної діяльності в різних проблемних областях. Конвергенція здійснюється через глибоку інтеграцію знань, засобів та усіх раціональних видів людської діяльності для досягнення спільної мети, можливостей отримання відповідей на нові питання стосовно зміни відповідної технічної або соціальної системи. Такі зміни у відповідній системі відкривають нові перспективи, шляхи та можливості дивергенції у процесі ситуаційної діяльності.

Ефективне вирішення проблеми створення конвергентних систем ситуаційного управління може бути досягнуто шляхом уніфікації математичних моделей для ситуаційних систем різного призначення з можливостями врахування особливостей окремих ситуаційних задач, що розв'язуються з використанням таких систем. Врахування особливостей системи ситуаційного управління цільового

призначення може бути забезпечено на основі використання формальної предметної бази знань. Для розв'язання вказаної проблеми доцільним є застосування модельно-орієнтованого підходу на основі конвергенції онтологічних, об'єктних, процесних, архітектурних, функціональних та агентних моделей.

Суттєвий внесок у вирішення проблем розробки теоретичних засад, методів і засобів створення універсальних та спеціалізованих комп'ютерних систем різного призначення, комп'ютерних систем з адаптивною архітектурою, технологій системної інтеграції внесли Глушков В.М., Морозов А.О., Поспелов Д.А., Палагін О.В., Згуровський М.З., Верлань А.Ф., Додонов О.Г., Петренко М.Г., Петренко А.І., Голуб С.В., Опанасенко В.М., Кривий С.Л., Стасюк О.І., Самойлов В.Д., Субботін С.О., Лисецький Ю.М., Городецький В.І., Тимченко А.А., Павлов О.А., Томашевський В.М., Теленик С.Ф., Ролік О.І., Анохин П.К., Mihajlo D. Mesarović, Yasuhiko Takahara, Gabriel Jakobson, John Buford, Lundy Lewis, Keith Devlin, Michael Wooldridge, Mark Burgess, Svyatoslav Kotusev, Scott A. Bernard, Vivek Singh, Kurt Sandkuhl, Hasan Koç, Janis Stirna, William S. Bainbridge, Mihail C. Roco та ін.

Таким чином, у зв'язку з розширенням сфери застосування, ускладненням функцій і архітектур ситуаційних систем актуальною є науково-технічна проблема розвитку теоретичних засад побудови конвергентних комп'ютерних систем ситуаційного управління шляхом розробки нових моделей і розвитку методів для забезпечення ефективності таких систем з урахуванням вимог і обмежень сфери застосування та використання моделей знань.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження з теми дисертаційної роботи проведені в Інституті проблем математичних машин і систем НАН України та Інституті проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України відповідно до плану науково-дослідних робіт НАН України при виконанні фундаментальних і прикладних держбюджетних тем: НДР «Методологічні засади створення мережі ситуаційних центрів органів державної влади України та інформаційних технологій підтримки прийняття рішень у розподіленому середовищі», («Дельта»), 2015–2018 рр., державний реєстраційний № 0115U003014 (відповідальний виконавець); НДР «Комплексні, масштабовані програмно-технічні платформи ситуаційних центрів вищого державного рівня», («СЦ-Інтеграція»), 2014–2015 рр., державний реєстраційний № 0114U000024; НДР «Розробка теоретичних основ побудови нових моделей, алгоритмів і розподілених інформаційних технологій підтримки прийняття рішень у системах електронного урядування», («Е-Система»), 2011–2014 рр., державний реєстраційний № 0111U002509; НДР «Розробка нових архітектурних рішень для програмно-технічних комплексів систем підтримки прийняття рішень на вищому державному рівні», («СЦ-Рада»), 2011–2013 рр., державний реєстраційний № 0111U003107; НДР «Комплексна система підтримки прийняття рішень у розподілених середовищах», («Регламент»), 2008–2010 рр., державний реєстраційний № 0107U008885; НДР «Створення інтелектуальних інформаційних технологій, моделей та мовних засобів для СППР», (шифр «Експерт»), 2000–2006 рр., державний реєстраційний № 0102U002700; НДР «Розробка програмно-технічних засобів супроводу роботи комітетів Верховної Ради України у складі інтегрованої інформаційно-аналітичної системи «Електронний Парламент», («Рада-КС»), 2013 р., державний реєстраційний

№ 0113U007157с; ГД «Розробка організаційного забезпечення та діючого макетного зразка робочого місця народного депутата України для Ситуаційного центру як зали засідань профільних комітетів Верховної Ради України у складі інтегрованої інформаційно-аналітичної системи «Електронний Парламент», 2012 р., державний реєстраційний № 0112U005475; ГД «Розробка концепції, методології та архітектури електронних робочих місць народного депутата України в сесійній залі, залі засідань комітету, на погоджувальній раді, у службовому офісі» («Рада-4К»), 2011 р., державний реєстраційний № 0111U005970; договір № 48 від 25.09.2003 «Автоматизована система підготовки персоналу ЦОРКС і складу оперативних груп ЦОРКС» (автор – відповідальний виконавець).

Тематика дисертаційного дослідження підпадає під пріоритетний тематичний напрям фундаментальних досліджень і науково-технічних розробок на період до 2020 р. «Технології та інструментальні засоби електронного урядування. Інформаційно-аналітичні системи, системи підтримки прийняття рішень. Ситуаційні центри» затверджених постановою Кабінету Міністрів України № 556 від 23.08.2016.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є створення нових та вдосконалення існуючих моделей і методів побудови конвергентних проблемно-орієнтованих комп'ютерних інформаційних систем із високими функціональними та структурними показниками для розв'язування задач ситуаційного управління.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувались такі завдання:

1. Провести аналіз та узагальнення класифікацій ситуаційних систем для визначення особливостей їх функціонування.
2. Провести аналіз моделей циклів ситуаційної діяльності для визначення множини технологій її проведення.
3. Провести аналіз архітектурних моделей побудови комп'ютерних інформаційних систем для визначення повноти представлення аспектів моделі ситуаційних систем.
4. Провести аналіз моделей трансформації інформації в системах ситуаційного управління для визначення особливостей представлення та використання інформації в циклі ситуаційного управління.
5. Провести аналіз моделей агентних систем для визначення особливостей застосування агентного підходу при побудові систем ситуаційного управління.
6. Розвинути конвергентний підхід для побудови систем ситуаційного управління.
7. Розробити онтологічні моделі представлення знань ситуаційного управління для використання при побудові систем ситуаційного управління.
8. Розробити модель ситуаційного агента як уніфікованого компонента конвергентних систем ситуаційного управління.
9. Розробити керовану знаннями модель конвергенції компонентів у складі системи ситуаційного управління.
10. Розробити оптимізаційні моделі конвергенції архітектурних компонентів у системах ситуаційного управління.

11. Розробити моделі аналізу динамічної стійкості конвергентних ситуаційних систем під час функціонування.

12. Розробити фрагменти конвергентних систем ситуаційного управління для аналізу та практичного використання.

Об'єктом дослідження є архітектура систем і процесів функціонування комп'ютерних систем для вирішення проблем ситуаційного управління.

Предметом дослідження є моделі, методи та засоби побудови ефективних конвергентних комп'ютерних систем для вирішення задач ситуаційного управління з використанням моделей знань.

Методи дослідження. У дисертаційній роботі було використано методи:

- загальної теорії систем – для визначення принципів побудови ситуаційних систем;
- теорії ієрархічних багаторівневих систем – для побудови концептуальної моделі та архітектурних моделей комп'ютеризованих ситуаційних систем;
- математичного та імітаційного моделювання динамічних систем – для дослідження моделей ситуаційних систем та аналізу динаміки їх функціонування;
- логічних теорій першого порядку, зокрема, дескрипційні та модальні логіки – для формалізації знань предметної області та процесів ситуаційного управління в контексті заданих архітектур;
- ситуаційної теорії – для опису контексту побудови ситуаційних систем;
- інженерії знань та онтології – для створення прикладних онтологічних моделей знань ситуаційних систем;
- теорії агентних систем – для створення моделей агентно-орієнтованих ситуаційних систем;
- теорії операцій – для створення моделей оптимізації архітектури конвергентних систем.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в розвитку загальної теорії комп'ютерних систем агентного типу шляхом розробки нових моделей та на їх основі розвитку методів побудови конвергентних комп'ютерних систем ситуаційного управління, що забезпечує структурну ефективність і динамічну стійкість таких систем.

У результаті проведених досліджень було отримано такі наукові результати.

Вперше:

- запропоновано узагальнену класифікацію ситуаційних систем, яка враховує особливості цільового призначення ситуаційної системи і є основою для побудови спеціалізованих моделей знань предметних областей ситуаційної діяльності;
- розроблено модель трансформації інформації в когнітивному циклі ситуаційної діяльності, яка забезпечує безрозривне поєднання перетворень між різними категоріями інформації й забезпечує її адекватне використання в різних видах моделей на кожному етапі циклу ситуаційної діяльності;
- розроблено цілісну модель ситуаційної обізнаності на основі співставлення етапів циклу ситуаційного управління з методами логічного умовиводу, що відповідають цільовому призначенню кожного етапу і дозволяють формувати формалізовані знання про ситуацію;

– розроблено модель ситуаційного агента для реалізації процесу ситуаційного управління шляхом трансформації категорій інформації, що узагальнює моделі інтелектуальних агентів і дає змогу будувати конвергентні системи ситуаційного управління як композицію уніфікованих ситуаційних агентів;

– розроблено метод композиційної конвергенції компонентів системи ситуаційного управління з використанням моделей знань, що дає формалізоване представлення процесу побудови цільових ситуаційних систем на основі вимог до них з урахуванням особливостей ситуаційного управління;

– розроблено технологічні моделі для побудови компонентів конвергентних систем ситуаційного управління для окремих етапів ситуаційного управління, що є основою для типізації таких систем;

– розроблено конвергентну онтологічну модель знань для застосування у системі ситуаційного управління інформаційною безпекою, що поєднує онтологічні моделі стандартів, загроз, уразливостей та архітектур безпеки.

Удосконалено:

– оптимізаційні методи оцінки структурної ефективності архітектури конвергентної системи ситуаційного управління, що, на відміну від евристичної моделі розробки, дає змогу формально обґрунтувати архітектурні рішення для цільових систем;

– оптимізаційні методи оцінки динамічної стійкості конвергентних систем ситуаційного управління на основі узагальнених показників, що дозволяє прогнозувати їх спроможності у процесі функціонування;

– моделі аналізу подіє-орієнтованих систем на основі теорії масового обслуговування, що дозволяє прогнозувати поведінку таких систем у процесі функціонування.

Отримала подальшого розвитку теорія модельно-орієнтованого проектування складних комп'ютеризованих систем у частині узагальнення та формалізації моделей і методів побудови конвергентних систем ситуаційного управління та оцінки їх ефективності з використанням формалізованих моделей знань предметної сфери їх застосування.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що застосування розроблених моделей і методів дозволяє підвищити ефективність побудови та функціонування конвергентних систем ситуаційного управління з урахуванням особливостей сфери їх застосування на основі моделей знань.

Теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи впроваджені:

– у Інституті проблем математичних машин і систем НАН України (м. Київ) для підвищення ефективності проведення науково-технічних розробок при створенні ситуаційних центрів органів державної влади України та електронної парламентської системи «Рада-4» шляхом розробки та використання баз знань із предметних областей реалізації компонентів таких систем;

– у ДП «ЕС ЕНД ТІ Україна» (м. Київ) для підвищення ефективності створення систем управління операціями на основі використання моделей знань та оптимізації архітектурних рішень таких систем;

– у Science Research Center for Disaster Risk Reduction of the Department of Information Technology and Communications of the University of National and World

Есоному (м. Софія, Болгарія) для підвищення ефективності побудови архітектури та методів обробки ситуаційної інформації при створенні інтегрованих інформаційних систем оцінки ризиків природних катастроф;

– у Національному університеті біоресурсів і природокористування України (м. Київ) для аналізу ефективності технічних рішень при виконанні навчальних проєктних завдань із реалізації комп'ютеризованих систем управління;

– у Кам'янець-Подільському національному університеті імені Івана Огієнка (м. Кам'янець-Подільський) для вдосконалення теоретико-методологічного забезпечення шляхом створення та використання моделей знань при побудові конвергентних комп'ютеризованих систем у процесі вивчення профільних дисциплін та при виконанні кваліфікаційних робіт студентів.

Впровадження підтверджуються відповідними документами.

Особистий внесок здобувача. Всі результати дисертаційної роботи, винесені на захист, отримано автором самостійно. Роботи [6–9, 11–14, 16–21, 25, 30–33, 35, 38, 36, 39–41, 43–51, 53–56, 58–61, 63–65, 67–73, 75–83] написані самостійно. У роботах, опублікованих у співавторстві, особистий внесок здобувача полягає в такому: [1] – проведено порівняльний аналіз архітектурних моделей комп'ютеризованих організаційних систем та запропоновано типову організаційну структуру ситуаційного центру; [2] – концепція та принципи побудови ситуативних архітектур систем ситуаційного управління; [3, 4] – ідея конвергентного поєднання спроможностей ситуаційних систем у рамках мережі розподілених ситуаційних центрів та математична постановка задачі оптимізації завантаження мережі; [5] – концепція оцінки рівня інтелекту систем ситуаційного управління на основі зменшення загальної ентропії системи; [10] – запропоновано модель прецедентів для опису процесу ситуаційного управління та квазіформальну модель структури процесу ситуаційного управління; [15] – загальна концепція та структура онтологічної моделі ситуаційного управління системою інформаційної безпеки; [22] – запропоновано композиційну модель процесу проєктування проблемно-орієнтованих систем; [23] – запропоновано загальні принципи організації та архітектуру програмних засобів конфігураційного управління адаптивними інформаційними системами; [84] – запропоновано архітектурні моделі агентно-орієнтованих систем ситуаційного управління та онтології для опису ситуаційних задач.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на міжнародних конференціях: Third International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS–2020), м. Запоріжжя; 4th IFIP Conference on Information Technology in Disaster Risk Reduction (ITDRR–2019), м. Київ, Київський національний університет культури і мистецтв; IEEE First International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC–2018), м. Київ, НТУУ «КПІ»; IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT–2018), м. Львів, Національний університет «Львівська політехніка»; 14th та 15th International Conferences on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET–2018 та TCSET–2020), м. Львів – смт. Славське, Національний університет «Львівська

політехніка»; 2nd IFIP Conference on Information Technology in Disaster Risk Reduction (ITDRR–2017), UNWE, Sofia, Bulgaria; Сучасні проблеми інформатики в економіці, управлінні, освіті та подоланні наслідків Чорнобильської катастрофи: Міжнародні наукові семінари, ВНЗ «Національна академія управління», м. Київ – смт. Світязь, 2007–2019 рр.; Сучасні проблеми математичного моделювання, прогнозування та оптимізації: Міжнародні наукові конференції, м. Кам'янець-Подільський, Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2008, 2010, 2012, 2014, 2016, 2018, 2020 рр.; Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика: дистанційні науково-практичні конференції з міжнародною участю, м. Київ, Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, 2007–2013, 2015, 2017 рр.

Публікації. За результатами виконаних теоретичних і експериментальних досліджень опубліковано 84 наукові праці, з них: розділ у колективній монографії, 15 статей у наукових виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України; 7 публікацій у наукових періодичних виданнях інших держав у напрямі, з якого підготовлено дисертацію, з них 4 статті у виданнях, проіндексованих у наукометричній базі Scopus, у тому числі 1 стаття у виданні, віднесеному до третього квартиля (Q3); 5 статей у закордонних книжкових наукових виданнях із напрямку дисертації проіндексованих у базах даних Scopus та Web of Science; 46 публікацій апробаційного характеру у збірниках праць і тез наукових конференцій. Додатково наукові результати дисертації відображені у 3-х навчальних посібниках, затверджених вченими радами ВНЗ; 6 наукових статей у науковому періодичному виданні з економічного напрямку, з яких 5 статей у випусках, проіндексованих у базах даних Scopus та Web of Science, та 1 стаття у науковому періодичному виданні з медичного напрямку. 62 публікації підготовлено одноосібно. 24 публікації видано англійською мовою.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотації, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та 4-х додатків. Загальний обсяг роботи становить 339 сторінок, із них основного тексту дисертації – 268 сторінок, 71 рисунок, 18 таблиць. Список використаних джерел включає 312 найменувань та займає 34 сторінки, обсяг додатків складає 37 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** представлено загальну характеристику дисертаційної роботи, обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та завдання відповідно до предмета та об'єкта дослідження, описані методи дослідження, наведено відомості про зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, описано основні результати, визначено їх наукову новизну і практичне значення, наведено дані про публікації та особистий внесок здобувача в опублікованих у співавторстві наукових працях, надана інформація про апробацію матеріалів дисертаційної роботи та структуру дисертації.

