

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова**  
**Навчально науковий інститут комп'ютерних наук та управління**  
**проектами**

Кафедра інформаційних управляючих систем та технологій

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ 2021 р.  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»**

**на тему:** Дослідження технологій та застосування багатоагентних систем для управління віртуальним підприємством з виробництва корпусної меблі

Виконав: студент групи 6141мз

\_\_\_\_\_ Партас В.К.  
(підпис)

Керівник роботи:

\_\_\_\_\_ доцент каф. ІУСТ, к.т.н  
(посада, науковий ступень, вчене звання)

\_\_\_\_\_ Книрик Н.Р.  
(підпис)

# МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Навчально науковий інститут комп'ютерних наук та управління проектами

Кафедра інформаційних управляючих систем та технологій

Спеціальність 122 Комп'ютерні науки

Освітня програма Комп'ютерні науки

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

\_\_\_\_\_ Ажищев В.Ф.  
(підпис)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 р.

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

Студенту \_\_\_\_\_ Партасу Віктору Кириловичу

(Прізвище, ім'я, по батькові)

1.Тема роботи: Дослідження технологій та застосування багатоагентних систем для управління віртуальним підприємством з виробництва корпусної меблі

Керівник роботи \_\_\_\_\_ доцент, к.т.н. Книрик Н.Р.

Затверджені наказом ректора № \_\_\_\_\_ від «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 року

2.Термін подання роботи: \_\_\_\_\_

3.Вихідні дані по роботі: Дані про розвиток меблевої галузі, організація та технології виробництва, існуючі інформаційні системи в галузі виробництва меблі.

4.Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів): Аналіз сучасного стану меблевого виробництва, дослідження організації віртуальних підприємств, дослідження технологій та механізмів багатоагентних систем, проектування інформаційної системи віртуального підприємства, техніко-економічні показники віртуального підприємства

5.Перелік презентаційних матеріалів 1) Результати аналізу предметної галузі. 2)Типовий бізнес-процес виконання замовлення. 3)Схема бізнес-процесу у віртуальному підприємстві. 4)Структура багатоагентної системи. 5)Вимоги до багатоагентних систем. 6)Оптимізаційна модель долучення агентів. 7)Модель віртуального підприємства. 8)Загальносистемні рішення. 9)Структура даних. 10) Модель компонентів системи. 11)Висновки



## 6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|--------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|        |                                           | завдання видав | завдання прийняв |
|        |                                           |                |                  |
|        |                                           |                |                  |
|        |                                           |                |                  |
|        |                                           |                |                  |
|        |                                           |                |                  |
|        |                                           |                |                  |

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| Номер | Назва етапів роботи | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|---------------------|--------------------------------|----------|
| 1.    |                     |                                |          |
| 2.    |                     |                                |          |
| 3.    |                     |                                |          |
| 4.    |                     |                                |          |
| 5.    |                     |                                |          |
| 6.    |                     |                                |          |
| 7.    |                     |                                |          |
| 8.    |                     |                                |          |
| 9.    |                     |                                |          |

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Партас В.К. \_\_\_\_\_  
(ПІБ)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Книрик Н.Р. \_\_\_\_\_  
(ПІБ)

## Анотація

Магістерська робота присвячена дослідженню технологій та застосувань багатоагентних систем для управління віртуальним підприємством з виробництва меблі. Актуальність роботи пов'язано з прагненням до найбільш ефективного використання зайвих виробничих ресурсів меблевих профільних підприємств в умовах кризових явищ в економіці, які склалися в останні роки.

Об'єктом досліджень в роботі є віртуальні підприємства з виготовлення меблі за індивідуальними замовленнями. Предметом досліджень технології багатоагентних систем для управління віртуальним підприємством при виконанні замовлення або портфеля замовлень.

Метою роботи є забезпечення виконання замовлень незалежно від складності виробів відповідно вимог до строків та якості з отриманням максимально-можливим прибутком.

Наукова новизна полягає в розробці моделей формування коаліцій агентів, а також розробки алгоритму прийняття рішень щодо долучення необхідних ресурсів з боку підприємства для виконання замовлень.

В магістерській роботі використовуються: структурно-генетичний метод аналізу при дослідженні багатоагентних систем, методи лінійного програмування при розробки оптимізаційної моделі системи, методи моделювання систем UML.

Робота складається зі вступу, 4-х розділів, висновків та списку літератури з 84 джерел. Робота викладена на 112 сторінках, містить 21 рисунок, 6 таблиць.

## Abstract

The master's thesis is devoted to the study of technologies and applications of multi-agent systems for the management of a virtual enterprise for the production of furniture. The urgency of the work is due to the desire to make the most efficient use of excess production resources of specialized furniture companies in the crisis in the economy that has developed in recent years.

The object of research in the work are virtual enterprises for the manufacture of furniture to individual orders. The subject of research is the technology of multi-agent systems for the management of a virtual enterprise in the execution of orders or a portfolio of orders.

The purpose of the work is to ensure the fulfillment of orders regardless of the complexity of the products in accordance with the requirements for time and quality with the maximum possible profit.

The scientific novelty is the development of models for the formation of coalitions of agents, as well as the development of decision-making algorithms for attracting the necessary resources from the company to fulfill orders.

