

**Бочок В.О.**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Федорова Н.В.**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**БАГАТОАГЕНТНІ СИСТЕМ ТА ПРОБЛЕМИ ЇХ ОПТИМІЗАЦІЇ**

*У статті розглянуто багатоагентні системи, як явище. Досліджуються сфери їх використання, особливості та відмінні риси. Стаття аналізує та узгоджує декілька джерел для формування єдиного розуміння специфіки багатоагентних систем. Надається узагальнене визначення агенту, як основної складової та діяча багатоагентних систем, та пояснюються їх відмінні властивості (автономність, індивідуальність та обмеженість сприйняття, децентралізованість). Наведено пояснення інтелектуальності агента, та класифікація за даною ознакою. Для визначення агенту наводиться популярна наразі модель Переконавання-Бажання-Намір, що використовується у таких фреймворках, як JADE.*

*Жоден агент не здатний повною мірою задовольнити потреби всієї системи в повному обсязі, а отже вимушений взаємодіяти з іншими учасниками. В статті наведено механізм інформаційної взаємодії, класифікацію її видів та інфраструктурну складову.*

*Згідно з перерахованими особливостями, механізмів комунікації та координації дій, виділяється проблема оптимальності роботи багатоагентних систем. В результаті аналізу та узгодження інформації з різних джерел, було сформовано проблеми оптимізації притаманні багатоагентним системам. Стаття наводить декілька фундаментальних проблем оптимізації, та аналізує їх особливості в багатоагентному середовищі. Наводиться різниця між алгоритмами, що вимагають наявності центра координації, та можливості децентралізованої реалізації.*

*Для агентів, що здатні до навчання, проблема оптимізації поставлена окремо, адже вирішується окремими підходами. Такі системи навчаються оптимізуватися самостійно на власному досвіді, проте вимагають багато обчислювальних ресурсів та часу. Для розв'язання цієї проблеми аналізуються підходи обміну досвідом між агентами, та наводиться перспективність подальших досліджень.*

**Ключові слова:** багатоагентні системи, модель переконання-бажання-намір, мова запитів та маніпулювання знаннями, навчання з підкріпленням, оптимізація багатоагентних систем.

**Постановка проблеми.** За допомогою багатоагентних систем знаходять вирішення все більше завдань в різних сферах науки та техніці. Такі системи досить стабільні та відмовостійкі. За допомогою них можна відійти від традиційних способів математичного моделювання та інженерних практик, що розглядають характеристики складної системи в цілому, як централізовану та неподільну. Багатоагентні системи дозволяють працювати з системою як з набором індивідуальних, розумних компонентів, що взаємодіють. Так можна розв'язувати задачі, що являють собою складну, незрозумілу чи непрозору логіку, рівняння тощо. Також, за своєю природою, кожен агент є незалежним від інших і може бути оброблений в паралельному режимі.

Багатоагентні системи за своєю архітектурою нагадують деякі системи в реальному житті, такі як фінансові ринки, транспортні системи, соці-

альні структури тощо. Це багато в чому мотивує їх використання для вирішення подібних завдань.

Багатоагентні системи здатні до самоорганізації, проте оптимальність їх роботи залишається під питанням. Варто зазначити, що багатоагентні системи розвивались у різних напрямках (як спосіб моделювання і дослідження, як інтелектуальні програмні системи, як фізичні системи тощо), де кожен привносить свої визначення та характеристики. Наразі існує проблема з їх узагальненням та розділенням. Алгоритми оптимізації можуть відрізнятися залежно від обраної архітектури. Для прикладу, залежно від здатності до навчання чи наявності певних центрів, методи оптимізації можуть вимагати спеціальних виділених сутностей, або бути спрямованими на підбор (автоматичний чи ручний) параметрів агентів, або ж на алгоритми координації дій.

**Формулювання цілей статті.** Стаття ставить за мету дослідити багатоагентні системи та їх особ-

ливості. Відповідно до цього, розглянути проблеми оптимізації таких систем, а також проаналізувати існуючі підходи до вирішення певних завдань.