У **першому розділі** описано основні положення та визначення області дослідження, проаналізовано підходи до побудови конвергентних систем

ситуаційного управління, виділено особливості і представлено їх порівняльну характеристику, проведено аналіз існуючих систем ситуаційного управління для різних сфер діяльності, виявлено проблеми їх створення, на основі чого сформульовані основні вимоги до побудови систем ситуаційного управління шляхом конвергенції компонентів, пов'язаних зі сферою застосування систем та використання предметних моделей знань, сформованих на спільному інформаційному базисі.

Ситуаційними будемо називати системи, зміст стадій життєвого циклу яких визначається ситуаційними факторами. Формування та функціонування ситуаційних систем ґрунтується на понятті ситуації та цільовому призначенні таких систем. Таксономія ситуаційних систем може бути побудована на основі ознак походження, застосування, реалізації тощо.

Ситуація розглядається як усвідомлене знання суб'єкта про динаміку навколишнього середовища, представленого певними типами інформаційних повідомлень, що є основою для побудови обґрунтованої інтерпретації послідовності зміни станів (динаміки) світу (предметної області) з певної точки зору. Семантика (зміст) ситуації визначається її модальністю, яка виражає зв'язок між ситуацією та реальністю (об'єктивною модальністю), суб'єктом і ситуацією (суб'єктивною модальністю).

Ситуаційні фактори (також відомі як зовнішні чинники) – це впливи, які виникають ззовні системи – середовища існування (функціонування) та інших оточуючих систем. Диспозиційні фактори визначають внутрішні (індивідуальні) характеристики системи, які впливають на поведінку та функціонування системи, такі як функціональні характеристики, показники якості та архітектура.

Ситуаційне управління являє собою цілеспрямовану індивідуальну або колективну діяльність, пов'язану з розпізнаванням, поясненням і прогнозуванням ситуацій та впливом на них, з використанням відповідних концепцій, моделей і технологій для розпізнавання, пояснення, впливу та прогнозування ситуацій, які виникли або можуть виникнути в динамічній комплексній системі за визначений час роботи. Така діяльність здійснюється у системах ситуаційного управління (ССУ) – організаційно-технічних інформаційних комплексах підтримки управлінських рішень на основі комплексного моніторингу факторів впливу на процеси, що відбуваються в середовищі керування, з використанням сучасних інформаційних технологій.

Ситуаційне управління здійснюється на основі когнітивного моделювання як методології прийняття рішень у ситуаціях невизначеності або неповної визначеності. Методологія когнітивного моделювання орієнтована на формування управлінських рішень з обґрунтованою ефективністю, знаходження сценаріїв розвитку подій на основі виділення понять (концептів, чинників), що кількісно та якісно характеризують ситуацію, а також оцінки взаємного впливу цих чинників. У рамках ССУ когнітивне моделювання здійснюється колективами людей (ОПР, експертів, аналітиків), ґрунтується на моделюванні та узагальненні їх суб'єктивних думок стосовно конкретної ситуації і включає:

– методологію структурованого представлення ситуації як моделі знань експерта у вигляді знакового орграфу (когнітивної карти) (F, W) , де F – множина

ситуаційних факторів, W – множина причинно-наслідкових зв'язків між ситуаційними факторами;

– методи аналізу ситуації.

Узагальнена таксономія ситуаційних систем будується на основі цільового призначення такої системи (рис. 1).



Рисунок 1 – Таксономія ситуаційних систем

Життєвий цикл ситуаційного управління як цілеспрямованої діяльності реалізується через послідовність таких процесів: усвідомлення ситуації → оцінка ситуації → визначення цілей СУ → розробка та відбір плану для досягнення цілей СУ → організація процедур прийняття рішень → виконання плану СУ → моніторинг виконання плану СУ → оцінка та збереження результатів виконання СУ. Прийняття рішень при реалізації ситуаційного управління описується моделями, які використовуються при реалізації проєктного підходу. Важливим елементом цього підходу є управління життєвим циклом проєкту.

Процеси ситуаційного управління реалізуються в рамках перцептивного циклу і включають етапи емпіричного усвідомлення стану середовища (цільової області), побудови його моделі та застосування цієї моделі при формуванні раціональної поведінки у середовищі на основі періодичного оновлення усвідомлення поточного стану середовища. Усвідомлення стану середовища та формування на його основі раціональної поведінки здійснюються з використанням механізмів логічного умовиводу, що відповідають етапам перцептивного циклу. Такими механізмами логічного умовиводу у циклі ситуаційної взаємодії з середовищем є абдукція, індукція, дедукція та умовивід на прецедентах (рис. 2).

Процеси ситуаційного управління підтримуються відповідною архітектурною моделлю організації. Через поєднання спроможностей людських ресурсів із комп'ютерними засобами кібернетики такі організації розглядаються як кіберлюдські, кіберсоціальні або кіберконвергентні системи.



Рисунок 2 – Модель механізмів перетворення інформації в циклі СУ

Проведений аналіз процесів ситуаційної діяльності показав, що на різних етапах перцептивного циклу потрібно вирішувати різні когнітивні задачі на основі поєднання різних методів і засобів комп'ютерної обробки інформації. Таке поєднання представляє архітектуру ССУ. Архітектура ССУ повинна визначатися її цільовим призначенням та забезпечувати надання потрібних сервісів для вирішення задач ситуаційного управління шляхом поєднання на різних етапах перцептивного циклу відповідних засобів та інструментів обробки інформації. Розробка формальних моделей архітектури ССУ та обґрунтування їх ефективності є основою для створення конвергентних систем ситуаційного управління.

Другий розділ дисертаційної роботи присвячено обґрунтуванню та визначенню основних концепцій для опису архітектур ССУ. З метою формалізації опису різноманітних архітектур ССУ були розроблені концепції представлення основних аспектів ССУ: інформаційного, функціонально-технологічного та архітектурного.

Процеси конвергенції базуються на корисних спроможностях та принципах, притаманних іншим технологіям. Процес ситуаційного управління можна розглядати як ланцюжок цінності інформаційний, і прийняте рішення по суті є інформаційним продуктом. Використання відповідних інформаційних та комунікаційних технологій (ІКТ) надає додаткову цінність інформації на різних фазах та етапах СУ. Взагалі процес СУ можна охарактеризувати як процес перетворення та збільшення цінності інформації на основі використання і конвергенції відповідних ІКТ. Відповідно до процесної моделі, вхідна інформація під час СУ перетворюється у вихідну інформацію з відповідним контекстом під впливом керуючої інформації з використанням наявних ресурсів. Узагальнена модель процесу СУ представлена на рис. 3.

Вхідна формація $X(t)$ про ситуацію надходить із цільової області як множина сигналів та/або сигнальних шаблонів (знаків, символів, лексем тощо). Інформація про вхід $X(t)$ перетворюється на інформацію управління ситуацією $Y(t)$ у вигляді наборів описових, інформативних або директивних даних, що регулюються керуючою інформацією $C(t)$, яка стосується норм, регламенту та правил. Тому $Y(t)$ є результатом функціонального перетворення F вхідної інформації $X(t)$:

$$Y(t) = F[X(t)]. \quad (1)$$

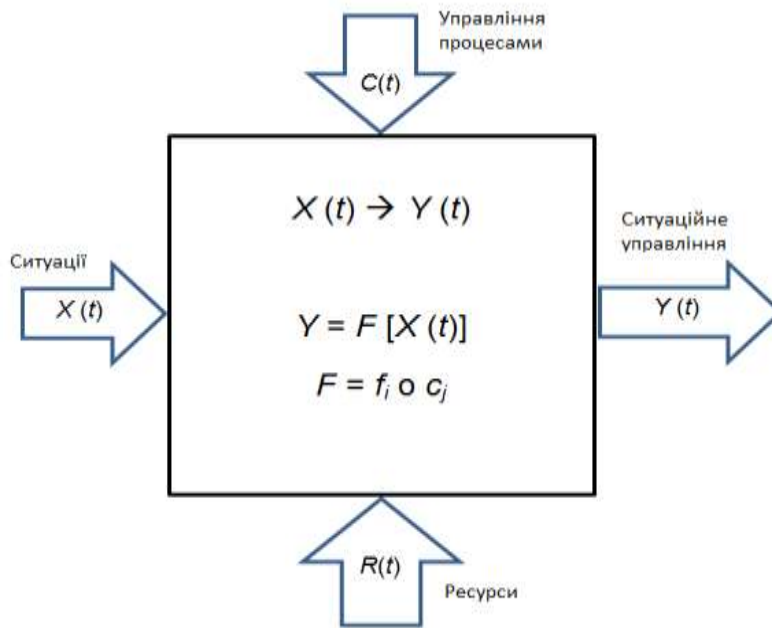


Рисунок 3 – Узагальнена модель процесу перетворення інформації СУ

Функція перетворення F – це складена (комполитна) функція множини функціональних композицій $\{g_i \circ c_j \mid g_i \in G\}$ функцій перетворення інформації та $c_j \in C$ функцій управління трансформацією за наявності/обмеженнях ресурсів $r_k \in R$. Функція F може бути задана як об'єднання композицій чи іншим способом.

Інформація про набори функцій G , C і R є піддоменами знань цільової області знань. Інший піддомен цільової галузі знань – це знання про сценарії та процедури процесів СУ. Конвергенція різних засобів та інструментів ІКТ визначається та відбувається шляхом реалізації відповідного сценарію в ході СУ.

Формальну розгорнуту динамічну (процесну) модель трансформації інформації СУ можна представити у вигляді

$$Y(t) = P(C(F(R(t), X(t))), F(R(t), X(t))), \quad (2)$$

де Y – вихідна керуюча інформація СУ (результат функціонування ССУ), P – функція управління (організації) процесів у системі, C – функція управління обробкою інформації в системі, F – функція обробки інформації СУ, R – функція варіації (змін) з часом ресурсів, X – вхідна ситуаційна інформація, t – часова змінна з області визначення функції P (період життєвого циклу процесу СУ).

Трансформація інформації СУ відбувається відповідно до запропонованої в роботі моделі I-SDKW (Information as Signal, Data, Knowledge, Wisdom), що базується на семантичних аспектах використання інформації в ситуаційних системах у процесах різних видів ситуаційного управління. Модель I-SDKW представляє собою композицію різних категорій інформації – сигналів, даних, знань та мудрості, що охоплюють різні когнітивні процеси (процеси мислення), такі як навчання, прийняття рішень, інтелектуальна поведінка. Таким чином, інформація

трансформується через отримання, збирання, агрегування, фільтрування, представлення, усвідомлення, інтерпретацію, оцінку, використання та збагачення, складання та просування до етапів вищого рівня і у зворотному напрямку. Зв'язки між категоріями інформації зображені на рис. 4.

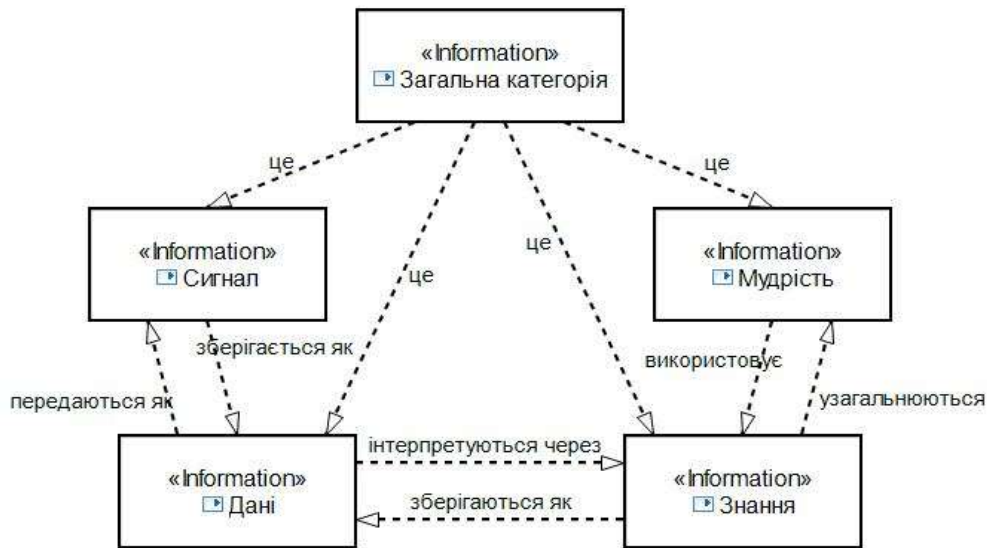


Рисунок 4 – Відношення між категоріями інформації

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 «мудрого» висновку у вигляді сигналу для цільової системи. Отримання інформації починається з події прийому сигналу від джерела з навколишнього середовища з використанням відповідних сенсорів. 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 предметної області знань у пов'язаній множині фактів у межах конкретної бази знань. Способи отримання та інтерпретації інформації визначаються категорією інформації та властивостями категорії, які можуть бути представлені у вигляді онтології верхнього рівня.

Фрагмент онтологічної моделі I-SDKW у поданні OntoGraf, зображений на рис. 5, представляє інформацію або сигналом, або структурою, або теорією (системою), або рекомендаціями, або найкращою практикою тощо. Слід зазначити, що наявність самих знань не є достатньою умовою для ефективного (розумного, «мудрого») рішення. Суть мудрості полягає в тому, що рішення, крім логічності, також має бути корисним і відповідати контексту ситуації.

Онтологія є результатом систематизації тезаурусу проблемної області знань. Інформація про проблемну область структурується шляхом трансформації інформації, починаючи з реєстрації сигналів (послідовностей, символів, знаків та символів) з наступним формуванням відповідних структур даних, подальшою побудовою керованих словників, їх систематизацією, і, врешті, створенням

тезаурусу та онтологій. На основі сформованих структур можна побудувати перцептивну модель із прямою трансформацією інформації від сигналу до мудрості та зворотною трансформацією від мудрості до сигналу.

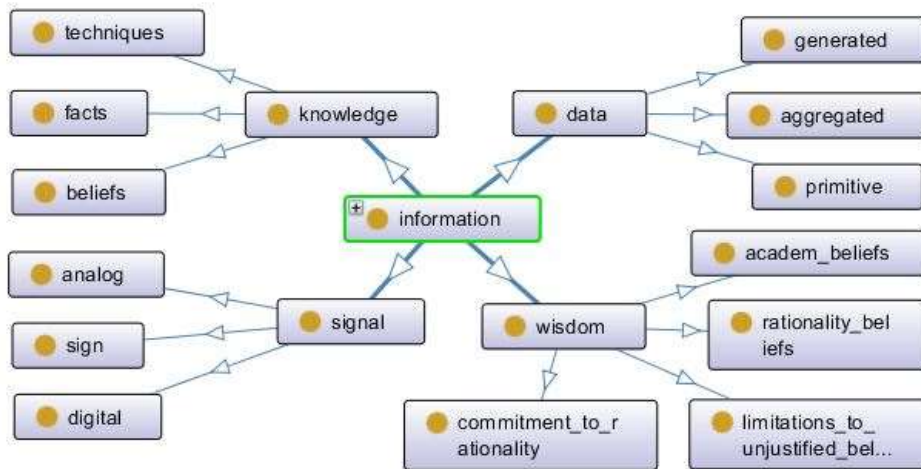


Рисунок 5 – Фрагмент онтології I-SDKW у представленні візуалізатора OntoGraf

Оскільки ситуаційне управління загалом стосується непередбачуваних випадкових подій, то цільова ситуаційна система повинна бути адаптована до специфіки конкретної ситуації. Така адаптація може бути реалізована на основі ad-hoc архітектури системи. Узагальнена модель ССУ показана на рис. 6.