The master's thesis uses: structural-genetic method of analysis in the study of multi-agent systems, linear programming methods in the development of optimization model of the system, methods of system modeling UML.

The work consists of an introduction, 4 chapters, conclusions and a list of references from 84 sources. The work is presented on 112 pages, contains 21 figures, 6 tables.

## ЗМІСТ

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП .....                                                                                                   | 7  |
| 1. ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНОГО СТАНУ ВИРОБНИЦТВА МЕБЛІ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ВІРТУАЛЬНОГО ПІДПРИЄМСТВА ..... | 10 |
| 1.1. Аналіз стану виробництва меблі за останні роки.....                                                      | 10 |
| 1.2. Проблеми організації бізнес-процесів виготовлення меблів за індивідуальними замовленнями .....           | 12 |
| 1.3. Постановка задачі .....                                                                                  | 15 |
| 1.4. Дослідження існуючих форм організації віртуальних підприємств .....                                      | 16 |
| 1.5. Технологічні засоби для побудови віртуальних підприємств .....                                           | 22 |
| 1.6. Висновки.....                                                                                            | 31 |
| 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ БАГАТОАГЕНТНИХ СИСТЕМ .....                                                         | 32 |
| 2.1. Загальні відомості про багатоагентні системи .....                                                       | 32 |
| 2.2. Визначення та властивості агента.....                                                                    | 33 |
| 2.3. Визначення багатоагентних систем.....                                                                    | 36 |
| 2.4. Застосування багатоагентних систем .....                                                                 | 41 |
| 2.5. Проблеми застосування багатоагентних систем .....                                                        | 50 |
| 2.6. Середовище моделювання та симуляції агентних систем .....                                                | 65 |
| 2.7. Висновки з дослідження та загальний алгоритм створення багатоагентних систем.....                        | 66 |
| 3. РОЗРОБКА КОНЦЕПЦІЇ БАГАТОАГЕНТНОЇ СИСТЕМИ ВІРТУАЛЬНОГО ПІДПРИЄМСТВА З ВИГОТОВЛЕННЯ МЕБЛІ .....             | 68 |
| 3.1. Формування вимог до агентів – учасників системи управління підприємством .....                           | 68 |
| 3.2. Моделі визначення агентів віртуального підприємства для виконання замовлення .....                       | 72 |

|                                                                                                      |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.3. Концептуальна модель інформаційної системи віртуального підприємства.....                       | 78  |
| 3.4. Висновки.....                                                                                   | 80  |
| 4. ПРОЄКТУВАННЯ БАГАТОАГЕНТНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВІРТУАЛЬНИМ ПІДПРИЄМСТВОМ З ВИРОБЛЕННЯ МЕБЛІ ..... | 82  |
| 4.1. Загальносистемні рішення.....                                                                   | 82  |
| 4.2. Рішення з інформаційного забезпечення. ....                                                     | 84  |
| 4.3. Рішення з математичного забезпечення.....                                                       | 92  |
| 4.4. Рішення з програмного забезпечення.....                                                         | 93  |
| 4.5. Рішення з технічного забезпечення .....                                                         | 101 |
| 4.6. Рішення з організаційного забезпечення. ....                                                    | 102 |
| 5. ВИСНОВКИ.....                                                                                     | 103 |

## ВСТУП

В останні роки спостерігається поступовий розвиток виробництва меблі після тимчасової кризи та падіння виробництва. даних Державної служби статистики України, спостерігається різкий стрибок виробництва меблі побутового сектору, а обсяг виробництва офісних та меблі підприємницького сектору знаходиться майже на одному рівні. Це пояснюється, в першу чергу, кризисними явищами, які продовжуються до сих пір. Однак можна помітити інше цікаве явище – доля обсягів виробництва поступово перетікає від великих підприємств до суб'єктів малого підприємництва. Це пояснюється тим, що підприємства почали пошук шляхів зменшення витрат для зберігання виробничого та людського потенціалу.

Одним з найбільш перспективним шляхом є технічне та технологічне переоснащення в бік підвищення рівня механізації та автоматизації виробничих процесів, а також автоматизації управління підприємством. На багатьох підприємствах було придбано високоякісне обладнання (верстати з числовим програмним керуванням) для виробництва меблі німецького, австрійського, французького та італійського виробництва, що визнані лідерами в цій галузі. Застосування такого обладнання дає можливість забезпечити високу якість виробів, підвищити продуктивність та зменшити кількість працівників, задіяних у виробництві. Також ризький ріст інвестиційної привабливості країни, який привів до відкриття безлічі представництв відомих європейських та китайських фірм – виробників якісного обладнання, що спонукало на відкриття нових виробництв та переоснащення існуючих.

Таким чином, виникли умови, при яких малі підприємства змушені звернутись до інших виконавців – виготовлення деталей, замовлення фурнітури, транспортування. У прагненні скоротити строки виконання робіт, замовлення на виготовлення деталей може бути доручено підприємству, яке не може забезпечити потрібну якість.

Основна ідея щодо вирішення цієї проблеми – створення деякої предметно-орієнтованої платформи для об'єднання всіх зацікавлених сторін.