Окремо у статті ставиться задача визначення потенційних шляхів оптимізації, що враховують специфіку системи та які не було розглянуто раніше, чи мали певні недоліки.

**Визначення багатоагентної системи.** Багатоагентна система або ще її називають мультиагентна система (MAS – Multi-Agent System) – це система, що утворена більше ніж одним інтелектуальним агентом та середовищем, в якому вони діють, поширюють знання та комунікують. Такі системи є здатні до самоорганізації та тісно пов'язані з завданнями побудови штучного інтелекту.

Варто розрізнити агентне моделювання (ABM – Agent-Based Model) та багатоагентні системи.

Агентне моделювання здебільшого використовується в науці для досліджень взаємодії автономних, індивідуальних чи колективних агентів, та впливу її на систему в цілому. Агент в такому випадку не зобов'язаний бути інтелектуальним [1]. Багатоагентні системи ж, орієнтовані на вирішення конкретних інженерних завдань, що лежать за межами цілей кожного окремого агента [2].

**Визначення агента, його характеристик та видів.** Визначення агента різняться в літературі, залежно від автора, сфери використання та завдання. Узагальнено, агентом може бути реальна чи віртуальна, автономна, інтелектуальна сутність, що має власні цілі. Вона здатна вирішувати завдання самостійно чи за допомогою взаємодії з іншими агентами. Агенти здатні сприймати інформацію від середовища (наприклад, через сенсори) чи інших агентів та взаємодіяти з ними (за допомогою актуаторів).

Можна виділити такі властивості, що притаманні агентам:

- 1) автономність – здатність діяти без прямого втручання ззовні, хоча б часткова незалежність від інших агентів та здатність контролювати свої дії;
- 2) індивідуальність світосприйняття – кожен агент будує власну модель того, як він бачить світ;
- 3) обмеженість сприйняття – жоден агент не має глобального бачення ситуації або вона занадто складна та не може бути їм використана;
- 4) децентралізованість – жоден агент не контролює всю систему (інакше вона перетвориться в монолітну систему).

Класифікація агентів за «інтелектуальністю» різняться в літературі, далі буде наведено один з варіантів [3]:

1) рефлекторні (реакційні) – діють на основі поточного стану світу, реагують на зміни в середовищі. Стратегії та умови дій таких агентів заздалегідь визначено розробниками в формі “якщо-то”;

2) рефлекторні, що засновано на моделі – такі агенти зберігають деякий внутрішній стан, що залежить від попередньої історії сприйняття, мають певне розуміння (модель) того, як працює світ;

3) засновані на цілях агенти (рис. 1) – відстежують стан світу та обирають дії, що в результаті призведуть до досягнення цілей (перехід в бажаний стан, або один з таких). Досягнення цільового стану може вимагати більше одного кроку, в таких випадках може застосовуватися планування дій;

4) засновані на корисності агенти (рис. 2) – такі агенти максимізують своїми діями значення своєї функції корисності. Такі агенти можуть більш раціонально оцінювати ситуацію, ніж засновані на цілях, обирати більш пріоритетні дії, краще орієнтуватися в багатокрокових стратегіях.

5) здатні до навчання – такі агенти здатні навчатися на власному досвіді, оцінювати свої дії, підлаштовуватись під середовище, для покращення продуктивності. Вони можуть підлаштуватися навіть під нові умови, які не були враховані під час їх проектування. Таких агентів іноді називають когнітивними.