Рисунок 6 – Узагальнена модель ССУ

Варіанти ситуативної (ad-hoc) архітектури можуть бути розроблені для конкретної ситуаційної проблеми або задачі без узагальнення варіанта рішення (варіант зберігається лише для вибору на основі конкретних випадків), не маючи наміру їх адаптувати до інших цілей. Таким чином, архітектурні види повинні відображати види, узгоджені з контекстом (семантикою) ситуації, позиціями зацікавлених сторін та наявними необхідними засобами управління. Процес СУ S1 (рис. 6) є різновидом проєктної діяльності, що включає підпроцеси, зображені на рис. 7.

При побудові ССУ слід застосовувати підходи до інженерії системи систем (СС), оскільки ССУ мають п'ять основних характеристик системи систем: операційну незалежність складових систем, управлінську незалежність складових систем, просторову (географічну) розподіленість, емерджентну поведінку та еволюційно розвиваються у процесі функціонування.

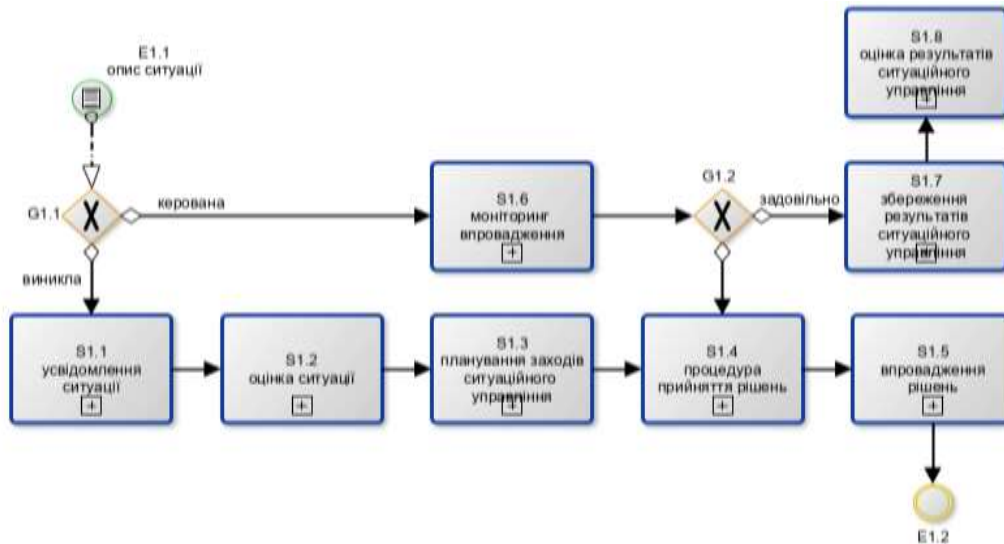


Рисунок 7 – Підпроцеси ССУ

У результаті дослідження інформаційного, архітектурного та технологічного аспектів побудови конвергентних ССУ сформульовано основні принципи їх побудови. У другому розділі також сформульовано умови побудови архітектури ССУ на основі аналізу семантики (контексту) ситуації і наявних спроможностей системи систем та ситуативних обмежень цих спроможностей.

У **третьому розділі** проведено формалізацію задачі побудови архітектурної моделі конвергентної системи ситуаційного управління (КССУ) з урахуванням особливостей архітектурних платформ реалізації – компонентних, хмарних, агентних шляхом абстрагування функцій ССУ у формі сервісів, інваріантних до платформи реалізації.

Різноманітність і початкова невизначеність множини сервісів, необхідних для реалізації конкретної моделі предметної діяльності, вимагають забезпечення широкого вибору функціональності сервісів, їх доступності, гнучкості та автономності. Виконання цих вимог може бути забезпечено на основі агентно-орієнтованого підходу. Таким чином, предметно-орієнтована інформаційна система може бути представлена як мультиагентна система (МАС).

Враховуючи викладені вище вимоги, формально багаторівневу систему можна визначити кортежем

$$S = \langle L, I^0, C^S, T \rangle, \quad (3)$$

де $L = \{l_1, l_2, \dots, l_n\}$ – множина рівнів системи, $I^0 = \{i_1^0, i_2^0, \dots, i_n^0\}$ – множина зовнішніх інтерфейсів системи, $C^S = \{c_1^s, c_2^s, \dots, c_n^s\}$ – множина функцій управління системою в цілому, T – цільова функція (функція призначення) системи (може бути задана неявно, як метафункція у вигляді сукупності вимог до інших компонентів системи).

Кожний рівень, у свою чергу, може бути представлений кортежем

$$l_j = \langle U^l, I^l, C^a, C^l \rangle, \quad (4)$$

де U^l – множина сервісів рівня l_j , I^l – множина інтерфейсів рівня l_j , C^a – множина функцій управління додатками рівня l_j , C^l – множина функцій управління рівнем l_j .

Кожний сервіс u_k^l реалізується як композиція функцій деякої підмножини F_k^i множини функцій F^l , які реалізовані на рівні l_j .

Реалізація описаної моделі включає два аспекти:

- семантичний (змістовний);
- архітектурний (структурно-функціональний).

Семантика кожного рівня природно описується засобами семантичних мереж, які можна використовувати для представлення онтологій. Онтологічний підхід широко застосовується для побудови змістовних моделей різних предметних областей. Для складних предметних областей застосовуються багаторівневі онтології. Онтологія, що має n рівнів, описується такою послідовністю:

$$O = (O_n, \{< O_n, O_{n-1} >\}, \dots, \{< O_n, O_{n-1}, \dots, O_1 >\}). \quad (5)$$

Тут O_n – модель онтології рівня n , $\{< O_n, O_{n-1} >\}$ – модель онтології рівня $(n-1)$, ..., $\{< O_n, O_{n-1}, \dots, O_1 >\}$ – модель онтології першого рівня. Слід зауважити, що онтологія O є складовою частиною загальної математичної моделі предметної області, яка включає також модель знань предметної області $\{< O, K >\}$ та модель реальності предметної області $\{< O, K, R(K) >\}$.

Розширенням концепції МАС для реалізації багаторівневих систем є визначення множини агентів кожного рівня, виходячи з функціональних вимог до цього рівня. Віднесення того чи іншого агента до певного рівня визначає тип агента. Таким чином, багаторівневу МАС формально можна описати як множину A агентів різного типу:

$$A = \{A^l\}, \quad (6)$$

де A^l – множина агентів, що відповідає рівню l .

Виходячи з семантики і функціональних вимог до кожного рівня, множина агентів A^l рівня l визначається відображенням семантики (онтології) O^l відповідно рівня на його функціональність F^l :

$$A^l : O^l \times F^l. \quad (7)$$

У результаті набір сервісів U^l кожного рівня буде визначатись функцією управління C^l агентами відповідного рівня:

$$U^l = C^l(A^l). \quad (8)$$

Деякі рівні багаторівневої системи можуть представлятись не лише програмними агентами, а й іншими об'єктами і суб'єктами системи, наприклад, адміністраторами, розробниками курсів, керівниками занять, особами, які навчаються, регламентами функціонування та ін., що мають іншу фізичну сутність (не електронну), але включені у контури управління і взаємодії агентів системи.

Означення. Ситуаційним агентом будемо називати цілеспрямований суб'єкт предметної області, що характеризується моделлю раціональної поведінки на основі усвідомлення, аналізу та прогнозування наслідків поточної ситуації.

Метою ситуаційного агента є вплив на процеси ситуаційного середовища з метою зміни його стану у відповідності з уявленнями (знаннями, переконаннями) цього агента (рис. 8).

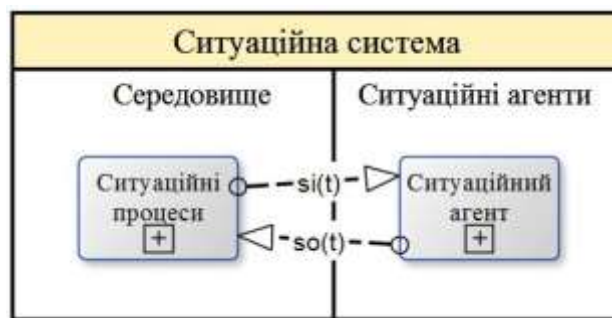


Рисунок 8 – Взаємодія середовища і ситуаційного агента

Поведінка ситуаційного агента визначається моделлю трансформації інформації I-SDKW. Поведінкова модель ситуаційного агента представлена на рис. 9.

На основі BDI-моделі агента можна описати модель ситуаційного агента, що формує раціональну поведінку у відповідності з описаною I-SDKW-моделлю трансформації інформації.

Під час функціонування ССУ її агенти використовують знання, які відповідають контексту ситуації. Знання агента є фрагментом області знань для цільової проблеми СУ. Знання проблемної області СУ є елементом моделі СУ. Управління знаннями ССУ є одним із ключових факторів ефективного СУ. Модель предметної області знань визначається архітектурною моделлю ССУ та її контекстом взаємодії з оточуючим середовищем. Архітектура ССУ забезпечує реалізацію процесу СУ як композицію мотивацій, знань, спроможностей, ресурсів та обмежень.

Побудова і використання ССУ у різних сферах застосування вимагає розробки методів і засобів конвергенції інформаційних технологій для здійснення адекватного ситуаційного управління у цільовій проблемній області. Конвергенція визначається як глибока інтеграція знань, засобів та усіх раціональних видів людської діяльності для досягнення спільної мети, можливостей отримання відповідей на нові питання щодо зміни відповідної фізичної або соціальної екосистеми.

Формальний опис предметної області СУ, для якої створюється проблемно-орієнтована ССУ, є ієрархією концептів (понять) і функціональних перетворень, якими будуть оперувати користувачі. Формальний опис предметної області має

також містити узагальнений опис моделі процесів СУ. Композиція технологій СУ повинна здійснюватися з урахуванням архітектури ССУ.

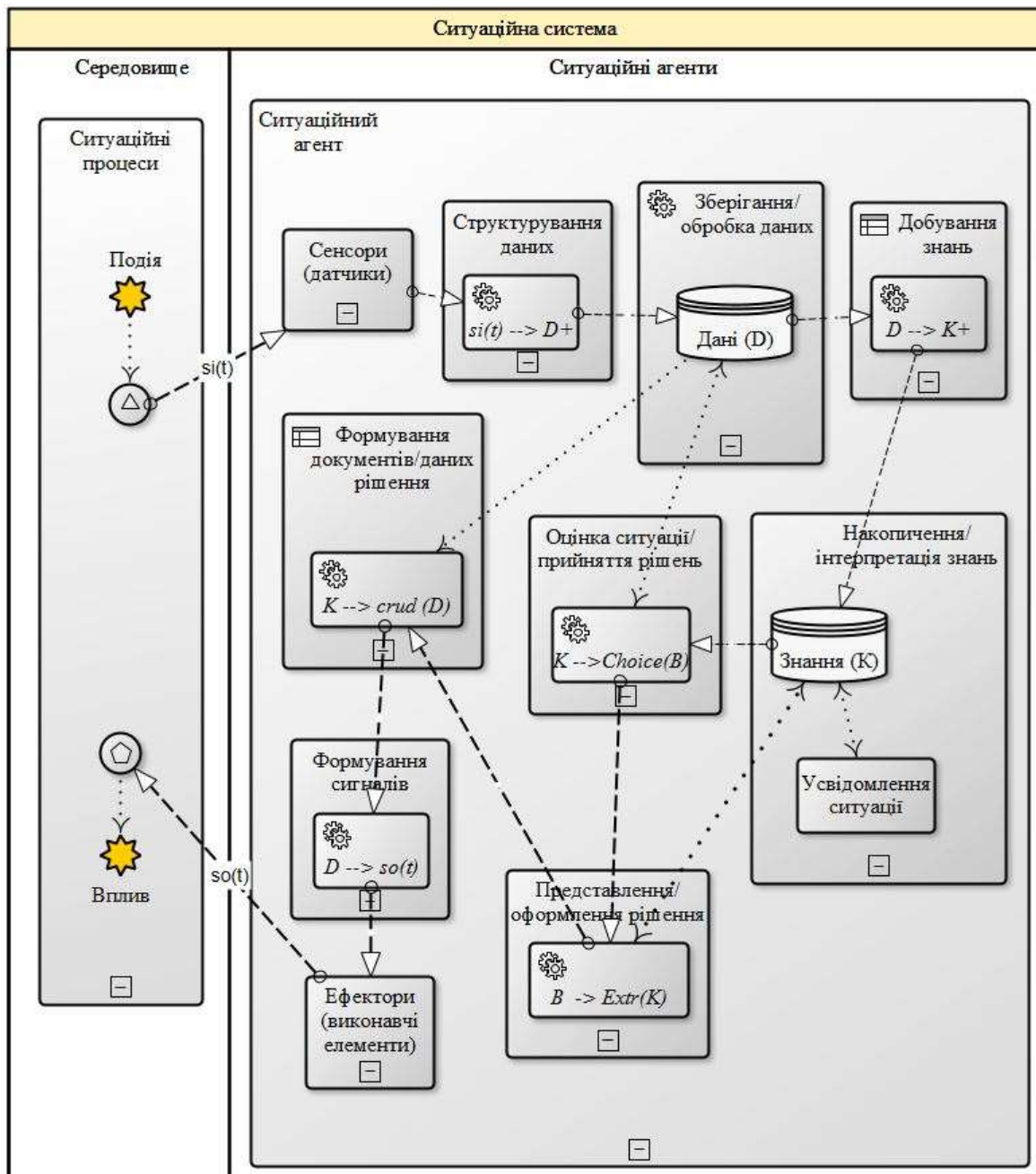


Рисунок 9 – Поведінкова модель ситуативного агента

Основну задачу композиції засобів ІКТ у рамках конвергентної архітектури ССУ можна визначити як встановлення відповідності між формальним описом прикладної області та засобами інформаційних технологій:

$$F: \langle A, D \rangle \rightarrow \langle B, C, R \rangle, \quad (9)$$

де F – функція відображення моделі A предметної області і моделі вимог D до проблемно-орієнтованої ССУ на множину технологічних засобів (алфавіт) СУ B і

множину функцій управління C цими технологічними засобами на множині R допустимих ситуацій у предметній області.

Кінцеву конфігурацію технологій у рамках окремої реалізації ССУ можна представити як процес P конвергенції технологій у проблемно-орієнтованій ССУ:

$$P = \langle \tilde{B}, \tilde{C}, \tilde{R}, \alpha \rangle, \quad (10)$$

де $\tilde{B} \subset B, \tilde{C} \subset C, \tilde{R} \subset R, \alpha$ – відношення лінійного порядку на множині \tilde{C} .

Вихідними даними для процесу P (4) конвергенції технологій у проблемно-орієнтованій ССУ є узгоджена модель знань:

$$\Pi = \langle \tilde{A}, \tilde{D}, \beta \rangle, \quad (11)$$

де $\tilde{A} \subset A, \tilde{D} \subset D, \beta$ – функція інтерпретації вимог \tilde{D} до ССУ у контексті моделі знань предметної області \tilde{A} .

Процес P конвергенції може бути розділений на декілька етапів, які відповідають ступеню наближення конфігурації технологій у ССУ до задоволення вимог \tilde{D} . Важливим при реалізації процесу P конвергенції є забезпечення поступовості, тобто, збереження результатів проміжних конфігурацій конвергентної архітектури незалежно від ступеня задоволення вимог. Отже, кожен етап процесу P повинен передбачати збереження його результатів.