Така платформа може функціонувати як віртуальне підприємство, яке тимчасово може об'єднати різні підприємства - агенти для забезпечення виконання замовлень у задані строки та потрібної якості.

Розвиток інформаційних технологій у бік створення розподілених систем на основі мережових технологій, віддаленого доступу до інформації, розповсюдження та впровадження у всі сфери діяльності web-технологій створили умови для пошуку нових технологій управління підприємствами. Таким чином ще у 90-ті роки з'явилися перші багатоагентні системи, які створені з програмних агентів, спроможних самостійно вирішити поставлені задачі. У випадку віртуальних підприємств багатоагентну систему можливо застосувати для долучення зайвих ресурсів профільних підприємств для спільного виконання замовлень клієнтів. Програмні агенти, як представники реальних підприємств, на основі даних про власне виробництво, могли би вирішувати який обсяг робіт можна взяти для участі у виконанні замовлень.

Таким чином, **об'єктом досліджень** є віртуальні підприємства з виготовлення меблі за індивідуальними замовленнями. **Предметом досліджень** технології багатоагентних систем для управління віртуальним підприємством при виконанні замовлення або портфеля замовлень.

**Метою роботи** є забезпечення виконання замовлень незалежно від складності виробів відповідно вимог до строків та якості з отриманням максимально-можливим прибутком.

**Наукова новизна** полягає в розробці моделей формування коаліцій агентів, а також розробки алгоритму прийняття рішень щодо долучення необхідних ресурсів з боку підприємства для виконання замовлень

В першому розділі роботи проведений аналіз стану меблевого ринку і меблевого виробництва, обґрунтовано актуальність організації віртуальних підприємств з виробництва меблі на основі використання технологій багатоагентних систем для управління діяльністю підприємства.

Другий розділ присвячений дослідженню існуючих технологій багатоагентних систем, вивченню досвіду застосування програмних агентів для

різноманітних сфер діяльності, проведена класифікація агентів та форм взаємодії агентів в системі.

У третьому розділі розроблена концепція інформаційної системи віртуального підприємства з виробництва меблі з використання принципів багатоагентної системи, а також моделі формування коаліцій агентів для оптимізації процесу виконання замовлень. На її основі в четвертому розділі представлений проєкт інформаційної системи з використанням технології моделювання UML у складі загальносистемних рішень, рішень з інформаційного, програмного, математичного та організаційного забезпечення системи.



# 1. ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНОГО СТАНУ ВИРОБНИЦТВА МЕБЛІ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ВІРТУАЛЬНОГО ПІДПРИЄМСТВА

## 1.1. Аналіз стану виробництва меблі за останні роки

В останні роки спостерігається поступовий розвиток виробництва меблі [1] після тимчасової кризи та падіння виробництва (рис. 1.1). Разом с тим, з даних Державної служби статистики України видно, що спостерігається різкий стрибок виробництва меблі побутового сектору, а обсяг виробництва офісних та меблі підприємницького сектору знаходиться майже на одному рівні. Це пояснюється, в першу чергу, кризисними явищами, які продовжуються до сих пір. Однак можна помітити інше цікаве явище – доля обсягів виробництва поступово перетікає від великих підприємств до суб'єктів малого підприємництва (рис. 1.2). Якщо 2013 року великі підприємства виробляли у двічі більше меблі, то 2020 року обсяги виробництва майже рівні. Це свідчить про наступне:

- Дуже суттєво зріс попит індивідуальних замовлень, тобто виробництво меблі для конкретного приміщення замість серійної меблі. Зазвичай такі меблі замовляють для приватних осель або для малих офісів;
- Великі підприємства переважно орієнтуються на інші види діяльності, пов'язані з виробництвом меблі. Відомо, що індивідуальні замовлення є більш витратними для підприємства за рахунок неможливості оптимізації витрат у малих об'ємах, тому виробництво меблі стає збитковим.

Кризові явища 2013-2014 років привели до зниження обсягів виробництва (рис. 1.1). В цих умовах підприємства почали пошук шляхів зменшення витрат для зберігання виробничого та людського потенціалу. Одним з найбільш перспективним шляхом є технічне та технологічне переоснащення в бік підвищення рівня механізації та автоматизації виробничих процесів, а також автоматизації управління підприємством. Звичайно, що великі підприємства в цьому сенсі мають перевагу і здатні інвестувати у власне виробництво для подолання кризи у майбутньому. Таким чином, на багатьох підприємствах було