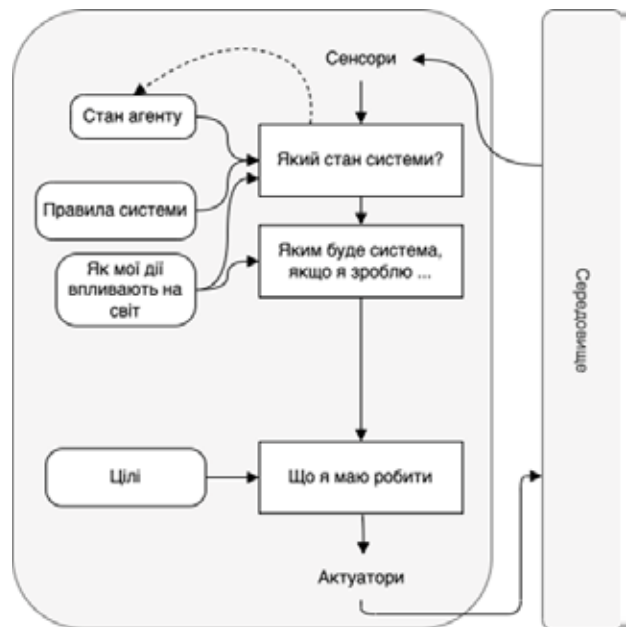


Рис. 1. Діаграма, що заснована на цілі агента

Модель Переконавання-Бажання-Намір (BDI – Belief-Desire-Intention), є популярною технікою проектування агентів. Така модель використовується в популярному фреймворку побудови багатоагентних систем JADE, що написано на Java.

1) переконання (belief) – досвід і знання про навколишнє середовище, правила виводу нових знань з наявних.

2) бажання (desire) – ціль (стан), який агент бажає досягти. Бажань може бути декілька, вони можуть міняти один одного, залежно від ситуації.

3) намір (intention) – намір вчинити дію, що згідно з переконаннями призведе до досягнення цілей.

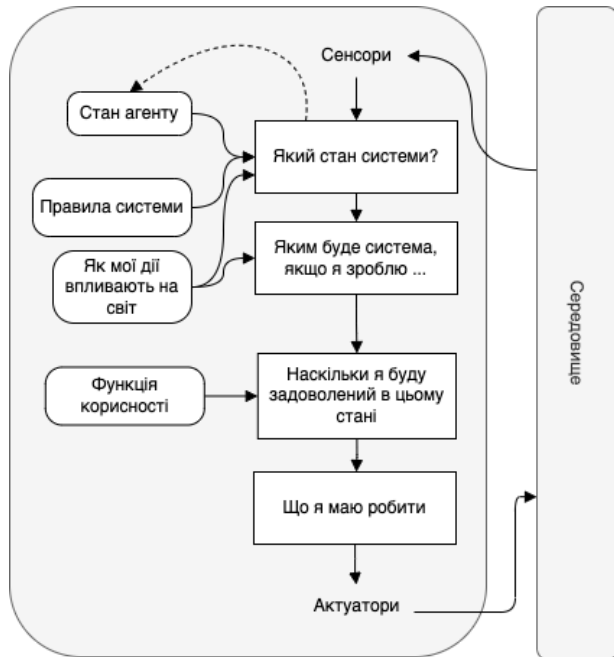


Рис. 2. Діаграма заснованого на користі агента

Чим більш інтелектуальний агент, тим менше розробнику треба продумувати та реалізовувати логіку його дій. Агенти також можуть бути пасивними чи активними. Пасивні лише реагують на зміни в середовищі, а активні діють за власною ініціативою.

Важливо зазначити, що агент також характеризується здатністю чи нездатністю виконувати певні дії [5]. Вона може характеризуватися двома компонентами, такими як фізична можливість (наявність певних інтерфейсів, актуаторів, фізичне розташування, стан тощо) та знання як це зробити (англ. “know-how”) [5]. Так, агент може мати необхідний актуатор, проте не знати алгоритм його використання для отримання цільового результату. Протилежна ситуація також можлива. В правильно побудованій BDI моделі, в агента наявні лише такі наміри, що повністю доступні йому для виконання. Слід також враховувати, що агент може задовольняти свої потреби за допомогою взаємодії з іншими, запросивши їх послуги.

Для інтелектуальних моделей, що засновані на моделях машинного навчання, переконання

та бажання можуть кодуватися в єдиній сутності. Так, наприклад, приховані шари (hidden layers) нейронмережі кодують досвід, переконання, правила виводу нових знань та їх обробки. Тут так само можуть бути закодовано й бажання – знання про пріоритетний стан в конкретній ситуації. Для моделей, що засновані на Reinforcement learning, тобто «навчанні з підкріпленням», бажання можуть бути закодовано в функцію, що обраховує успішність дій агента. Така функція вирішує, нагородити агента за дію (reward) чи покарати (penalty).