Першим етапом функціонального відображення F (9) є логіко-семантичний (онтологічний) аналіз вимог до архітектури технологій ССУ. У процесі відображення отримуємо онтологічне подання моделі вимог з конкретизованими атрибутами, що відповідають моделі предметної області. Для ССУ таке відображення буде мати такий вид:

$$F_1 : \langle A, D \rangle \rightarrow \langle A_S, D_O, D_S, D_C, D_r, S \rangle, \quad (12)$$

де $D = D_O \oplus D_S \oplus D_C \oplus D_r$, F_1 – функція онтологічного відображення вимог на предметну область, D_O – множина вимог до організаційних технологій, D_S – множина системних вимог, D_C – множина вимог до технологій предметної області, D_r – множина вимог до допоміжних технологій, S – множина відношень між концептами предметної області A , A_S – онтологічне представлення моделі знань предметної області.

Наступним етапом відображення (9) є функціональна декомпозиція F_2 , у процесі якої здійснюється розбиття логіко-семантичного представлення, отриманого в результаті відображення F_1 (12) на функціонально однотипні групи, відповідні класам сервісів проблемної області, системної підтримки, функцій організаційної підтримки, допоміжних функцій (наприклад, функцій розширення та інтеграції ССУ):

$$G^{(i)} = \langle A_s^{(i)}, D_o^{(i)}, D_s^{(i)}, D_c^{(i)}, D_r^{(i)}, S^{(i)} \rangle. \quad (13)$$

Тут $\bigcap_{i=1}^n G^{(i)} = 0$, де n – перевірена (верифікована) та підтверджена (валідована) кількість категорій конвергентних технологічних сервісів.

Таким чином, відображення F_2 можна визначити як

$$F_2 : \langle A_s, D_o, D_s, D_c, D_r, S \rangle \rightarrow \left\langle \bigcup_{i=1}^n G^{(i)}, \Gamma \right\rangle, \quad (14)$$

де Γ – функція фільтрації (верифікації та валідації) логіко-семантичної моделі за категоріями сервісів. Наступним етапом відображення (9) є предметна інтерпретація результатів відображення (14):

$$F_3 : \left\langle \bigcup_{i=1}^m G^{(i)}, \Gamma \right\rangle \rightarrow \langle B, C, R \rangle, \quad (15)$$

де $m \leq n$ – число функціональних груп, що визначають кінцеву конфігурацію технологій ССУ. Якщо кортеж $\langle B, C, R \rangle$ відповідає вимогам до сервісів технологій конвергентної архітектури ССУ, то кінцева конфігурація технологій ССУ може бути представлена у вигляді (10). Якщо ж кортеж $\langle B, C, R \rangle$ являє собою узагальнену конвергентну модель технологій ССУ (наприклад, опис у вигляді моделей формальної нотації), то необхідно провести перетворення узагальненої моделі в екземпляр (варіант) її конкретної фізичної реалізації:

$$F_4 : P \rightarrow P'. \quad (16)$$

Таким чином, відображення (9) можна представити у вигляді суперпозиції відображень:

$$F = F_1 \circ F_2 \circ F_3 \circ F_4, \quad (17)$$

де \circ – знак суперпозиції, причому, якщо $P=P'$, то F_3 – тотожне відображення.

Встановлення відповідності між формальним описом предметної області і засобами інформаційних технологій дозволяє застосувати орієнтований на знання підхід до розробки ССУ. Запропонований підхід забезпечує формування репозиторію та конвергенцію засобів інформаційних технологій для вирішення цільових проблем ситуаційного управління шляхом композиції етапів онтологічного аналізу вимог, функціональної декомпозиції, предметної інтерпретації та фізичної реалізації. Використання запропонованої моделі процесу проектування дозволить забезпечити формалізований синтез ССУ для цільової предметної області шляхом конвергенції потрібних засобів ІКТ на основі моделей знань.

На основі моделі багаторівневої архітектури запропоновано підхід до побудови мультиагентних інформаційних систем, який забезпечує узгодження семантики, функціональності та підтримуючих їх архітектурних рішень, і дозволяє реалізувати наскрізний процес проєктування таких систем. Запропонована формалізація процесу проєктування є уніфікованою і може бути підтримана будь-якими відомими технологіями моделювання систем. Окрім того, така модель природним чином представляє різні рівні абстракції при розгляді інформаційних систем, зберігаючи водночас змістовний зв'язок між цими рівнями, що забезпечує коректність переходу від одного рівня абстрактного подання до іншого, без втрати семантичної єдності всіх рівнів.

У четвертому розділі описана методологія структурної оптимізації конвергентних архітектур ССУ.

Масштаб і функціональність ССУ визначається множиною вимог, які можуть визначати кількість користувачів, класи цільових проблем, робоче навантаження, потрібну продуктивність, об'єм та вміст баз даних і знань, системні вимоги тощо. В реальності необхідно враховувати також можливу територіальну віддаленість користувачів, наявну інфраструктуру та її технічні характеристики, вимоги, які стосуються результативності й ефективності СУ та інші специфічні для кожної окремої системи обмеження.

Задача створення архітектури конвергентної системи пов'язана з задоволенням вимог до її функціональності з забезпеченням ефективності реалізації. Вимоги виступають як обмежуючі фактори при реалізації ССУ потрібної функціональності і складають множину функцій-обмежень $R(r_i)$, де r_i – квантифіковані (кардинальні) оцінки параметрів вимог, $i = 1, \dots, n$.

Наявні альтернативні можливості для задоволення вимог визначаються варіантами комбінацій сумісних компонентів при реалізації ССУ. Допустимість використання компонентів для задоволення відповідних вимог може бути визначена матрицею кваліфікацій $V = [v_{ij}]$ розмірності $m \times n$, де v_{ij} – ваговий коефіцієнт оцінки ефективності використання компоненти j для задоволення вимоги i . У найпростішому випадку (бінарному оцінюванні), якщо вимога i може бути задоволена компонентною j , то $v_{ij} = 1$, в іншому випадку $v_{ij} = 0$. Специфіка даної задачі полягає в тому, що для її вирішення проблематично використовувати методи прямого пошуку. Це пов'язано з тим, що допустимі значення і обмеження задаються не на неперервних функціях, а на множинах допустимих значень. Тому для вирішення такої задачі слід використовувати методи дискретної оптимізації. Отже, задача оцінки ефективності архітектури конвергентної ССУ може бути сформульована як задача дискретного програмування.

Однокритерійна задача визначення оптимального поєднання компонентів із заданою ефективністю використання c_j кожного компонента у складі конвергентної архітектури ССУ формулюється як пошук екстремуму цільової функції оцінки ефективності архітектури системи в цілому $f(c)$, де $c = (c_1, \dots, c_n)$, яка задовольняє множині вимог функцій-обмежень $R(r_i)$.

Пряма задача оцінки ефективності архітектури ССУ формулюється як задача

мінімізації цільової функції витрат, пов'язаних із використанням композиції компонент у конвергентній системі:

$$Z = \min f(c), \quad (18)$$

яка повинна задовольняти системі квантифікованих вимог-обмежень:

$$\sum_{i=1}^n R(r_i) \geq H. \quad (19)$$

Двоїста задача побудови ефективної архітектури визначається позитивним ефектом (максимальною функціональністю) від впровадження відповідної композиції компонент системи і формулюється як задача максимізації функціональних характеристик системи:

$$H = \max R(r), \quad (20)$$

яка повинна задовольняти обмеженням вартості забезпечення цих характеристик:

$$\sum_{j=1}^m f(c_j) \leq Z. \quad (21)$$

В обох випадках використовуються співставні показники ефективності кожної з компонент, які приймають участь в оцінюванні, і при необхідності частковий показник ефективності компонента приводиться до прийнятої основи оцінювання.

Задача оцінки ефективності архітектури ССУ в наведеному формулюванні геометрично інтерпретується як задача пошуку оптимальної кількості вершин політопа (n -мірного багатогранника):

$$M(V, R) = \{x | Vx = R, x \geq 0\}, \quad (22)$$

де $x = (x_{11}, x_{12}, \dots, x_{m1}, \dots, x_{mn})$.

Задача (18) формулюється як задача мінімізації

$$f(c) = f(x) = \sum_{i=1}^m f_i \left(\sum_{j=1}^n x_{ij} \right) \rightarrow \min \quad (23)$$

на багатограннику $M(V, R)$ із заданими обмеженнями.

Вектор рішення $x = (x_{11}, x_{12}, \dots, x_{m1}, \dots, x_{mn})$ буде вершиною багатогранника $M(V, R)$ лише тоді, коли в кожному j -му стовпчику матриці $x = [x_{ij}]$ розмірності

$m \times n$ міститься один позитивний компонент, а решта компонентів дорівнює нулю. Отже, задача (23) стане еквівалентною задачі пошуку оптимальної комбінації:

$$\min\{f(x_p) \mid p \in O_f\}, \quad (24)$$

де $O_f = \{p = (p_1, p_2, \dots, p_n) \mid v_{pj} > 0, j = 1, \dots, n\}$.

Для розв'язання задачі (24) використовується алгоритм впорядкування виборок із множини O_f за значенням міноранти:

$$g(x_p) = \sum_{j=1}^n d_{p,j} \leq f(x_p), \quad (25)$$

де

$$d_{ij} = \frac{r_j f_i \left(\sum_{j \in J_i} \frac{r_j}{v_{ij}} \right)}{v_{ij} \sum_{j \in J_i} \frac{r_j}{v_{ij}}}, \quad J_i = \{j \mid v_{ij} > 0\}. \quad (26)$$

Використання запропонованої моделі оцінки ефективності архітектури системи вимагає попередньої квантифікації висунутих вимог і оцінки показників ефективності застосування альтернативних компонент для побудови ССУ.

Запропонований підхід може бути використаний при визначенні композиції складових елементів для побудови конвергентної ССУ, а також для створення будь-яких складних інформаційних систем, які будуються шляхом інтеграції компонент різної функціональності, для кожної з яких існують альтернативні варіанти реалізації.

Багатокритерійна задача прийняття рішення стосовно оптимальної архітектури ССУ на основі показників ефективності компонентів полягає у виборі оптимального набору компонентів із множини доступних альтернатив. Множина вибору альтернатив матиме вигляд

$$\Omega = \{X^1(\phi_1^1, \phi_2^1, \dots, \phi_m^1), X^2(\phi_1^2, \phi_2^2, \dots, \phi_m^2), \dots, X^n(\phi_1^n, \phi_2^n, \dots, \phi_m^n)\}, \quad (27)$$

де X^i – альтернатива, $i = 1, \dots, n$, ϕ_j^k – значення j -го критерію для альтернативи X^k , $j = 1, \dots, m$.

Враховуючи неоднозначність різних альтернатив (комбінацій компонентів) при різних умовах використання і, відповідно, відмінних вимогах та їх важливості, слід оцінювати альтернативи, виходячи з балансу критеріїв, які характеризують стан (ефективність) системи, коли значення кожного окремого критерію, що характеризує стан системи не може бути покращено без погіршення стану інших критеріїв. Такий підхід відповідає принципу Парето, відповідно до якого будь-які

зміни, які не наносять шкоди і покращують деякі показники, є позитивними. Тоді множина конфігурацій системи, оптимальних по Парето, буде «множиною Парето» або «множиною альтернатив, оптимальною по Парето», або «множиною оптимальних альтернатив».

Багатокритерійний вибір по Парето визначається функціоналом оцінки ефективності реалізації різних альтернатив системи:

$$C(\Omega) = \{x \in \Omega \mid \forall i \in \{1, \dots, m\} [x_i \geq y_i]\}, \quad (28)$$

де Ω – множина альтернатив, $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ – векторна оцінка альтернативи $x \in \Omega$.

Такий вибір дає декомпозицію вихідної багатокритерійної задачі: спочатку визначається область компромісних рішень (множина Парето) X^0 , а потім, за допомогою деякого математичного методу, остаточний вибір X^* здійснюється вже з X^0 .

Таким математичним методом доцільно узяти турнірний механізм. Вхідною інформацією для турнірного механізму є множина альтернатив Ω та множина відношень переваги R , яка є результатом вибору по Парето.

Найкраща альтернатива, згідно з цим механізмом, визначається з оцінки ефективності:

$$C_T = \{x \mid x \in X, x = \arg \max f(x)\}, \quad (29)$$

$$\text{де} \quad f(x) = \sum f_R(x, y), \quad (30)$$

$$\text{де} \quad f_R(x) = \begin{cases} 1, & xRy, y\bar{R}x \\ 0, & x\bar{R}y, yRx \\ 1/2, & xRy, yRx \text{ àáà } x\bar{R}y, y\bar{R}x \end{cases}. \quad (31)$$

Тобто, спершу з отриманих відношень R і (31) будемо таблицю значень $f_R(x)$, потім отримуємо суму $f(x)$ для кожної альтернативи, і альтернативи, яким відповідатиме найбільше значення цієї суми, будуть оптимальними.

Перехід від матриці кваліфікацій V і ефективностей використання C до числових значень критеріїв Φ здійснюється як

$$\phi_i = \frac{S_i}{\sum_{j=1}^n c_j}, \quad (32)$$

де ϕ_i – нормована оцінка i -тої компоненти,

ζ_i – ненормована оцінка i -тої компоненти:

$$\zeta_i = \sum_{j=1}^n (v_{ij} \cdot c_j) \quad (33)$$

Загальний показник ефективності $\Phi(X^i)$ альтернативи X^i можна визначити як суму

$$\Phi^i = \sum_{j=1}^n \phi_j^i \quad (34)$$

На основі порівняння кінцевих оцінок Φ^i здійснюється остаточний вибір оптимальних конфігурацій компонентів ССУ.

Запропонована модель оцінки альтернатив конфігурацій ССУ і методика застосування моделі при оптимізації таких систем дозволяє реалізувати об'єктивний механізм вибору оптимальних альтернатив конфігурацій в умовах часткової невизначеності або зміни системних вимог. Програмна реалізація запропонованої методики була використана як аналітичний компонент у системах підтримки прийняття рішень відповідного призначення при обґрунтуванні вибору конфігурацій інформаційних систем та в системах управління проектами при створенні і супроводженні інформаційних систем.

У п'ятому розділі описуються моделі динамічної оптимізації архітектури КССУ. ССУ відносяться до категорії складних систем через притаманні складним системам властивості: відкритість, казуальність, непередбачуваність поведінки в умовах змін (навіть незначних) оточуючого середовища, здатність до самоорганізації, ієрархічність та поліструктурність підрівнів організації системогенезу, здатність до самовідтворення в умовах ієрархічного системогенезу. При системогенезі ССУ враховуються складність структури, ситуативний характер зв'язків між компонентами, ситуативність сценаріїв поведінки за різних умов, велика кількість параметрів і змінних, неповнота і недетермінованість джерел інформації, різноманітність інформаційно-ймовірнісної природи зовнішнього середовища тощо.

ССУ в загальному випадку є нерівноважною відкритою нелінійною динамічною системою. Такі системи називаються дисипативними. Внаслідок самоорганізації в дисипативних системах утворюються стійкі структури, які існують завдяки витрачання (дисипації) системою енергії. Підтримка таких складних систем пов'язана зі зростанням ентропії в середині системи, яка компенсується негативним потоком ентропії з оточуючого середовища. Дисипативні процеси, пов'язані з обміном енергії в середині дисипативної системи та з зовнішнім середовищем, проходять у нерівноважних умовах і наближають систему до стану рівноваги.

Оскільки керована агентами ССУ розглядається як нерівноважна динамічна стохастична система, то головною метою ансамблю агентів є збереження керованої стохастичної системи у стійкому (стабільному) та передбачуваному стані. Така

динамічна стійкість досягається шляхом використання принципу стійкості за Ляпуновим.

За аналогією з термодинамічними системами, рівноважний стан системи визначається мінімумом вільної енергії Гельмгольца (ентропійної енергії). У класичному розумінні, нерівноважна динамічна стохастична система як модель фізичної системи, що спрямовується на досягнення максимального значення ентропії, еволюціонує через послідовність досягнення макроскопічних станів із вищими рівнями ентропії. Такий процес характеризується формалізмом дії ентропійних сил. Для канонічного ансамблю ентропійна сила F пов'язана з розділенням на множину макростанів $\{X\}$ через температуру замкненого простору T , ентропія $S(X)$, пов'язана з макростаном X , X_0 , є поточним макростаном.