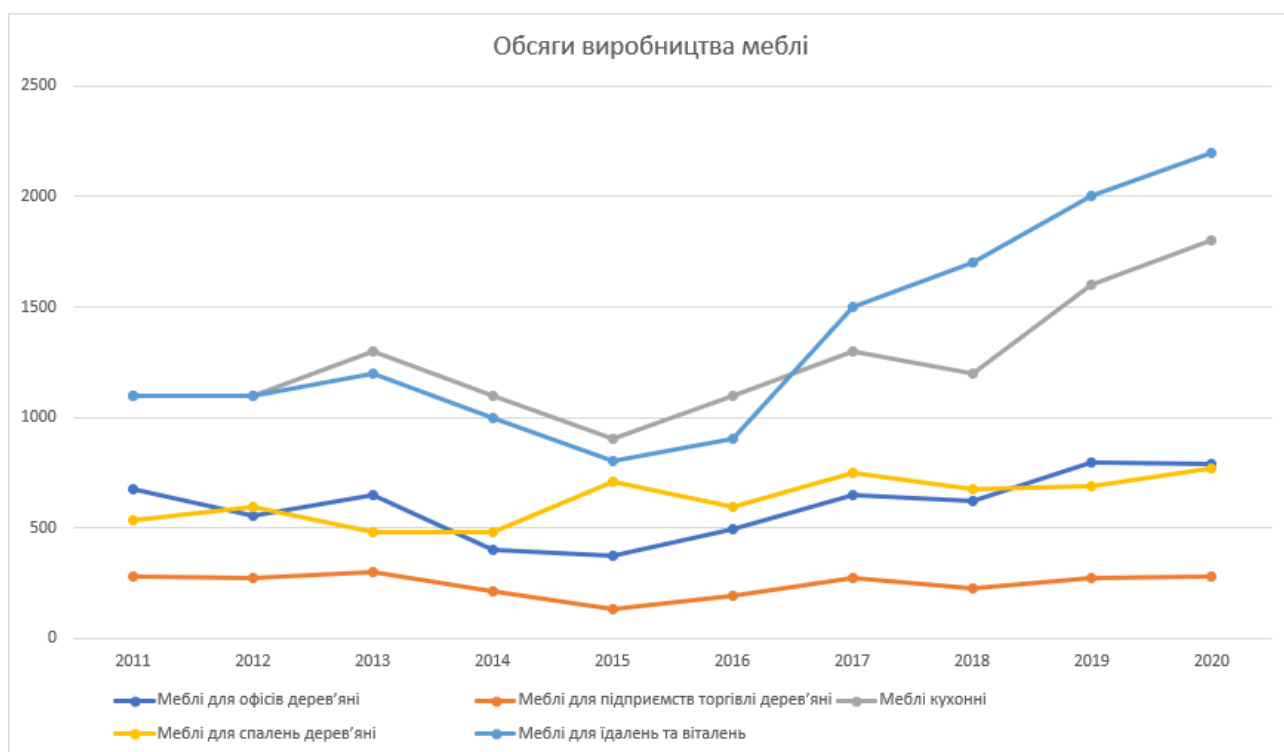


Рисунок 1.1. Діаграма обсягів виробництва меблі по роках

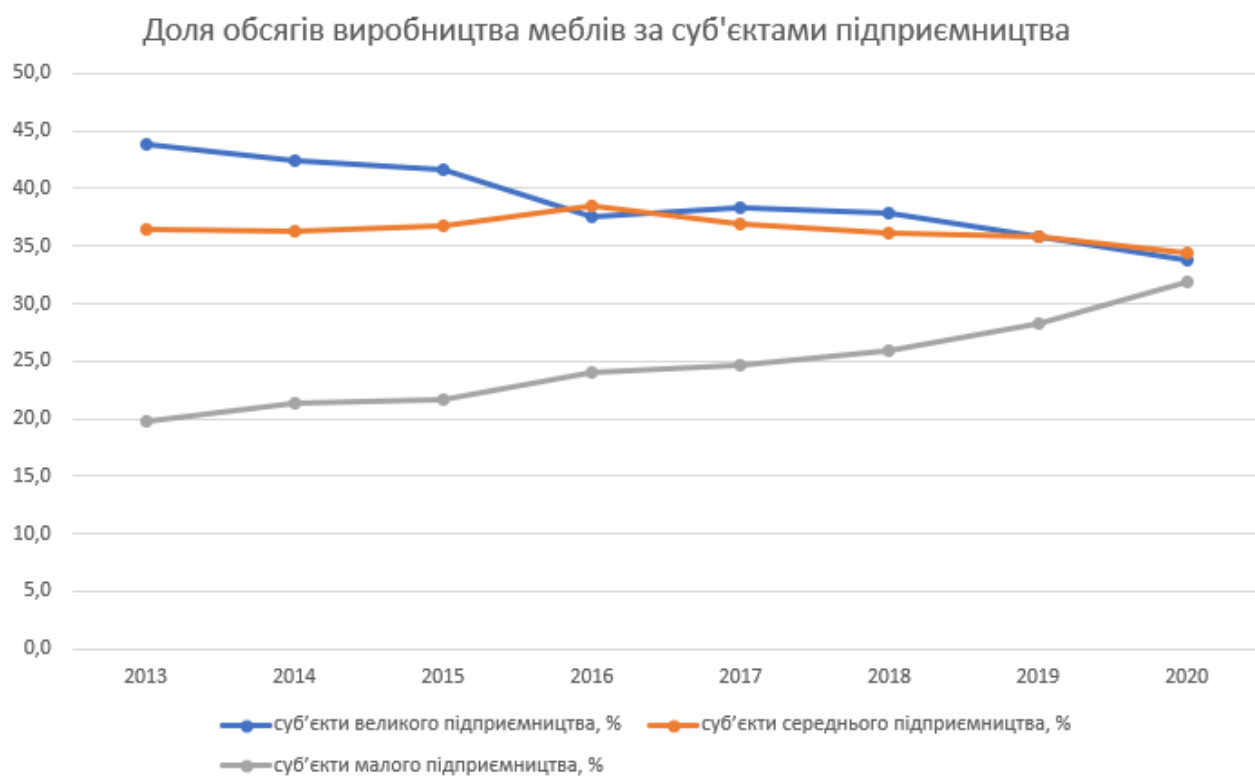


Рисунок 1.2. Доля обсягів виробництва меблі за суб'єктами виробництва по роках

придбано високоякісне обладнання (верстати з числовим програмним керуванням) для виробництва меблі німецького, австрійського, французького та італійського виробництва, що визнані лідерами в цій галузі. Застосування такого обладнання дає можливість забезпечити високу якість виробів, підвищити продуктивність та зменшити кількість працівників, задіяних у виробництві. Другим фактором, який сприяв підвищені обсягів виробництва, є ризький ріст інвестиційної привабливості країни, який привів до відкриття безлічі представництв відомих європейських та китайських фірм – виробників якісного обладнання, що спонукало на відкриття нових виробництв та переоснащення існуючих.

Ще одним фактором є відкриття «економічних кордонів», в результаті чого з'явилась можливість широкого постачання якісних комплектуючих верстатів для виробництва меблі, що привело до організації безлічі малих підприємств з розробки та виробництва обладнання доволі високого класу в бюджетному варіанті.

Ці умови створили гостру конкуренцію як на ринку праці, так і на ринку виробництва. Великі підприємства, які оснащені якісним обладнанням, переходять до виробництва серійної меблі або до постачання послуг з виготовлення деталей та продажу фурнітури. З іншого боку, виробництво індивідуальної меблі залишилось на сектор дрібних підприємців, які, на базі підприємств з продажу послуг, здатні виготовляти якісні та конкурентні меблі.

Безумовно, кінцевий споживач від гострої конкуренції в цій галузі лише виграє. Однак одночасно споживачу, який не є спеціалістом у тонкощах виробництва меблі, доволі важко прийняти оптимальне рішення щодо обрання виробника в залежності від своїх побажань та сподівань.

## 1.2. Проблеми організації бізнес-процесів виготовлення меблів за індивідуальними замовленнями

Типовий бізнес-процес виконання індивідуального замовлення малим підприємством представлений на рис. 1.3.

Після отримання замовлення та узгодження всіх особливостей починається етап розробки проєкту, який закінчується отриманням повного списку деталей, потрібних матеріалів, фурнітури та комплектуючих, а також попереднім розрахунком вартості. Після узгодження з клієнтом підприємець, який не має власних виробничих потужностей, вимушений звертатись до іншого виробництва для виготовлення деталей. В даному випадку строки виконання замовлення повністю залежать від іншого виробника.