**Комунікація та взаємодія агентів в багато-агентній системі.** Комунікація відіграє критичну роль в побудові багатоагентних систем. За її допомогою відбувається кооперація та координація дій. У [6] виділяється 2 види інформаційної взаємодії агентів:

1) локальна форма – пряма взаємодія між агентами, двостороння передача повідомлень. Зберігання повідомлень не передбачено (якщо тільки агент-учасник немає подібного функціоналу). Забезпечується максимальна відмовостійкість;

2) мережева форма – архітектура «дошки оголошень». Використовує посередника, що зберігає повідомлення в спільній пам'яті, забезпечує ефективний пошук. Така архітектура дозволяє повідомляти агентам про зміни в репозиторії, контролювати типи даних та цільові групи видавців-отримувачів. В літературі також зустрічаються підтипи такої взаємодії:

а) дошки запитів – тут публікуються запити на виконання певної роботи. Агенти-виконавці обирають запит для подальшої роботи.

б) дошка послуг – тут публікуються сервіси, що агенти можуть і хочуть надати. Агенти-клієнти обирають кращого виконавця.

в) брокер – тут збираються запити й сервіси, між ними встановлюється найкраща відповідність.

Роль посередника в мережевій формі комунікації може відігравати як інфраструктура середовища, так і окремий вид агента (також відомого як middle-agent). За цю роботу він може брати плату. Такі агенти потрібні не тільки для оптимального розподілу завдань та ресурсів, але і як центри комунікації та координації.

В багатоагентних системах немає вимог, що агент має бути постійно доступним, а їх кількість постійною. Агенти можуть від'єднуватись та приєднуватись до системи. Це викликає проблеми комунікації та моніторингу доступних ресурсів в системі. Такі агенти можуть виступати локаль-

ними центрами, проте тоді їх відключення здатне завдати великої шкоди системі. Децентралізована пряма комунікація більш стійка до відмов, проте може бути складнішою при меншій ефективності.

Для комунікації різних агентів необхідно використовувати певну уніфіковану мову, що надасть певний спільний мовний формат та спільну онтологію. Мовний формат (протокол) однозначно інтерпретується усіма учасниками, в той час, як онтологія забезпечує єдине розуміння одного й того самого повідомлення всіма [6]. Популярною мовою комунікації в багатоагентних системах є Мова запитів та маніпулювання знаннями (KQML – Knowledge Query and Manipulation Language).

KQML задумано як формат повідомлень і протокол їх обробки, щоб сприяти безперервній взаємодії між агентами. KQML складається з трьох рівнів:

1) рівень комунікації, що вказує інформацію про агента-відправника та агента призначення, мітку або ідентифікатор запиту;

2) рівень повідомлень, який визначає функцію, що виконується;

3) рівень змісту, що забезпечує необхідні деталі до виконання конкретного запиту.

У KQML рівень комунікації є низькорівневим на основі пакетів. Комунікаційні потоки KQML можуть бути побудовані на основі TCP/IP, UDP або на основі будь-якого іншого протоколу передачі пакетів. Також треба згадати про платформу FIPA – Foundation for Intelligent Physical Agents, що надає стандарти побудови агентних систем, а також надає власний протокол комунікації між агентами. Вищезгаданий фреймворк JADE є сумісним з FIPA.

Кожен агент за потреби виконує ролі «менеджер» – замовник та «підрядник» – виконавець. Якщо в процесі рішення агент-менеджер не в змозі вирішити деяке завдання, він шукає інший відповідний агент, здатний її вирішити. Для цього часто необхідно розбиття складного завдання на менші підзадачі та знаходження агентів-підрядників, які можуть ефективно виконати ці завдання. Підрядник може стати агентом-менеджером і розподілити підзавдання між агентами-виконавцями для того, щоб скоротити власні витрати часу на її вирішення. Менеджер укладає договір (контракт) з агентом-підрядником через процес торгів (конкурсу). У процесі здійснення конкурсу агент-менеджер задає тип необхідного ресурсу та опис задачі. Агенти, які знаходяться в режимі очікування та мають ресурси, необхідні для виконання

завдання, подають пропозиції із зазначенням їх можливостей. Якщо на оголошення вирішуваного завдання відповідають кілька агентів, то агент-менеджер, користуючись деяким критерієм, оцінює отримані заявки, вибирає найбільш відповідного підрядника та присуджує контракт [6].