Поведінка ансамблю агентів може бути інтерпретована в контексті керованої дисипативної системи, що знаходиться під впливом ентропійних сил. Інтегрована поведінкова модель ситуаційного агента представляється як кортеж

$$A_b = \langle T, P, C, M, D \rangle, \quad (35)$$

де T – множина засобів опису ситуації, P – множина засобів управління комунікаціями у змінних середовищах комунікацій, C – множина засобів механізмів координації, M – засоби обміну повідомленнями між агентами, D – множина засобів опису дій.

Ансамбль агентів ССУ характеризується певним рівнем інтелекту. Формально інтелект агентів як ентропійну силу F канонічного ансамблю агентів можна визначити так:

$$F(X_0, \tau) = T_c \nabla_x S_c(X, \tau) |_{X_0}, \quad (36)$$

де сила F (вибір, реалізація управлінських рішень на основі моделі поведінки (35) ситуаційного агента) діє так, щоб максимізувати майбутню свободу дій або залишатись із відкритими варіантами управління з певною цілеспрямованістю (знаннями та обізнаністю) T_c , з множиною (різноманіттям) можливих доступних варіантів майбутнього (майбутні ситуації, цільові точки в фазовому просторі) S_c із певним майбутнім часовим горизонтом (рівнем) τ . $X = \{x_i | i = 1, 2 \dots n\}$ – це множина стохастичних параметрів. Тобто, можна стверджувати, що інтелект прагне уникати будь-яких пасток. Також T_c можна інтерпретувати як параметризацію рівня, на якому шляхи в гіпотетичному динамічному ансамблі всіх можливих фіксованих тривалостей шляхів переходять один в інший, аналогічно переходам між конфігураційними мікростанами ідеального ланцюга, що має відповідну ентропійну пружність, тобто силу, знання та обізнаність агентів.

Ситуаційне моделювання в ССУ реалізується як проектна діяльність, яка вимагає задоволення умов стійкості за Ляпуновим керованої динамічної стохастичної системи. ССУ як динамічна стохастична система керується ансамблем агентів з інтелектом F (36). Модель динамічної стохастичної системи

характеризується набором стохастичних параметрів $X = \{x_i | i=1, 2 \dots n\}$. Під час ситуаційного управління або життєвого циклу системи комплекс параметрів X еволюціонує як послідовність множин, отриманих у результаті керуючого впливу на керовану систему в цілому. Визначимо різноманітність можливих доступних тенденцій S_C у майбутньому (36) як $\nabla_X S_C(X, \tau) = dx_i/dt$. Агрегована модель динамічної стохастичної системи зі зсувними в часі аргументами має такий вигляд:

$$dx_i/dt = (N_i - x_i) \cdot (a_{i0} + \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot (N_j - x_j)), \quad (37)$$

де x_i – i -й параметр моделі, N_i – максимально можливі значення i -го параметра, a_{ij} – коефіцієнти, які визначаються зі статистики об'єкта, n – кількість параметрів, $i=1, 2 \dots n$. У загальному випадку a_{ij} може бути деякими функціями від часу, N_i може варіюватися залежно від досліджуваної проблеми (тактичне або стратегічне планування, дослідження критичних ситуацій, прогнозування певних рівнів розвитку, наприклад, бажаних рівнів, параметрів тощо).

За певних умов у системі можуть виникати часові затримки при обробці інформації, пов'язані, наприклад, з тим, що в реальній системі кожен елемент керування виробляє сигнали з певним обмеженим поширенням і рівнем обробки інформації, що також займає деякий час. Приймаючи до уваги ці особливості, можна врахувати такі затримки і випередження у відповідних параметрах керованої системи. Враховуючи перше наближення щодо постійних часових затримок (зсувів часу), можна подати агреговану модель досліджуваного об'єкта у вигляді матричного рівняння:

$$\begin{bmatrix} dz_1/dt \\ dz_2/dt \\ \dots \\ dz_{M-1}/dt \\ dz_M/dt \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_1(t - \tau_{10}) \\ z_2(t - \tau_{20}) \\ \dots \\ z_{M-1}(t - \tau_{M-1}) \\ z_M(t - \tau_M) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} b_{10} + \sum_{j=1}^M b_{1j} \cdot z_j \cdot (t - \tau_{1j}) \\ b_{20} + \sum_{j=1}^M b_{2j} \cdot z_j \cdot (t - \tau_{2j}) \\ \dots \\ b_{(M-1)0} + \sum_{j=1}^M b_{(M-1)j} \cdot z_j \cdot (t - \tau_{(M-1)j}) \\ b_{M0} + \sum_{j=1}^M b_{Mj} \cdot z_j \cdot (t - \tau_{Mj}) \end{bmatrix}, \quad (38)$$

де z_i – відхилення i -го параметра x_i агрегованої моделі системи, τ_{ij} – постійні зсуви часу (затримки) з діапазону майбутнього часового горизонту τ з (25) для відповідних змінних, b_{ij} – коефіцієнт для відповідного z_i (відхилення i -го параметра), який визначається зі статистики динамічної поведінки об'єктів, M – кількість параметрів, $i=1, 2 \dots M$.

Математична модель (38) описує еволюцію, наприклад, динамічного нестійкого в часі об'єкта залежно від його попередньої історії функціонування. Система рівнянь (38) може бути перетворена та спрощена в обмеженому okolí значення поточного моменту часу t , якщо застосовувати розклад у ряд Тейлора для функцій $z_i(t - \tau_{ij})$. Для цього використовуємо теорему Ельсгольца, враховуючи лише члени першого порядку ряду Тейлора відносно малих величин:

$$\tau_{ij} : z_i(t - \tau_{ij}) \approx z_i(t) - \tau_{ij} \dot{z}_i, \quad (\dot{z} \equiv dz / dt). \quad (39)$$

Якщо розглянути задачу оптимального керування для динамічного нестійкого в часі об'єкта за даними критеріями, то можна подати Гамільтоніан системи (27) у вигляді

$$H(z, p) = \sum_{i=1}^M p_i z_i \sum_{j=0}^M b_{ij} z_j, \quad (40)$$

де $z_0 = 1$, p_i у виразі (28) визначаються з системи рівнянь:

$$dp_i / dt = -(p_i \sum_{j=0}^M b_{ij} z_j + \sum_{j=1}^M p_j z_j b_{ji}), \quad (41)$$

Тоді проблема оптимального управління динамічного нестійкого в часі об'єкта полягає в обчисленні параметрів $u_m(t)$ ($m = 1, 2, \dots, M$) на основі таких рівнянь:

$$dz_i / dt = f_i(z_1, \dots, z_M, u_1, \dots, u_M), \quad (42)$$

де $u_i(t)$ в (41) можна вважати позитивними напрямними функціями дискретного часу (або $b_{ij}(t)$ у (40) відповідно).

Функціональна якість (інтелект агентів F , визначений рівнянням (36)) може бути представлена як

$$F = \int_0^{\tau} f_0(z_i, u_m) dt \quad (43)$$

або
$$\dot{z}_0 = f_0(z_i, u_m), \quad z_0(0) = 0. \quad (44)$$

Оптимальне ситуаційне управління, згідно з (43), (44), відбувається за значеннями $u_m(t)$, що задовольняють (43), (44) та умові $H(z_i, p_i, u_m) = 0$.

При здійсненні процесів СУ у конвергентній ССУ виникає задача управління

послідовністю потоків обробки інформації таким чином, щоб між агентами конвергентної ССУ, пов'язаних з однією і тією ж проблемою, забезпечувався необхідний рівень технічної інтероперабельності у процесах ситуаційного управління з мінімальними витратами часу.

Розглянемо розподілену агентну ССУ. Нехай M – множина агентів агентної ССУ; n кількість видів ресурсів сервісів (у нашому випадку, $|M| > n$, тобто, ресурси сервісу можуть надаватись одному або декільком агентам), c_k оцінка інформаційних потреб k -го ($k \in M$) агента, R_i оцінка обсягу i -го виду ресурсу у розподіленій ССУ, P_{ij} – потік перерозподілу запитів ресурсів між i -м та j -м видами ресурсів ($i, j = 1, 2, \dots, n$), q – максимально допустимий потік перерозподілу між двома ресурсами.

Введемо змінну

$$x_{ki} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } k \text{ – й агент отримує } i \text{ – й ресурс, } i = 1, \dots, n \\ 0, \text{ в іншому випадку} \end{cases} . \quad (45)$$

Формальна модель фактичного використання агентами H_i i -го ресурсу ($i=1, 2, \dots, n$) у розподіленій ССУ має такий вид:

$$H_i = \max_i \sum_{k \in M} c_k x_{ki} \rightarrow \min , \quad (46)$$

$$\sum_{k \in M} c_k x_{ki} \leq R_i, i = 1, 2, \dots, n , \quad (47)$$

$$\frac{1}{M} \sum_{i=1}^n x_{ki} \leq 1, k \in M , \quad (48)$$

$$P_{ij}(x_{ki}, x_{kj}) \leq q; k \in M; i \neq j; i, j = 1, 2, \dots, n . \quad (49)$$

Умова (47) виражає обмеження на обсяг i -го ресурсу, умова (48) – це вимога обов'язкового обслуговування всіх агентів та належність агента до групи обслуговування окремим локальним сервісом, умова (49) регулює потоки перерозподілу ресурсів між агентами розподіленої ССУ.

Задача, представлена співвідношеннями (46)–(49) є задачею булевого цілочисельного програмування. Для розв'язання задачі (46)–(48) запропоновано алгоритм, який реалізує метод пошуку з локальною оптимізацією, що дозволяє отримати розв'язок задачі (46)–(49) з прийнятною точністю для практичної роботи розподіленої агентної ССУ. Алгоритм розв'язку задачі (46)–(49) обслуговування агентів у конвергентній ССУ є скінченим завдяки обмеженій кількості сервісів в ній.

Задача розподілу/перерозподілу інформаційних та керуючих потоків для забезпечення мінімального часу використання ресурсів агентами ССУ є двоїстою до прямої задачі, описаної вище. Запит на обслуговування визначає потребу в ресурсах кожного окремого сервісу.

Задача формулюється таким чином.

Розглянемо розподіл спільних інформаційних ресурсів, які надаються n сервісами A_1, A_2, \dots, A_n для обслуговування запитів агентів конвергентної ССУ. Запит вважається обслуговуваним, якщо він обслуговується кожним локальним сервісом послідовно, починаючи з сервісу A_1 . Припустимо, що час обслуговування запиту агента i -м сервісом є незалежною випадковою величиною з функцією розподілу $F^i(t)$ та щільністю розподілу $\phi_i(t) = F^i(t)$. Запит обслуговується сервісом A_1 одразу після його надходження. На момент надходження запиту сервісу A_2 можливі два варіанти:

1) запит агента був обслугований сервісом A_1 раніше, ніж залученим до обслуговування сервісом A_2 , і агент очікує звільнення ресурсу сервісу A_2 . За очікування обслуговування запиту накладається певний штраф;

2) запит агента ще знаходиться у процесі обслуговування сервісом A_1 коли надсилається запит на обслуговування сервісом A_2 , тобто, сервіс A_2 очікує завершення обслуговування запиту сервісом A_1 . У такому випадку за затримку сервісу A_2 накладається штраф. У цьому випадку здійснюється перерозподіл ресурсів між іншими сервісами. Очевидно, що штраф f_i є випадковою величиною.

Необхідно визначити такі моменти x_1, x_2, \dots, x_n підключення сервісів A_2, A_3, \dots, A_n , коли математичне сподівання загального штрафу, який дорівнює сумі накладених штрафів через невідповідність моментів x_i підключення i -го сервісу моментам η_{i-1} , припинення обслуговування запиту в i -му сервісі буде мінімальним.

Загальний штраф пов'язаний з розбіжністю між моментами x_i надання ресурсу сервісу для обслуговування запиту та моментами η_{i-1} завершення обслуговування запиту агента $(i-1)$ -м сервісом, визначається як

$$F(x) = \sum_{i=2}^n Mf_{i-1}(\eta_{i-1}, x_i), \quad (50)$$

де $\eta_1 = \tau_1$, $\eta_{n-1} = \max(\eta_{n-2}, x_{n-1}) + \tau_{n-1}$.

Використання класичного підходу для мінімізації функції $F(x)$ вимагає обчислення множинних інтегралів і значень випадкового розподілу $F_i(t)$ за відповідними законами, що не завжди можливо. Однак ці труднощі можна усунути, використовуючи методи стохастичного програмування, з точки зору яких переформулюємо задачу. Задача у новій постановці полягає у пошуку мінімуму функції

$$F(x) = Mf(\eta, x) \quad (51)$$

за умов

$$x_{i+1} \geq x_i \geq 0, \quad i = 2, 3, \dots, n, \quad (52)$$

$$f(\eta, x) = \alpha \sum_{i \in I} (x_i - \eta_{i-1}) + \beta \sum_{j \in J} (\eta_{j-1} - x_j), \quad (53)$$

де α – питома вартість очікування виконання запиту агента, а β – питома вартість простою сервісу. Причому

$$\eta_i = \max(\eta_{i-1}, x_i) + \tau_i, \quad i = 2, 3, \dots, n. \quad (54)$$

Зауважимо, що функція (53) опукла відносно x_i для фіксованих η_{i-1} .

Задачі (51)–(53) є особливим випадком задачі стохастичного програмування. Для їх розв'язання використано стохастичний квазіградієнтний метод проєкції, який описується процедурою

$$x_i^{s+1} = \pi_x(x^s - \rho_s W_i^s), \quad s = 0, 1, \dots, i; \quad i = 2, 3, \dots, n, \quad (55)$$

де s – номер ітерації; X – область проєкції, що задовольняє обмеженням (52), $\pi_x(\bullet)$ оператор, що відображає кожену точку $x \in R^x$ у точку $\pi_x(x) \in X$ так, що $\|x - \pi_x(x)\|^2 \leq \|y - x\|^2$ для будь-якого $y \in X$, ρ_s – коефіцієнт (множник) кроку, W_i^s – випадковий вектор такий, що $M(W_i^s | x_i^0, x_i^1, \dots, x_i^s) = F_x^A(x_i^s)$, $s = 0, 1, \dots, i; \quad i = 2, \dots, n$, де $F_x^A(x_i^s)$ – градієнт (узагальнений градієнт) функції $F(x)$. Послідовність $\{x_i^s\}, s = 0, 1, \dots, i$, визначена процедурою (55), збігається до розв'язку задач (51), (52).

У результаті виконання операції проєкції на область $X = \{x_i : x_i \geq x_{i-1} \geq 0\}$ наступне наближення визначається як

$$x_i^{s+1} = \max\left(0, \max(x_{i-1}^s; x_i^s - \rho_s W_i^s)\right), \quad s = 0, 1, \dots, i; \quad i = 2, 3, \dots, n. \quad (56)$$

Запропоновані методи оцінки ефективності ССУ є основою для побудови оптимальної за Парето композиції компонентів архітектури ССУ.

Запропоновані моделі дозволяють вирішити проблеми технічної інтероперабельності шляхом ефективного завантаження та мінімізації часу обслуговування запитів у розподілених інформаційних системах шляхом розв'язання прямої та двоїстої задач математичного програмування.

Запропоновані моделі підтримки технічної інтероперабельності та алгоритми управління середовищем конвергентної ССУ створюють можливості ефективного управління спроможностями складних ситуаційних систем.

У шостому розділі описуються технологічні аспекти побудови конвергентних архітектур ситуаційних систем на прикладі складових СЦ. Одним із основних етапів ситуаційного управління є формування управлінських рішень, які приймаються індивідуально або шляхом колективного обговорення та прийняття рішень відповідно до затверджених в організації регламентів. Колективне обговорення питань ситуаційного управління здійснюється шляхом проведення наради. При підготовці та прийнятті рішень у процесі ситуаційного управління приймають участь різні групи учасників із відповідними ролями. Модель варіантів використання сервісу підтримки проведення нарад у СЦ наведено на рис. 10.