Рисунок 1.3. Модель процесу виготовлення індивідуального замовлення

На наступних етапах готові деталі транспортуються до власного цеху для попередньої зборки, а потім знову напівготові вироби транспортуються до клієнта для завершального монтажу.

Таким чином, при виконанні всіх етапів одним підприємством, у якого обмежені виробничі ресурси, він змушений звернутись до інших виконавців – виготовлення деталей, замовлення фурнітури, транспортування. Кожний етап супроводжується втратами часу на організацію виконання. Крім того, у прагненні скоротити строки виконання робіт, замовлення на виготовлення деталей може бути доручено підприємству, яке не може забезпечити потрібну якість.

Основна ідея щодо вирішення цієї проблеми – створення деякої предметно-орієнтованої платформи для об'єднання всіх зацікавлених сторін.

Така платформа може функціонувати як віртуальне підприємство, тим паче що виникли передумови, які притаманні для подібного роду виробництв:

- Об'єднання незалежних підприємств та підприємців для спільного виконання замовлень;

- Можливість підбору складу виконавців в залежності від вимог до складності, якості та строків виготовлення виробів замовлення;
- Обмежені ресурси підприємств не дозволяють забезпечити всі необхідні етапи виготовлення виробів потрібного рівня якості;
- Можливість об'єднання зусиль різних підприємств на базі сучасних інформаційно-комунікаційних технологій.

Незважаючи на те, що поняття віртуального підприємства сформульовано ще 1986 року [1], до сих пір немає чіткого визначення. Взагалі, під віртуальним підприємством розуміють сукупність підприємств або інших суб'єктів (агенти), організаційно і територіально не пов'язаних між собою, об'єднаних для виконання визначеного проекту. Основні особливості віртуальних підприємств

- Управління віртуальним підприємством здійснюється на основі горизонтальних когнітивних зв'язків з центральним координуючим органом;
- Агенти віртуального виробництва переважно делегують для виконання проекту лише частину власних виробничих ресурсів;
- Агенти зберігають свою суб'єктність і долучаються до виконання спільного проекту за необхідністю.
- Інформаційна система для реєстрації агентів, збору інформації та управління бізнес-процесами.