Процес торгів може залежати від видів агентів, що беруть участь. Існують агенти індивідуальні, що мають власні цілі, а також групові, що мають спільну ціну. індивідуальні (егоїстичні) перш за все дбають про власну вигоду, а групові здатні поступатися власними доходами, чи витратити більше, заради перемоги команди. Егоїстичні агенти також можуть надавати неправдиву чи вибірккову інформацію аби отримати певні переваги.

Можливість виникнення помилок слід враховувати при конструюванні багатоагентних систем. Можна виділити такі категорії:

1) навмисні (навмисно вчиняються учасником комунікації)

- a) створення вигаданих фактів;
- b) викривлення існуючих фактів;
- c) вибіркковість фактів;

2) випадкові

a) помилки сприйняття (через обмеженість сприйняття, технічні помилки тощо);

b) помилки обробки;

c) помилки передачі (здебільшого вирішуються протоколами комунікації).

В [5] вказано на те, що під час мовленнєвих актів під час торгів варто також влаштовувати можливість агента-виконавця досягти бажаного результату і його намір. Мовленнєвий акт може вважатися успішним, якщо цільовий стан системи було досягнуто, проте не в результаті діяльності агента-виконавця. Якщо це має значення, то критерій успіху також має враховувати фактичну можливість агента-виконавця задовольнити умови (фізичну можливість та know-how).

В [7] показано, що насичення агентів внутрішніми потребами в груповій приналежності, визначеності та компетентності призводить до появи соціальної поведінки серед агентів. Така поведінка виражається в альтруїзмі стосовно агентів у групі та ворожих тенденціях до агентів поза групою. Подібним чином фактори навколишнього середовища та ситуації сприяли появі викидів: агенти з ворожих груп стають близькими друзями. Необхідно підкреслити, що такі ефекти не були спеціально запрограмовані, а є результатом незалежних рішень агентів. Явища кооперації та координації спостерігаються на тлі обмежених ресурсів чи можливостей агентів.

Важливим є розуміння концепту середовища, що в різних авторів може мати різне значення. Середовищем можна вважати все, що не є агентом. Це й інфраструктура комунікацій (мережа, цифрові «феромони» тощо), ресурси тощо.

В [8] можна знайти більш детальну інформацію, разом з описом еволюції поняття, різних його трактувань.

**Проблема оптимізації системи.** Багатоагентні системи відносяться до тих, що здатні до самоорганізації. Цілі агентів ніколи не покривають глобальної цілі, задля якої була створена система. Загальна ефективність системи залежить не тільки від оптимальних дій кожного агента, але й від їх взаємодії. Можливо навести аналогію з командною грою в футбол. Де гравці (агенти) мають свої ролі, для яких вони мають найкращі властивості. Кожен агент має свої цілі, як спільну командну (перемогти), так і особисту (виступити найкращим чином, задля потенційного отримання кращих контрактів). При неправильному узгодженні цілей, агент може ризикнути задля особистих цілей, наразивши на небезпеку перемоги команди. Також, при поганій координації дій, для переваги й індивідуальні навички гравців можуть використовуватися не в повну силу.

Проблемою також є обмеженість сприйняття світу, що заважає приймати оптимальні рішення. Агент може знати все про середовище, проте не знати про внутрішній стан інших, їх потенціальні дії. Якщо ж агент може сприймати всю систему, то не здатний все обробити чи впливати на всі аспекти. Інакше така система перетворюється на монолітну, де кожен агент і є системою, можливо в декількох екземплярах.