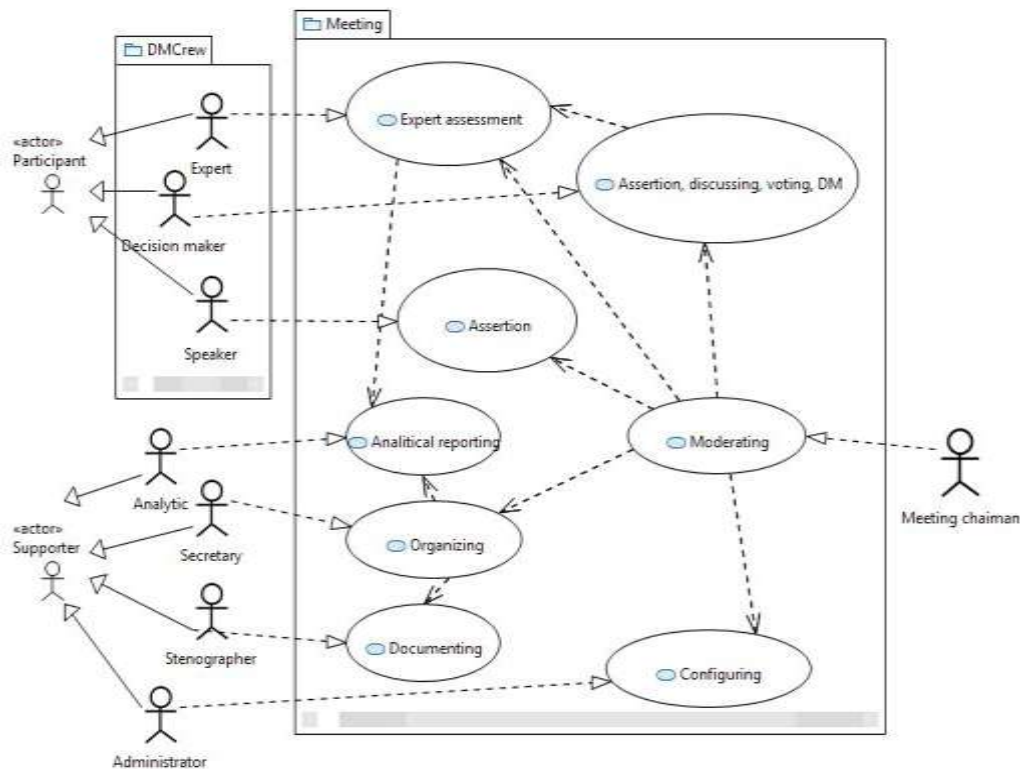


Рисунок 10 – Модель варіантів використання сервісу підтримки проведення нарад

При створенні ССУ як окремого типу проблемно-орієнтованих інформаційних систем виникає необхідність моделювання розподіленого гетерогенного керованого подіями (реактивного) інформаційного середовища, що функціонує в реальному часі. Будемо вважати, що керована подіями (реактивна) система – це динамічна система, яка сприймає зовнішні дискретні впливи і відповідає своїми реакціями на ці впливи.

Імітаційна математична модель динамічної системи визначається кортежем

$$MM_{ДС} = \langle T, X, \Omega, H, Z, Y, \Phi_1, \Phi_2 \rangle, \quad (57)$$

де T – універсум відношень між елементами системи, $X = X_1 \times \dots \times X_{NX}$ – простір вхідних впливів, $\Omega = \Omega_1 \times \dots \times \Omega_{N\Omega}$ – простір впливів зовнішнього середовища, $H = H_1 \times \dots \times H_{NH}$ – простір внутрішніх параметрів системи, $Z = Z_1 \times \dots \times Z_{NZ}$ – простір внутрішніх станів системи, $Y = Y_1 \times \dots \times Y_{NY}$ – простір вихідних і залежних змінних,

$\Phi_1(z_0, \mathbf{x}(t), \mathbf{h}(t), \boldsymbol{\omega}(t), t) = \mathbf{z}(t) = (z_1(t), \dots, z_{NZ}(t))^T \in Z$ – оператор зміни внутрішніх станів системи в залежності від початкового внутрішнього стану та зміни з часом вхідних впливів, внутрішніх параметрів, зовнішнього середовища, $\Phi_2(\mathbf{z}(t), t) = \mathbf{y}(t) = (y_1(t), \dots, y_{NY}(t))^T \in Y$ – оператор зміни виходів системи в залежності від зміни внутрішніх станів системи.

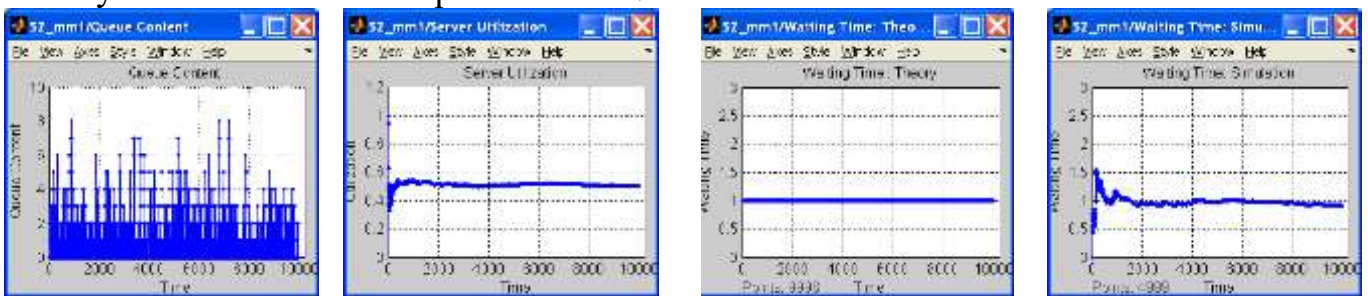
Така математична модель є цілком адекватною при моделюванні однорівневих систем (горизонтальна модель) і не відображає трансформацію функцій і цілей системи на різних рівнях ієрархії. Ієрархічна математична модель з урахуванням моделі (57) має вид

$$IMM_{DC} = \langle MM_{DC}^i, \Phi_3^{i-1}(\tilde{T}_{i-1}) \rangle, \quad (58)$$

де $i=1, \dots, m$ – номер рівня абстракції представлення моделі, $\Phi_3^{i-1}(\tilde{T}_{i-1})$ – оператор трансформації функцій і цілей між рівнями абстракції $i-1$ та i , $\tilde{T}_{i-1} = T_i \cap T_{i-1}$ – відношення між рівнями абстракції імітаційної моделі. Оскільки характеристики модельного середовища кожного з рівнів однакові, то семантика компонентів моделювання визначається рівнем моделі багаторівневої системи.

ССУ можна розглядати як систему масового обслуговування (СМО) для формалізації процесів функціонування, які за своєю суттю є процесами обслуговування. Діяльність, пов'язана з ситуаційним управлінням у ССУ, проводиться на базі організаційно-технічних комплексів СЦ (ситуаційних кімнат, ситуаційних залів), обладнаних мережевими комп'ютерними засобами та автоматизованими робочими місцями (АРМ) учасників процесів ситуаційного управління. Для дослідження та визначення параметрів завантаження інфраструктури СЦ у залежності від інтенсивності надходження заявок на обслуговування від АРМів СЦ використовуються засоби MATLAB-Simulink. Однією з найпростіших моделей СМО є модель з детермінованим розподілом та обслуговуванням заявок на одному обслуговуючому пристрої, тобто, за нотацією Кендалла, D/D/1.

Більш наближеною до реальних умов є модель СМО типу M/M/1 з показовим розподілом надходження і обробки заявок на одному обслуговуючому пристрої (марківський процес). Співвідношення між теоретичними розрахунковими параметрами та імітаційною моделлю СМО типу M/M/1 при різних інтенсивностях потоку заявок показано на рис. 11 та 12.

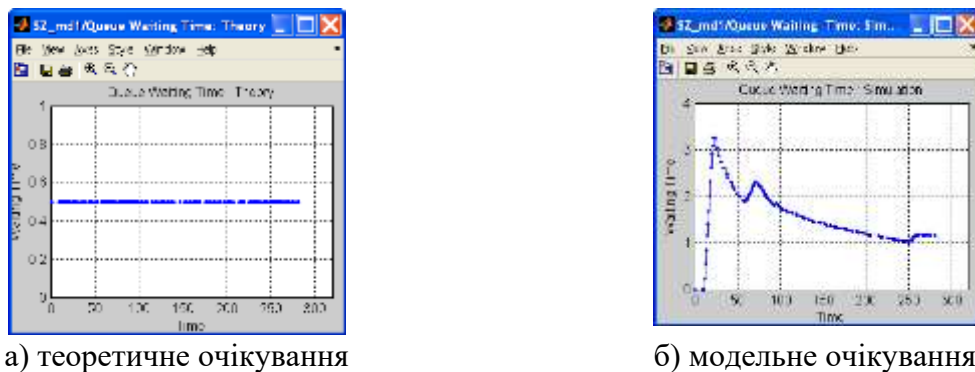


а) надходження заявок б) використання сервера в) теоретичне очікування г) модельне очікування

Рисунок 11 – Інтенсивність надходження заявок $\lambda_p = 0,5$

Рисунок 12 – Інтенсивність надходження заявок $\lambda_p = 0,85$

Як видно з результатів моделювання в системах з марківськими процесами надходження і обробки заявок при інтенсивностях надходження заявок вище середнього рівня, значно збільшується навантаження на сервер і чергу, що при обмеженості черги може призвести до втрат пакетів. Співвідношення між теоретичними параметрами та імітаційною моделлю СМО типу M/D/1 із марківським потоком заявок і детермінованим часом обслуговування при різних інтенсивностях потоку заявок показано на рис. 13 та 14.

Рисунок 13 – Інтенсивність надходження заявок $\lambda_p = 0,5$ Рисунок 14 – Інтенсивність надходження заявок $\lambda_p = 0,85$

Як видно з результатів моделювання, при збільшенні потоку заявок збільшуються очікування у черзі, але це зростання є меншим, ніж у моделі M/M/1.

Запропонована ієрархічна математична модель багаторівневої системи забезпечує адекватне представлення семантики різних рівнів представлення системи без втрати цілісності подання системи у цілому і може бути використана для імітаційного моделювання проблемно-орієнтованих інформаційних систем на основі теорії масового обслуговування.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-технічна проблема розвитку теорії побудови конвергентних комп'ютерних систем ситуаційного управління агентного типу шляхом розробки нових онтологічних, процесних, архітектурних, композиційних моделей та розвитку методів оптимізації структури і динаміки таких систем.

Розроблені моделі та методи забезпечують структурну ефективність побудови і динамічну стійкість функціонування конвергентних систем ситуаційного управління з урахуванням особливостей сфери їх використання.

Під час дослідження були отримані такі наукові та практичні результати:

1. На основі аналізу класифікацій ситуаційних систем запропоновано узагальнену класифікацію ситуаційних систем, яка враховує особливості цільового призначення ситуаційної системи та є основою для побудови спеціалізованих моделей знань предметних областей ситуаційної діяльності.

2. На основі аналізу категорій інформації та фокусу їх практичного використання запропоновано модель трансформації інформації в циклі ситуаційного управління, виходячи зі способу представлення та контексту використання інформації, яка поєднує в єдину систему різні категорії інформації й забезпечує її адекватне використання в різних видах моделей, зокрема, у спеціалізованих моделях знань ситуаційного управління.

3. На основі аналізу моделей когнітивного циклу ситуаційного управління розроблено повну формальну модель циклу ситуаційного управління з використанням відповідних систем логічного умовиводу і прийняття рішень на кожному етапі трансформації інформації ситуаційного управління: абдукції для побудови формальних моделей гіпотез ситуацій, індукції для побудови формально обґрунтованої теоретичної моделі ситуації на основі гіпотез, прийняття рішень щодо реагування на ситуацію шляхом дедуктивного виводу з формальної моделі ситуації або шляхом застосування механізмів умовиводу на основі прецедентів, виходячи з попереднього досвіду, формування і виконання керівних директив на основі прийнятих рішень.

4. Запропоновано агентно-орієнтовану архітектуру ситуаційних систем виходячи з особливостей когнітивної моделі перцептивного циклу та моделі трансформації інформації в ситуаційних системах. При описі поведінки «розумних» агентів враховується їх обмежена раціональність, пов'язана із проблемою вибору, обмеженнями знань, доступними ресурсами тощо. Обмежена раціональність є основою математичного моделювання при прийнятті рішень, коли прийняття рішень

розглядається як раціональний процес пошуку оптимального вибору із множини альтернатив з урахуванням наявної інформації.

5. Запропоновано і розроблено метод побудови композиційної моделі конвергенції технологій ситуаційного управління з використанням моделей знань. Встановлення відповідності між формальним описом предметної області і засобами інформаційних технологій дозволило застосувати орієнтований на знання підхід до розробки систем ситуаційного управління. Запропонований підхід забезпечує формування репозиторію та конвергенцію засобів інформаційних технологій для вирішення цільових проблем ситуаційного управління шляхом композиції етапів онтологічного аналізу вимог, функціональної декомпозиції, предметної інтерпретації та фізичної реалізації. Використання запропонованої моделі процесу проектування забезпечує формалізований синтез ССУ для цільової предметної області шляхом конвергенції потрібних компонентів на основі моделей знань.

6. Розвинуто оптимізаційні методи побудови ефективної архітектури ситуаційної системи за узагальненим показником ефективності та шляхом багатопараметричної оптимізації за критерієм Парето, для якої реалізовано прототип веб-орієнтованого програмного застосунку.

7. Розроблено метод та алгоритм оцінки динамічної стійкості системи ситуаційного управління як дисипативної системи на основі аналізу зміни рівня інформаційної ентропії, яка визначає степені свободи системи при виборі шляхів у гіпотетичному динамічному ансамблі всіх можливих фіксованих тривалостей шляхів, що переходять один в інший, аналогічно переходам між конфігураційними мікростанами ідеальної фазової траєкторії, що має відповідну ентропійну пружність, представлену знаннями та обізнаністю агентів.

8. Набули подальшого розвитку математичні методи аналізу динамічної стійкості стохастичної системи на основі принципу стійкості за Ляпуновим. Запропоновано та досліджено агентно-орієнтований підхід для включення моделі стійкості за Ляпуновим у процес ситуаційного управління динамічною стохастичною системою як цільової проектної діяльності.

9. Удосконалено моделі аналізу подіє-орієнтованих систем на основі теорії масового обслуговування. Застосування математичного апарату систем масового обслуговування дозволяє провести таке моделювання для різних дисциплін обслуговування з різною кількістю обслуговуючих пристроїв. Для моделювання було обрано архітектуру системи масового обслуговування з одним обслуговуючим пристроєм та множиною пристроїв – генераторів заявок. Моделювання проводилось для комбінованих режимів надходження та обслуговування заявок, що відповідають детермінованому та марківському процесам. Імітаційне моделювання проводилось у порівнянні з теоретичними моделями.