Для побудови віртуального підприємства з виконання замовлень на індивідуальні меблі фактично потрібні наступні типи виконавців:

- Майстри з обробки замовлення – обстеження приміщення, вимір розмірів, з'ясування бажань клієнта щодо складу та призначення виробів, кольору та текстури матеріалів, фурнітури, шухлядок тощо;
- Проектувальники – досвідчені спеціалісти, які мають досвід у проектуванні меблів та призначення технології виготовлення. Іноді процес проектування та технологічні роботи виконують різні спеціалісти в залежності від складності виробів.

- Сервісні підприємства з виготовлення деталей – підприємства, оснащені відповідним обладнанням для вирізки деталей, нанесення крайки, фрезування, свердлення, а також обладнання для виготовлення фасадів (вирізка, фрезування, нанесення облицювальної плівки або фарбування). Як правило, такі підприємства також є постачальниками фурнітури та кріплень.
- Транспортні підприємства – для транспортування виготовлених деталей і/або окремих секцій меблевих виробів. Підприємства повинні мати вантажні автомобілі зі спеціальним оснащенням для запобігання пошкодження меблі, а працівники повинні мати досвід вантажно-розвантажних робіт меблі.
- Майстри зі зборки меблі та монтажу у приміщеннях клієнта.

Зрозуміло, що одне і теж підприємство здатне виконати деякі етапи робіт власними силами. Однак у складі віртуального підприємства різні агенти об'єднуються для оперативного вирішення всіх питань за найкоротший час. У цьому сенсі потрібен деякий координаційний центр або агент для координації дій всіх задіяних виконавців. Загальний бізнес-процес представляється наступним чином (рис. 1.4)

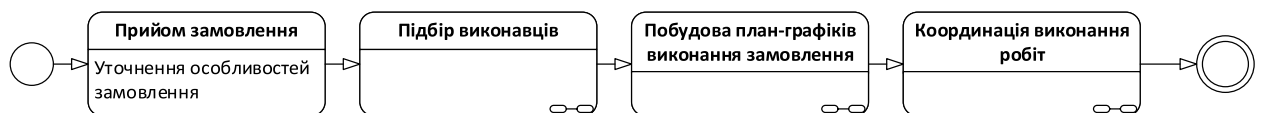


Рисунок 1.4. Модель бізнес процесу виконання замовлення з боку агента-координатора

Після прийому замовлення і визначення основних параметрів виробів виконується підбір виконавців робіт. Для здійснення у подальшому координації робіт потрібно розробити план графік виконання замовлення. Вибір виконавців потрібно виконати за критеріями, які відповідають вимогам замовлення.

### 1.3. Постановка задачі

З опису предметної області (п.п.1.1, 1.2) можна зробити висновок, що одним з найефективнішим шляхом виконання індивідуальних замовлень меблі є

організація віртуальних підприємств. Для прийняття правильних рішень потрібно аналізувати існуючий світовий досвід і визначити технології управління агентами-виконавцями. Таким чином, **об'єктом досліджень** є віртуальні підприємства з виготовлення меблі за індивідуальними замовленнями. **Предметом досліджень** є технології управління віртуальним підприємством при виконанні замовлення або портфеля замовлень.

**Метою роботи** є забезпечення виконання замовлень незалежно від складності виробів відповідно вимог до строків та якості з отриманням максимально-можливим прибутком.

Для досягнення мети потрібно вирішити наступні задачі:

- Дослідити світовий досвід застосування віртуальних підприємств для з'ясування та обрання найбільш ефективної форми організації;
- Дослідити технології управління агентами віртуального підприємства та обрати найбільш ефективні при організації процесу виготовлення меблі;
- Розробити концепцію інформаційної системи віртуального виробництва;
- Розробити проєкт інформаційно-управляючої системи віртуального підприємства з виробництва меблі.

**Наукова новизна** полягає в розробці моделей формування коаліцій агентів, а також розробки алгоритму прийняття рішень щодо долучення необхідних ресурсів з боку підприємства для виконання замовлень

#### 1.4. Дослідження існуючих форм організації віртуальних підприємств

Поширення віртуальних підприємств почалось тоді, коли застосування інформаційних і комунікаційних мереж досягли якісно нового рівня, що пов'язано з розвитком інтернет-технологій. Бізнес побачив нові можливості в використанні інформаційних комунікаційних технологій для розірвання географічних кордонів і оперативного рішення задач спільно з партнерами, незалежно від розташування.

Вперше поняття віртуального підприємства використав А. Мошовитс (Mowshowitz A.). У статті [4] автор, під впливом перших успіхів мережі Internet,

передбачас можливість побудови спільних проектів на основі нових інформаційних технологій. Однак перше визначення, яке є актуальне до сих пір, сформульовано в [5] Гольдманом (Goldman). Віртуальне підприємство визначається як співробітництво між компаніями, партнерство або спільне підприємство, у якому всі члени виконують власні компетенції.

Економічна складова згадується при визначені віртуального підприємства в роботах [6, 7]. Блейхер (Bleecker) пише про віртуальну корпорацію як гнучке підприємство, створене на деякий час з метою отримання прибутку за рахунок розширення асортименту товарів та послуг. Також, М. Вульф (Wolff M) вказує, що географічна розбіжність не заважає об'єднанню підприємств заради отримання спільного прибутку у складі віртуального підприємства.