**Огляд існуючих підходів до оптимізації.** Система, подібно до ройових чи градієнтних алгоритмів, може поступово, ітеративно шукати оптимальні рішення або застрягнути в локальних екстремумах. Це зумовлює необхідність планувати та впроваджувати механізми оптимізації на різних рівнях.

В [9] автори розглядають методи оптимізації декількох фундаментальних проблем багатоагентних систем:

- 1) як збирати колективи (формування коаліції);
- 2) як приймати спільні рішення для координації дії (розподілена оптимізація обмежень);
- 3) як розподілити обмежені ресурси та завдання (багатоагентний розподіл ресурсів).

В [9] наводяться алгоритми та підходи для оптимізації класів задач, їх переваги та недоліки, враховуючи те що багатоагентні системи не цен-

тралізовані, а відповідно, такі алгоритми мають бути закладені в кожний агент. Альтернативою може бути спеціалізований агент (наприклад middle agent брокер), що візьме на себе обов'язок оптимально виконувати певні задачі (зазвичай, координувати), а інші будуть звертатися за його послугами.

Деякі алгоритми вимагають наявності спеціального агента чи інфраструктури в середовищі. Для прикладу, аукціони, як спосіб «чесного» розподілу ресурсів, вимагає щось, що буде приймати та обробляти ставки, не приймаючи в них участі. В деяких реалізаціях вимагається секретність значень ставок до моменту їх обробки для прийняття неупереджених рішень. Для формацій колективів кожен агент може для себе оцінювати користь від вступу в групу, подавати заявки на вступ, а група вже буде голосувати за прийняття чи відмову, залежно від користі для групи, на конкурсній основі. Можливий також сценарій координації групоутворення з локального центру, коли важливим є не конкурентна боротьба між групами, а набір завдань, що мають бути вирішені певними силами. Прикладом такого є боротьба з надзвичайними ситуаціями. Центр (диспетчер) має мінімізувати шкоду, а для розв'язання проблем комбінувати обмежену кількість ресурсів (наприклад, пожежних груп, карет швидкої та екіпажів поліції). Під координацією дій в [6] мається на увазі обмеження доступних варіантів дій агента. Це може бути як декларативна так і імперативна команда. Проте агент все ще проявляє власний контроль та сам обирає як йому діяти згідно з власними переконаннями та можливостями. В деяких системах агент може вступити в переговори для зміни умов або взагалі відмовитись від виконання. Тому всі ці проблеми й способи їх оптимізації вимагають цілеспрямованого їх розв'язання розробниками.

В інтелектуальних же агентах, що здатні до навчання, механізми оптимізації реалізуються за допомогою обробки власного досвіду. Такий підхід демонструє високу ефективність, адже здатний враховувати взаємозв'язки неочевидні чи недосліджені. Чим більше досвіду тим оптимальніші дії. Наразі популярними є агенти побудовані за допомогою Reinforcement Learning. Існує велика кількість робіт, що досліджують використання різних моделей, способів нагороджень та покарань, функцій оцінки ефективності. Також можна зустріти підходи з розбиття комплексних стратегій на менші, використання узагальнених, наперед навчених на різних завданнях та даних моделей. Варто лише зазначити, що такі моделі

вимагають багато обчислювальних ресурсів, а також часу. А іноді й спеціалізованих великих наборів даних.

Проте, більшість авторів фокусуються саме на індивідуальному навчанні агентів, не розглядаючи можливість обміну досвідом/знаннями між агентами. Так, наприклад, люди вчаться не тільки на власному досвіді, але й від інших людей. В [10] висвітлюється і досліджується проблема обміну знаннями між однорідними агентами в багатоагентному навчанні з підкріпленням. Результатом роботи стало підвищення ефективності моделей, до того ж з використанням меншої кількості ресурсів, що зумовило актуальність робіт цього спрямування.