10. Розроблено онтологічну модель знань для використання у системі ситуаційного реагування на інциденти безпеки, яка дозволяє забезпечити конвергентне поєднання в єдиній базі знань архітектурного, ризик-орієнтованого та адаптивних до уразливостей аспектів управління безпекою інформаційних комп'ютерних систем.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Морозов А.О., Баран Л.Б., Вишневський В.В., Коваленко О.Є., Малишев О.В. Розділ 6. Ситуаційний центр як засіб колективної роботи законотворців. *Електронний парламент України: досвід створення. Наукове видання* / за заг. ред. С.О. Довгого. Київ : Логос, 2015. С. 395-441. ISBN: 978-617-7361-07-6.
2. Kovalenko O., Velev D. Ad-Hoc Architecture of Systems for Disaster Risk Management. *Information Technology in Disaster Risk Reduction. IFIP Advances in Information and Communication Technology* / Y. Murayama, D. Velev, P. Zlateva (eds.). 2020. Vol. 575. Springer, Cham. P. 135-145. DOI: 10.1007/978-3-030-48939-7_12. (*Scopus Q3, DBLP*). ISSN 1868-4238, ISSN 1868-422X (electronic), ISBN 978-3-030-48938-0, ISBN 978-3-030-48939-7 (eBook).
3. Kovalenko O., Visnevsky V., Kosolapov V. Models of information processing optimization for technical interoperability in a network of distributed situational centers. *CEUR Workshop Proc.* 2020. Vol. 2608. P. 426-435. (*Scopus, DBLP*). ISSN 1613-0073.
4. Коваленко О. Є., Косолапов В.Л. Моделі оптимізації завантаження мережі розподілених ситуаційних центрів. *Математичне та комп'ютерне моделювання. Технічні науки.* 2020. Вип. 21. С. 102–113. DOI: 10.32626/2308-5916.2020-21.102-113. (*BASE, PKP Index, ICI, SIS, Academic Resource Index (ResearchBib), Google Scholar*). ISSN 2308-5916.
5. Коваленко О. Є., Косолапов В.Л. Модель стійкості агентної системи ситуаційного управління. *Математичні машини і системи.* 2020. № 3. С. 93-104. DOI: 10.34121/1028-9763-2020-3-93-104. (*Google Scholar*). ISSN 1028-9763.
6. Коваленко О. Є. Онтологія та модель трансформації інформації в ситуаційних агентних системах. *Електронне моделювання.* 2020. Т. 42, № 5. С. 5-23. DOI: 10.15407/emodel.42.05.005. (*Index Copernicus International, CrossRef, Ulrich's Periodicals Directory, Google Scholar, Cambridge Scientific Abstracts (CSA), Computer and Information Systems Abstracts, INIS Collection, e-LIBRARY, ВІНІТІ РАН*). ISSN 0204-3572 (print), ISSN 2616-9525 (online).
7. Коваленко О. Є. Принципи інженерії ситуаційних систем. *Математичні машини і системи.* 2019. № 4. С. 65-78. DOI: 10.34121/1028-9763-2019-4-65-78. (*Google Scholar*). ISSN 1028-9763.
8. Kovalenko O.E. Knowledge Based Design of Convergent Systems of Situational Management. *Математичні машини і системи.* 2019. № 3. С. 67-74. DOI: 10.34121/1028-9763-2019-3-67-74. (*PIHЦ, Google Scholar*). ISSN 1028-9763.
9. Коваленко О. Є. Моделювання навантаження мережної інфраструктури систем ситуаційного управління. *Математичні машини і системи.* 2019. № 2. С. 101–110. (*PIHЦ, Google Scholar*). ISSN 1028-9763.
10. Власова Т.М., Коваленко О.Є., Косолапов В.Л. Організаційно-інформаційний сервіс для технології прийняття рішень у ситуаційному центрі шляхом проведення нарад. *Математичні машини і системи.* 2019. № 1. С. 68-79. (*Google Scholar*). ISSN 1028-9763.

11. Коваленко О. Є. Композиційна конвергенція інформаційних технологій у системах ситуаційного управління на основі моделі знань предметної області. *Математичне моделювання в економіці*. 2019. Т. 16, № 2. С. 39-44. DOI: 10.35350/2409-8876-2019-15-2-40-45. (*Index Copernicus, Academic Resource Index (ResearchBib), Google Scholar*). ISSN 2409-8876 (print), ISSN 2663-9068 (online).

12. Коваленко О.Є. Модель оцінки ефективності архітектури конвергентної системи ситуаційного управління. *Моделювання та інформаційні технології*: зб. наук. праць ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. 2019. Вип. 87. С. 11-14. DOI: 10.5281/zenodo.3612232. ISSN 2309-7647. (*Google Scholar*). ISSN 2309-7647.

13. Коваленко О.Є. Системна інженерія та життєвий цикл систем. *Електронне моделювання*. 2018. Т. 40, № 6. С. 61-82. DOI: 10.15407/emodel.40.06.061. (*Index Copernicus International, CrossRef, Ulrich's Periodicals Directory, Google Scholar, Cambridge Scientific Abstracts (CSA), Computer and Information Systems Abstracts, INIS Collection*). ISSN 0204-3572 (print), ISSN 2616-9525 (online).

14. Коваленко О.Є. Моделі агентно-орієнтованих систем ситуаційного управління. *Математичні машини і системи*. 2018. № 2. С. 96-102. (*Google Scholar*). ISSN 1028-9763.

15. Kovalenko O. E., Kovalenko T. Knowledge Model for Decision Support System Security Management. *International Conference on Application of Information and Communication Technology and Statistics in Economy and Education (ICAICTSEE-2016)*: proc. (Sofia, 19 February 2019). Sofia, 2019. P. 165-170. (*EBSCOHost, ProQuest, Google Scholar*). ISSN 2367-7635 (print), ISSN 2367-7643 (online).

16. Kovalenko O. E. The Formalization of Organizational Support Creation for Systems of Situational Management. *International Conference on Application of Information and Communication Technology and Statistics in Economy and Education (ICAICTSEE-2015)*: proc. (Sofia, 15 August 2016). Sofia, 2016. P. 292-301. (*EBSCOHost, ProQuest, Google Scholar*). ISSN 2367-7635 (print), ISSN 2367-7643 (online).

17. Коваленко О.Є. Побудова багаторівневих мультиагентних інформаційних систем, заснованих на знаннях. *Information Technology and Security*. 2016. Т. 4, № 2 (7). С. 146-154. (*Index Copernicus, Google Scholar*). ISSN 2411-1031 (print), ISSN 2518-1033 (online).

18. Коваленко О.Є. Застосування хмарних технологій при побудові систем ситуаційного управління. *Information Technology and Security*. 2015. Т. 3, № 1. С. 11-18. (*Index Copernicus, Google Scholar*). ISSN 2411-1031 (print), ISSN 2518-1033 (online).

19. Kovalenko Oleksii E. Knowledge Models for Organizational Maintenance of Situation Centers. *International Conference on Application of Information and Communication Technology and Statistics in Economy and Education (ICAICTSEE)*: proc. (Sofia, 15 September 2015). Sofia, 2015. P. 241-248. (*EBSCOHost, ProQuest, Google Scholar*). ISSN 2367-7635 (print), ISSN 2367-7643 (online).

20. Коваленко О. Є. Застосування модальної логіки при прийнятті рішень на моделях знань. *Математичне та комп'ютерне моделювання. Технічні науки*: зб.

наук. праць. Кам'янець-Подільський, 2012. Вип. 6. С. 106-112. (*BASE, PKP Index, NSD, Google Scholar*). ISSN 2308-5916.

21. Коваленко О.Є. Оптимізація архітектур модульних систем електронного навчання. *Математичне та комп'ютерне моделювання. Технічні науки: зб. наук. праць*. Кам'янець-Подільський, 2008. Вип. 1. С. 95-99. (*BASE, PKP Index, NSD, Google Scholar*). ISSN 2308-5916.

22. Kovalenko A.E., Velev D.G. Compositional Model of Design Process in the Problem-Oriented CAD of Applied Software. *Engineering Simulation*. 1998. Vol. 16, Issue 1. P. 129-133. Gordon & Breach Science Publ Inc, Newark, NJ, United States. ISSN 10631100. (*Scopus*).

23. Kovalenko, A.E., Velev, D.G. Computer-aided programming system for intelligent measurement systems in electronics. *Engineering Simulation*. 1995. Vol. 12, Issue 4. P. 642-649. Gordon & Breach Science Publ. Inc., Newark, NJ, United States. ISSN 10631100. (*Scopus*).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

24. Kovalenko O., Vishnevsky V., Kosolapov V. Towards Creating the Network of Situational Governance Centers and Decision Making Technologies in Distributed Environments. *15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET-2020)*: proc. (07 May 2020). 2020. Vol. May. P. 540-545. DOI: 10.1109/TCSET49122.2020.235491. (*Scopus*). ISBN 978-1-7281-5566-1 (electronic).

25. Kovalenko O. Information Taxonomy and Ontology for Situational Management. *2018 IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT-2018)*: proc. (7 November 2018). 2018. Vol. 2, Article number 8526723. P. 94-97. DOI: 10.1109/STC-CSIT.2018.8526723. (*Scopus, Web of Science Core Collection*). ISBN 978-1-5386-6464-3 (electronic).

26. Kovalenko O., Kovalenko T. Knowledge Model and Ontology for Security Services. *2018 IEEE 1st International Conference on System Analysis and Intelligent Computing (SAIC-2018)*: proc. (31 October 2018). 2018. Article number 8516875. DOI: 10.1109/SAIC.2018.8516875. (*Scopus, Web of Science Core Collection*). ISBN 978-1-5386-7196-2 (electronic).

27. Kosolapov, V., Kovalenko, O. Agent Based Modelling Support for Systems of Situational Management. *2018 IEEE 1st International Conference on System Analysis and Intelligent Computing (SAIC-2018)*: proc. (31 October 2018). 2018. Article number 8516818. DOI: 10.1109/SAIC.2018.8516818. (*Scopus, Web of Science Core Collection*). ISBN 978-1-5386-7196-2 (electronic).

28. Vlasova T., Kovalenko O. and Kosolapov V. Organizational-Information Technology for Providing and Decisions Making in Situational Management. *14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET-2018)*: proc. (10 April 2018). 2018. Vol. April. P. 152-157. DOI: 10.1109/TCSET.2018.8336176. (*Scopus*). ISBN 978-1-5386-2556-9 (electronic).

29. Kovalenko O., Kosolapov V. Optimization of Loading of a Network of Distributed Situational Centers. *Сучасні проблеми математичного моделювання, прогнозування та оптимізації* : тези доп. 9-ї Міжнар. наук. конф. (м. Кам'янець-Подільський, 14–15 травня 2020 р.). Кам'янець-Подільський : Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2020. С. 89-91.

30. Коваленко О. Є. Архітектурний підхід до управління життєвим циклом систем управління інформаційною безпекою на основі моделей знань. *Кібербезпека енергетики* : зб. пр. конф. Київ : Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, 2019. С. 5-7.

31. Коваленко О.Є. Елементи архітектури систем кібер-енергетики. *Безпека енергетики в епоху цифрової трансформації* : програма та матеріали наук.-практ. конф. Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України (м. Київ, 20 грудня 2019 р.). Київ : ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України, 2019. С. 69-71.

32. Коваленко О.Є. Онтологія та трансформація інформації в системах ситуаційного управління. *Сучасні проблеми інформатики в економіці, управлінні, освіті та подоланні наслідків Чорнобильської катастрофи* : матеріали XVII Міжнар. наук. семінару (м. Київ – оз. Світязь, 2–6 липня 2018 р.). Київ : Національна академія управління, 2018. С. 12-16.

33. Kovalenko O. E. On Consolidation of Information in Systems of Situational Management. *Сучасні проблеми математичного моделювання, прогнозування та оптимізації* : тези доп. 8-ї Міжнар. наук. конф., присвяченої 100-річчю Національної академії наук України та 100-річчю Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Кам'янець-Подільський : Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2018. С. 118-119.

34. Коваленко О. Є., Коваленко Т. О. Конвергенція та конфігурування інформаційних технологій в системах ситуаційного управління. *Сучасні проблеми математичного моделювання, прогнозування та оптимізації* : тези доп. 8-ї Міжнар. наук. конф., присвяченої 100-річчю Національної академії наук України та 100-річчю Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Кам'янець-Подільський : Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2018. С. 122-123.

35. Коваленко О.Є. Інформаційна технологія консолідації даних в системах ситуаційного управління. *Сучасні проблеми інформатики в економіці, управлінні, освіті та подоланні наслідків Чорнобильської катастрофи* : матеріали XVI Міжнар. наук. семінару (м. Київ – оз. Світязь, 3–7 липня 2017 р.). Київ : Національна академія управління, 2017. С. 13-17.

36. Коваленко О.Є. Ситуаційне управління як проектна діяльність. *Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика* : зб. доп. одинадцятої дистанційної наук.-практ. конф. з міжнар. участю. Київ : Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, 2017. С. 28-31.

37. Velev D.G., Kovalenko O.E. Research on the Applicability of Virtual Reality in Disaster Risk Reduction. *Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика* : зб. доп. одинадцятої дистанційної наук.-практ. конф. з міжнар. участю. Київ : Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, 2017. С. 32-35.

38. Коваленко Т.О., Коваленко О.Є. Модель знань для управління безпекою інформаційної системи. *Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика* : зб. доп. одинадцятої дистанційної наук.-практ. конф. з міжнар. участю. Київ : Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, 2017. С. 113-116.

39. Коваленко О.Є. Обробка модальностей при прийнятті рішень у системах ситуаційного управління. *Теорія прийняття рішень* : праці VIII міжнар. школи-семінару (м. Ужгород, 26 вересня – 1 жовтня 2016 р.). Ужгород : УжНУ, 2016. С. 139-140.

40. Коваленко О.Є. Застосування онтологій в системах ситуаційного управління. *Сучасні проблеми інформатики в управлінні, економіці, освіті та подоланні наслідків Чорнобильської катастрофи* : матеріали XV Міжнародного наукового семінару, (м. Київ – оз. Світязь, 4–8 липня 2016 року). Київ : Національна академія управління, 2016. С. 84-89.

41. Коваленко О.Є. Технологічні моделі ситуаційного управління. *Проблеми виведення з експлуатації об'єктів ядерної енергетики та відновлення оточуючого середовища INUDECO'16* : зб. матеріалів першої міжнар. конф. (м. Славутич, 25–27 квітня 2016 р.). Славутич : Славутичська філія НТУУ «КПІ», 2016. С. 166-168.

42. Коваленко О. Є., Коваленко Т. О. Елементи модельно-орієнтованого підходу технології розробки систем ситуаційного управління. *Сучасні проблеми математичного моделювання, прогнозування та оптимізації* : тези доп. VII міжнар. наук. конф. (м. Кам'янець-Подільський, 20–21 квітня 2016 р.). Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2016. С. 97-98.

43. Коваленко О.Є. Формалізація діяльності систем ситуаційного управління. *Сучасні проблеми інформатики в управлінні, економіці та освіті* : матеріали XIV-го міжнар. наук. семінару (м. Київ – с. Світязь, 29 червня – 3 липня 2015 р.). Київ : СІК ГРУП Україна, 2015. С. 119-123.

44. Коваленко О.Є. Стандартизація формального опису системної архітектури ситуаційних центрів. *Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика* : зб. доповідей десятої дистанційної наук.-практ. конф. з міжнар. участю. Київ: Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, 2015. С. 111-114.

45. Коваленко О.Є. SWOT-аналіз технологій ситуаційного управління. *Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи)* : праці Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ – Черкаси, 12–15 травня 2015 р.). Черкаси : видавець Чебаненко Ю., 2015. С. 354.

46. Коваленко О.Є. Моделі організаційного забезпечення інформаційних технологій ситуаційних центрів. *Сучасні проблеми інформатики в управлінні, економіці та освіті* : матеріали XIII-го міжнар. наук. семінару (м. Київ – с. Світязь, 30 червня – 4 липня 2014 р.). Київ: Національна академія управління, 2014. С. 105-110.

47. Kovalenko O. E. The Architecture of Agent-Oriented Situation Management System. *Proceedings of 3rd International Conference on Application of Information and Communication Technology and Statistics in Economy and Education (ICAICTSEE–2013)*

(Sofia, Bulgaria, December 6 – 7th 2013). Sofia, Bulgaria : University of National and World Economy (UNWE), 24 July 2014. P. 621-627. (*EBSCOHost, ProQuest*).

48. Коваленко О.Є. Інтеграція знань в агентно-орієнтовані системи підтримки прийняття рішень. *Сучасні проблеми математичного моделювання, прогнозування та оптимізації* : тези доп. VI Міжнар. наук. конф. (м. Кам'янець-Подільський, 4–5 квітня 2014 р.). Кам'янець-Подільський : Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2014. С. 77.

49. Коваленко О.Є. Модель організації віртуальних інформаційних систем для розподіленої колективної обробки інформації. *Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи)* : матеріали 2-ї Міжнар. наук.-техн. конф. (м. Черкаси, 14–18 травня 2013 р.). Черкаси: Маклаут, 2013. С. 367.