Необхідно відмітити, що про важливість інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) для функціонування віртуальних підприємств дослідники почали згадувати пізніше. Спочатку відмічали допоміжну роль ІКТ [8,9,10]. Наприклад, Фишер(Fisher), а потім Тапстоф (Tapstoff) у книзі про цифрову економіку писали, що віртуальне підприємство *може* використовувати інформаційно-комунікаційні технології як допоміжний інструмент у своїй діяльності. Однак пізніше автори ставлять використання ІКТ як одну з типових характеристик віртуального підприємства [11, 12, 13, 14, 15]. Найбільш широке визначення віртуальної корпорації сформулював Бірн (Byrne) в статті «A virtual corporation» [11] як мережа незалежних компаній постачальників, клієнтів і навіть колишніх супротивників, з'єднаних інформаційними технологіями для обміну досвідом, розділення витрат і реалізації доступу до спільних ринків. В статті «Моделі та методи проектування інформаційних систем електронної контент-комерції» [12] Берко А.Ю дає наступне визначення: «Віртуальне підприємство – це співтовариство територіально роз'єднаних фірм чи співробітників, що обмінюються продуктами своєї праці і *спілкуються винятково електронними засобами* при мінімальному або цілком відсутньому особистому контакті».



Автори наведених вище підходів заклали фундамент визначення сутності поняття віртуальна організація. Як уже зазначалося, перші дослідження, пов'язані з визначенням сутності віртуальної організації були пов'язані з переходом від масового виробництва до продукції, спрямованої на індивідуальне задоволення потреб та розвитком інформаційних технологій. Для розуміння, яким чином створення віртуальної організації допомагає вирішити проблеми в конкретних умовах, необхідно виявити мету створення подібної організації. Деякі автори припускають, що створення віртуального підприємства дозволяє отримати додаткову вигоду, реалізації будь-якого проекту виробництва, створення та реалізації нового виду продукції тощо. Всі ці цілі можуть реалізовуватися в рамках діяльності віртуальної організації, проте всі вони спрямовані на отримання саме економічної вигоди. Таким чином, ***метою створення віртуального підприємства є максимізація прибутку шляхом задоволення запитів споживачів краще, дешевше, швидше.***

З аналізу вищезгаданих джерел далі узагальнимо визначення та характерні риси віртуальних підприємств. Різноманітні автори виділяють цілу низку ознак властивостей віртуального підприємства:

- віртуальне підприємство існує у формі альянсу, партнерства;
- партнери віртуального підприємства юридично незалежні один від одного;
- партнерство у віртуальному підприємству має тимчасовий характер;
- віртуальне підприємство має гнучку структуру (відсутність ієрархії);
- діяльність віртуального підприємства основана на використанні ІКТ;
- для віртуального підприємства характерна географічна роз'єднаність партнерів;
- для віртуального підприємства характерна інтеграція із споживачем.

Однак, схоже, не всі перераховані вище ознаки притаманні віртуальному підприємству. Докладніше проаналізуємо кожен із представлених вище ознак для виявлення характерних рис віртуального підприємства.

*1)Віртуальне підприємство існує у формі альянсу, партнерства.*

Наразі існує безліч прикладів коли підприємства, при відсутності відповідних ресурсів, створюють тимчасовий альянс з іншими партнерами для досягнення деякої цілі. У суднобудування для пришвидшення розробки робочого проєкту часто долучають різні колективи проєктувальників, кожен з яких відповідає за окремий блок корпусу судна. Таким чином, можна зробити висновок, що для віртуального підприємства партнерство різних економічних агентів є характерною рисою.

*2)Партнери віртуальної організації юридично незалежні один від одного.*

На відміну від відомих форм економічних альянсів як трест або синдикат, у віртуальному підприємстві всі партнери є юридично незалежними один від одного, що дозволяє їм розділяти ризики і бути стійкішими, а співпраця має добровільний характер.

*3)Партнерство у віртуальному підприємстві має тимчасовий характер.*

В умовах ринкової конкуренції та економічних криз компаніям необхідно не тільки акумулювати ресурси з найменшими витратами, а й максимально швидко реагувати на зміни споживчого попиту. Партнерство якраз є шляхом оперативного рішення задач у випадку недостачі ресурсів, тому об'єднання економічних агентів повинна мати тимчасовий характер, а можливо і одноразовий. Необхідні компетенції об'єднуються для реалізації поставленої мети і згодом розформовуються або трансформуються.

*4)Віртуальне підприємство має гнучку структуру (відсутність ієрархії).*

Виходячи з другої та третьої ознаки можна виділити наступну ознаку – гнучкість організаційної структури (відсутність ієрархії). Віртуальне підприємство має можливість швидко реагувати та адаптуватися до ринкових змін, таких як зміни споживчого попиту. Це пов'язано з наявністю можливості швидко і з найменшими витратами (як часом, так і фінансовими) підбирати необхідні ресурси. Необхідно зазначити, що підприємство може позбавлятися додаткових витрат, внаслідок відсутності необхідності утримувати відділи та підрозділи, які не задіяні у реалізації її основних компетенцій.