**Висновки.** В статті розглянуто багатоагентні системи та її компоненти. Були наведені характерні особливості її складових та різні методи їх взаємодії. Відповідно до перерахованих осо-

бливостей системи (децентралізованість, обмеженість світосприйняття, локальна модель світу) була поставлена проблема неоптимальності роботи таких систем. В роботі проаналізовано типові проблеми оптимізації в багатоагентних системах та особливості їх застосування. В ході аналізу підкреслено нестачу досліджень, що розглядають обмін знаннями та умовиводами між агентами, особливо, здатними до навчання. Також бракує досліджень, що розглядають обмін знаннями в системах з нульовою чи низькою довірою. Гарним прикладом системи з нульовою довірою є мережа біткоїна. Деякі підходи можуть бути адаптовані звідти.

Потенційно, подальші дослідження щодо обміну знаннями, умовиводами та моделями світу між агентами здатне підвищити точність роботи таких систем, зі зменшенням ресурсів, необхідних для навчання агентів.

#### Список літератури:

1. Kubera Y., Mathieu P., Picault S.. Everything can be Agent!. 9th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2010), May 2010, Toronto, Canada. p.1547-1548.
2. Tweedale J., Ichalkaranje N., Sioutis C., Jarvis B. Innovations in multi-agent systems, Journal of Network and Computer Applications, Volume 30, Issue 3, 2007, p. 1089-1115
3. Russell S., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. – Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 2010. – p1132.
4. Rao A., Georgeff M. BDI Agents: From Theory to Practice. Proc. of the 1st Int. Conference on MultiagentSystems. – 1995. – p. 312–319.
5. Singh M. Towards a formal theory of communication for multiagent systems. In Proceedings of the 12th international joint conference on Artificial intelligence - Volume 1 (IJCAI'91). Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, p. 69–74.
6. Парасюк І. Ершов С. Методи взаємодіяння і координації в мультиагентних системах на основі нечіткої логіки вищого типу. Проблеми програмування. 2014. № 2-3. С. 242-252.
7. G. Volkmer, N. Alsabah. Group Cohesion in Multi-Agent Scenarios as an Emergent Behavior. 2022. (arXiv preprint arXiv:2211.02089).
8. Weyns D., Omicini A., Odell J. Environment as a first class abstraction in multiagent systems. Auton Agent Multi-Agent Syst 14, p. 5–30 (2007).
9. Cerquides J., Farinelli A., Meseguer P., Sarvapali D. A Tutorial on Optimization for Multi-Agent Systems. The Computer Journal. Volume 57, Issue 6, 2014, p. 799–824
10. Gao Z., Xu K., Ding B., Wang H., Li Y., Jia H. KnowSR: Knowledge Sharing among Homogeneous Agents in Multi-agent Reinforcement Learning. 2021. (arXiv preprint arXiv:2105.11611).

#### **Bochok V.O., Fedorova N.V. MULTI-AGENT SYSTEMS AND PROBLEMS OF THEIR OPTIMIZATION**

*The article deals with multi-agent systems as a phenomenon. The article explores the areas of their use, features and distinctive characteristics. The article analyzes and harmonizes several sources to form a common understanding of the specifics of multi-agent systems. A generalized definition of an agent as the main component and actor of multiagent systems is given, and their distinctive properties (autonomy, individuality and limited perception, decentralization) are explained. An explanation of the agent's intelligence and its classification by this feature is given. To define an agent, the currently popular Belief-Desire-Intent model used in such frameworks as JADE is presented.*

*No single agent is able to fully satisfy the needs of the entire system, and therefore has to interact with other participants. The article describes the mechanism of information interaction, the classification of its types and the infrastructure component.*

*According to these features, communication and coordination mechanisms, the problem of optimal operation of multi-agent systems is highlighted. As a result of the analysis and coordination of information from various sources, optimization problems inherent in multi-agent systems were formed. The article presents several fundamental optimization problems and analyzes their peculiarities in a multi-agent environment. A distinction is made between algorithms that require a coordination center and those that can be implemented in a decentralized manner.*

*For agents capable of learning, the optimization problem is posed separately, because it is solved by separate approaches. Such systems learn to optimize independently from their own experience, but require a lot of computing resources and time. To solve this problem, we analyze the approaches to sharing experience between agents and provide prospects for further research.*

**Key words:** *multi-agent systems, belief-desire-intention model, query language and knowledge manipulation, reinforcement learning, optimization of multi-agent systems.*