50. Коваленко О.Є. Архітектура сервісів організаційного забезпечення ситуаційного центру. *Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика* : зб. доп. дев'ятої дистанційної наук.-практ. конф. з між нар. участю. Київ : Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, 2013. С. 60-63.

51. Kovalenko O. Agents Knowledge Models for Situation Management Systems. *Proceedings of International Conference on Application of Information and Communication Technology and Statistics in Economy and Education (ICAICTSEE–2012)* (Sofia, Bulgaria , 5–6 October 2012). Sofia, Bulgaria : University of National and World Economy (UNWE), 11 January 2013. P. 125-131. ISBN 978-954-92247-4-0.

52. Kovalenko O. E., Velev D. G. Integration of Information Services in Agent-Oriented Situation Management System. *Proceedings of International Conference on Application of Information and Communication Technology and Statistics in Economy and Education (ICAICTSEE–2012)* (Sofia, Bulgaria, 5–6 October 2012). Sofia, Bulgaria : University of National and World Economy (UNWE), 11 January 2013. P. 132-135. ISBN 978-954-92247-4-0.

53. Коваленко О.Є. Організація агентно-орієнтованих систем ситуаційного управління. *Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика* : зб. доп. наук.-практ. конф. з міжнар. участю. Київ: Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, 2012. С. 63-65.

54. Kovalenko O. E. Functional Approach in the Simulation Modeling of the Problem-Oriented Information Systems. *Комунікації, інформаційні технології и статистика. Актуальні проблеми на теоріята и практиката*: колективна монографія. Софія : Университетско издателство «Стопанство», 2011. С. 278-281.

55. Коваленко А.Е. Построение систем поддержки принятия решений на принципах облачных вычислений. *Proceedings of the International Conference on Application of Information and Communication Technology in Economy and Education (ICAICTEE-2011)* (Sofia, Bulgaria, 2–3 December, 2011). Sofia, Bulgaria : University of National and World Economy, 2011. P. 475-482.

56. Коваленко О. Є. Елементи моделі цілеспрямованих систем орієнтованих на знання. *Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика* : зб. доп. наук.-практ. конф. з міжнар. участю. Київ : Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, 2011. С. 172-174.

57. Коваленко О.Є., Коваленко А.О. Аспекти функціонування інтелектуальних систем, заснованих на знаннях. *Обчислювальний інтелект*

(результати, проблеми, перспективи) : матеріали 1-ї Міжнар. наук.-техн. конф. (м. Черкаси, 10–13 травня 2011 р.). Черкаси : Маклаут, 2011. С. 95-96.

58. Коваленко О.Є. Організація комп'ютерного навчання з використанням моделей середовища навчання. *Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика* : зб. доп. наук.-практ. конф. з міжнар. участю. Київ : Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, 2010. С. 160-163.

59. Коваленко О.Є. Оптимізація процесів електронного навчання на основі імітаційних моделей. *Сучасні проблеми математичного моделювання, прогнозування та оптимізації* : збірник наук. праць за матеріалами четвертої міжнар. наук. конф. Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2010. С. 88-91.

60. Коваленко О.Є. Моделювання процедур експертного оцінювання у навчальних системах *Комп'ютерна математика в науці, інженерії та освіті (CMSEE-2010)* : матеріали Четвертої міжнар. наук.-техн. конф. (м. Полтава, 1–31 жовтня 2010 р.). Полтава: ПолтНТУ, 2010. С. 19.

61. Коваленко О.Є. Інтегральна модель засвоєння знань у навчальних системах. *Інтегральні рівняння – 2009 = Integral equations – 2009* : сб. тезисов конф. (г. Київ, 26–29 янв. 2009 г.). Київ : ИПМЭ им. Г.Е. Пухова НАН Украины, 2009. С. 91-92.

62. Коваленко А., Велев Д. Интеграция приложений электронного обучения в среде RIA/SOA. *Приложна информатика и статистика – съвременни подходи и методи* : доклади от Междунар. науч. конф. (г. Равда, България, 25–26 септември 2009 г.). София : Университетско издателство «Стопанство», 2009. С. 44-45.

63. Коваленко О.Є. Онтологічна модель системи прийняття рішень методом голосування. *Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика* : зб. доп. наук.-практ. конф. з міжнар. участю. Київ : Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, 2009. С. 51-54.

64. Коваленко О.Є. Семантично-функціональний підхід до побудови багаторівневих систем електронного навчання. *Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика* : зб. доп. наук.-практ. конф. з міжнар. участю. Київ : Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, 2008. С. 166-169.

65. Коваленко О.Є. Стандартизація навчальних курсів для глобального освітнянського простору. *Проблеми безперервного професійного розвитку лікарів і провізорів* : зб. пр. наук.-метод. конф. з міжнар. участю. Київ : Національна медична академія післядипломної освіти імені П.Л. Шупика, 2007. С. 512-514.

66. Коваленко О.Є., Вознюк П.Є. Керування конфігурацією модульних систем електронного навчання. *Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика* : зб. доп. наук.-практ. конф. з міжнар. участю. Київ : Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, 2007. С. 137-140.

67. Kovalenko O. Multilayer model of e-learning systems. *Бизнес Информатика* : сб. доклади от междунар. науч. конф. по повод 40-та годишнина на специалност „Информатика“ (г. София, 11–12 Октомври 2007 г.). София : Университет за национално и световно стопанство, 2007. С. 116-120.

68. Коваленко О.Є. Логічна модель стандартизованого навчального курсу для модельно-керованого процесу розробки. *Сучасні проблеми математичного*

модельовання, прогнозування та оптимізації : зб. наук. пр. (за матеріалами міжнар. наук.-метод. конф.). Кам'янець-Подільський : Кам'янець-Подільський державний університет, 2006. С. 161-169.

69. Коваленко О.Є. Особливості розробки стандартизованих навчальних курсів для багаторазового використання. *Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика* : зб. доп. наук.-практ. конф. з міжнар. участю. Київ : Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, 2006. С. 182-185.

70. Kovalenko O. Evaluation of e-learning deployment scale. *Управленски, информационни и маркетингови аспекти на икономическото развитие на балканските страни* : зб. доклади от междунар. науч. конф. (г. Софія, 3 ноември 2006 г.). Софія : Университет за национално и световно стопанство, 2006. С. 427-429.

71. Kovalenko O. Efficiency of Corporate Electronic Learning. *Управленски, информационни и маркетингови аспекти на икономическото развитие на балканските страни* : зб. доклади от междунар. науч. конф. (г. Софія, 4 ноември 2005 г.). Софія : Университет за национално и световно стопанство, 2005. С. 197-208.

72. Коваленко О.Є. UML-подання моделі екстремального програмування для проектування систем безпеки. *Проблеми впровадження інформаційних технологій в економіці* : матеріали V міжнар. наук.-практ. конф. (м. Ірпінь, 15–17 травня 2004 р.). Ірпінь : Академія ДПС України, 2004. С. 499-502.

73. Коваленко О. Є. Моделювання технологій адаптивного проектування інформаційних систем. *Сучасні проблеми математичного моделювання, прогнозування та оптимізації* : зб. наук. пр. (за матеріалами Всеукр. наук.-метод. конф.) (м. Кам'янець-Подільський, 23–24 вересня 2004 р.). Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський державний університет, 2004. С. 111-115.

74. Коваленко О.Є., Антоненко В.М. Технологія програмування та захист інформаційних систем. *Проблеми впровадження інформаційних технологій в економіці* : матеріали IV міжнар. наук.-практ. конф. (м. Ірпінь, 15–17 травня 2003). Ірпінь : Академія ДПС України, 2003. С. 625-629.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

75. Коваленко О.Є. Комп'ютерний практикум з навчальної дисципліни «Системне інтегрування та адміністрування комп'ютерних мереж»: навч.-метод. посіб. Київ: Вид-во ІСЗЗІ НТУУ «КПІ», 2012. 188 с.

76. Коваленко О.Є. Захист інформації та програмних продуктів. Лабораторний практикум: навч. посіб. Київ : КСУ, 2007. 252 с.

77. Коваленко О.Є. Дослідження операцій : навч. посіб. для спеціальностей «Менеджмент організацій», «Фінанси», «Облік і аудит», «Маркетинг». Київ : КСУ-МГІ, 2005. 55 с.

78. Kovalenko O. E. Models and Means for Service Agents Orchestration in Situation Management Systems. *Actual Problems of Economics*, 2014. N 4 (154). P. 462-467. (*Scopus, Index Copernicus, EBSCOhost, Ulrich's Periodicals Directory, EconLit, ABI/Inform (by ProQuest), Cabell's Directories*).

79. Коваленко О. Є. Координація взаємодії програмних агентів у системах ситуаційного управління. *Актуальні проблеми економіки*. 2012. № 12. С. 183-189. (*Scopus, Web of Science Core Collection, Index Copernicus, EBSCOhost, Ulrich's Periodicals Directory*).

80. Коваленко О. Є. Мультиагентна модель колективного прийняття рішень. *Актуальні проблеми економіки*. 2011. № 11. С. 279-285. (*Scopus, Web of Science Core Collection, Index Copernicus, EBSCOhost, Ulrich's Periodicals Directory*).

81. Коваленко О.Є. Стійкість результатів обробки експертних оцінок у системах підтримки прийняття рішень. *Актуальні проблеми економіки*. 2010. № 10. С. 177-181. (*Scopus, Web of Science Core Collection, Index Copernicus*).

82. Коваленко О.Є. Організація процедур прийняття рішень у ситуаційних центрах на основі голосування. *Актуальні проблеми економіки*. 2009. № 6. С. 289-293. (*Scopus, Web of Science Core Collection, Index Copernicus*).

83. Коваленко О.Є. Архітектура модульних систем дистанційного навчання. *Актуальні проблеми економіки*. 2007. № 12. С. 172-176.

84. Коваленко О.Є., Вишневський В.В. Організація системи дистанційного навчання на основі стандартних компонентів. *Актуальні питання фармацевтичної і медичної науки та практики*. Запоріжжя: Запорізький державний медичний університет, 2007. Вип. XVIII. С. 38-44.

АНОТАЦІЯ

Коваленко О.Є. Моделі і методи побудови конвергентних систем ситуаційного управління. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти. – Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, Київ, 2021.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню проблеми розвитку загальної теорії комп'ютерних систем агентного типу шляхом розробки нових моделей та на їх основі розвитку методів побудови конвергентних комп'ютерних систем ситуаційного управління, що забезпечує структурну ефективність і динамічну стійкість таких систем.

В результаті проведених досліджень було розроблено моделі обробки інформації в процесах когнітивного циклу ситуаційного управління з урахуванням особливостей категорій інформації на основі використання відповідних методів логічної обробки. Для архітектурної реалізації конвергентних систем запропоновано агентно-орієнтовану архітектуру на основі ситуаційних агента. Розроблено метод композиційної конвергенції компонентів системи ситуаційного управління з використанням моделей знань. Розвинуто методи побудови ефективних архітектур та дослідження динамічної стійкості систем ситуаційного управління як стохастичних дисипативних систем із урахуванням зміни рівня їх внутрішньої ентропії.

Ключові слова: архітектура комп'ютерної системи, система ситуаційного управління, перцептивний цикл, конвергентна система, оптимізація архітектури системи, інтелектуальний агент.

АННОТАЦИЯ

Коваленко А. Е. Модели и методы построения конвергентных систем ситуационного управления. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени доктора технических наук по специальности 05.13.05 – компьютерные системы и компоненты. – Институт проблем моделирования в энергетике им Г.Е. Пухова НАН Украины, Киев, 2021.

Диссертация посвящена решению проблемы развития общей теории компьютерных систем агентного типа путем разработки новых моделей и на их основе развития методов построения конвергентных компьютерных систем ситуационного управления, обеспечивающих структурную эффективность и динамическую устойчивость таких систем.

В результате проведенных исследований были разработаны модели обработки информации в процессах когнитивного цикла ситуационного управления с учетом особенностей категорий информации на основе использования соответствующих методов логической обработки. Для архитектурной реализации конвергентных систем предложена агентно-ориентированная архитектура на основе ситуационных агентов. Разработан метод композиционной конвергенции компонентов системы ситуационного управления с использованием моделей знаний. Развита методы построения эффективных архитектур и исследования динамической устойчивости систем ситуационного управления как стохастических диссипативных систем с учетом изменения уровня их внутренней энтропии.

Ключевые слова: архитектура компьютерной системы, система ситуационного управления, перцептивный цикл, конвергентная система, оптимизация архитектуры системы, интеллектуальный агент.

ABSTRACT

Kovalenko O. E. Models and Methods for Designing Convergent Systems of Situational Control. – As the manuscript.

Thesis for the degree of Doctor of Engineering Sciences in specialty 05.13.05 – Computer Systems and Components. – Pukhov Institute for Modelling in Energy Engineering of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2021.

The thesis is devoted to solving the problem of development of theoretical principles for the design of convergent computer systems of situational control through the creation of new models and improvement of methods for ensuring efficiency of such systems, taking into account requirements and restrictions of target domain and using the models of knowledge.

The aim of the research is to create new models and improve existing methods for designing problem-oriented computer information systems with high functional and structural performance to solve situational control problems.

Based on the analysis of the classifications of situational systems, a generalized classification of situational systems is proposed, which takes into account the specific purpose of the situational system and serves as a basis for building specialized models of knowledge of situational activities subject areas.

Based on the analysis of information categories and the focus of their practical use, a model of information transformation in the situational control cycle is proposed. The model is based on the method of presentation and context of information use which combines different categories of information and ensures its adequate use in different models of situational control.

Based on the analysis of the models of the situational control cognitive cycle, a complete formal model of the situational control cycle is developed through the use of an appropriate system of logical reasoning and decision-making at each stage of transformation of situational control information. Abductive reasoning is used to build formal models of situation hypotheses. Inductive reasoning is used to build a formally sound theoretical model of a situation based on hypotheses. Decision-making during situational control is carried out by deductive reasoning from a formal model of the situation or by applying mechanisms of case-based reasoning on previous experience, the formation and implementation of guidelines are based on decisions.

An agent-oriented architecture of situational systems based on the features of the cognitive model of the perceptual cycle and on the model of information transformation in situational systems is proposed. When describing the behavior of «smart» agents, their limited rationality related to the problem of choice, knowledge limitations, available resources, etc. is taken into account. Limited rationality is the basis of mathematical modeling in decision-making when decision-making is seen as a rational process of finding an optimal choice from a variety of alternatives based on available information.

A method for constructing a compositional model of the convergence of situational control technologies through the use of knowledge models is proposed and developed. Establishing a correspondence between the formal description of the subject area and the means of information technology allowed applying a knowledge-based approach to the development of situational control systems. The proposed approach provides the formation of a repository and the convergence of information technology tools to solve targeted problems of situational management by composing stages of ontological analysis of requirements, functional decomposition, subject interpretation and physical implementation. The use of the proposed model of the design process provides a formalized synthesis of SSU for the target subject area by converging the required components based on knowledge models.

Optimization methods for building an effective architecture of a situational system based on a generalized efficiency criterion and a multi-criteria optimization according to the Pareto criterion, for which a prototype of a web-oriented software application has been implemented, have been developed.

A method and an algorithm for estimating the dynamic stability of the situational control system as a dissipative system based on the analysis of changes in the level of information entropy are proposed.

Mathematical methods for analyzing the dynamic stability of a stochastic system based on the Lyapunov stability principle have been further developed. An agent-oriented approach for including the Lyapunov stability model in the process of situational control of a dynamic stochastic system as a target project activity is proposed and investigated.

The models of analysis of event-oriented systems based on queuing theory have been improved. The simulation was performed for the combined modes of receipt and servicing of applications that correspond to the deterministic and Markov processes.

An ontological knowledge model has been developed for the use in the system of situational reaction to security incidents which allows providing a convergent combination in a single knowledge base of architectural, risk-oriented and adaptive to vulnerabilities aspects of security management of computer information systems.

Keywords: computer system architecture, situational control system, perceptual cycle, convergent system, system architecture optimization, intelligent agent.