*5) Діяльність віртуальної організації базується на використанні інформаційно-комунікаційних технологій.*

Найбільш значущою ознакою віртуальної організації є використання інформаційних та телекомунікаційних технологій. Виникнення перших віртуальних організацій пов'язане з інтенсивним розвитком ІКТ та Інтернету. Існування та розвиток віртуальних організацій стало можливим у зв'язку з використанням інформаційних технологій, оскільки саме інформаційні технології дають можливість компаніям знаходити необхідні ресурси та об'єднувати їх у найкоротші терміни. Також використання ІКТ дає можливість працювати віддалено, що збільшує швидкість прийняття рішень та знижує комунікаційні витрати.

*6) Для віртуального підприємства характерна географічна роз'єднаність партнерів.*

Багато авторів приділяють увагу на обов'язковість географічної роз'єднаності партнерів. Однак схоже, що це не зовсім правомірною. Є безліч прикладів об'єднання партнерів, які розташовані на одній території. Наприклад, при організації проекту з розробки програмного забезпечення долучення програмістів – фізичних осіб-підприємців є звичайна практика. Тому, ця ознака не є обов'язковою характеристикою віртуальної організації, оскільки партнери, що об'єднуються для співпраці, можуть бути як географічно роз'єднані, так і функціонувати в межах однієї території.

*7) Для віртуального підприємства характерна інтеграція із споживачем.*

Ця ознака передбачає довгострокову інтеграцію виробника та споживача для забезпечення більшої стійкості підприємства. Однак це положення входить у суперечність з 3-й ознакою – тимчасовий характер співробітництва. Якщо за підсумками виконання поставленої мети віртуальне підприємство має бути розформовано, то довгострокова інтеграція з клієнтами неможлива.

В таблиці 1.1 представлений зв'язок між метою та ознаками віртуального підприємства. Видно, що кожна визначена ознака потрібна для досягнення мети. Для поліпшення якості продукту необхідно збільшення потужності

підприємства, яке досягається шляхом об'єднання ресурсів. Це дозволяє також і зробити продукт дешевшим, поділивши витрати та ризики між рівноправними юридично незалежними партнерами. Гнучкість організаційної структури дає можливість випереджати конкурентів у розробки, виробництві та реалізації товару. І, головне, все вищезазначене неможливо реалізувати без застосування інформаційних та комунікаційних технологій.

Таблиця 1.1. Взаємозв'язок мети й ознак віртуального підприємства

|                                                         |                                                                                               |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Мета створення віртуального підприємства                | Максимізація прибутку                                                                         |
| Спосіб досягнення                                       | Задоволення запитів споживачів краще, дешевше, швидше                                         |
| Створення партнерства, співпраці                        | Для розподілу ризиків і більшої стійкості підприємства                                        |
| Тимчасовий характер співробітництва                     | Зниження або відсутність витрат на утримання підрозділів, що не задіяні до виконання проєкту. |
| Гнучка структура                                        | Для швидкого реагування на зміну ринкової кон'юнктури.                                        |
| Використання інформаційно-телекомунікаційних технологій | Для створення і підтримки контактів між партнерами                                            |

Таким чином, за підсумками проведеного аналізу можна зробити висновок, що віртуальне підприємство – це тимчасове партнерство юридично незалежних друг від друга економічних агентів, утворене з метою максимізації прибутку кожного з партнерів, та передбачає обов'язкове залучення інформаційних технологій у виробничий процес.

### 1.5. Технологічні засоби для побудови віртуальних підприємств

При створенні віртуального підприємства завжди виникає питання реалізації інфраструктури інформаційної системи та відповідних технологій. В [] приведені на основі аналізу існуючих віртуальних підприємств найбільш поширені складові технології та парадигми (рис. 1.3). При цьому необхідно інтегрувати парадигми і технологій, які розвиваються в різних дисциплінах. Для забезпечення якісної платформи для створення та підтримки віртуального підприємства, процес синтезу повинен об'єднувати такі технологічні заходи:

1. Сумісність і інтеграцію стандартів, таких як, наприклад, STEP (технічні дані продукції), EDI (для електронного обміну в межах бізнес-угод), TCP/IP тощо;
2. Створення систем управління потоком робіт (workflow) для моделювання й управління спільними видами робіт, включаючи різних агентів (представників підприємств) у мережі;
3. Підтримку безпеки і механізмів ідентифікації – криптографії, цифрового підпису, визначення прав доступу тощо;
4. Включення в середовище для створення віртуального підприємства мультиагентних систем для підтримки автономного прийняття рішень;
5. Проектування бізнес-процесів, які повинні бути реалізовані у віртуальному підприємстві.

Зрозуміло, що склад потрібних технологій залежить від складності та змісту бізнес-процесів, які притаманні віртуальному підприємстві. В даній роботі будемо розглядати лише ті, які мають вплив на обрання технологій управління підприємством.

*Бізнес-процес* – це сукупність однієї або більшої кількості пов'язаних між собою процедур чи операцій (функцій), які дають змогу спільно реалізувати деяку бізнес-задачу або політичну мету підприємства, як правило, в межах його організаційної структури, що описує функціональні ролі і відносини.

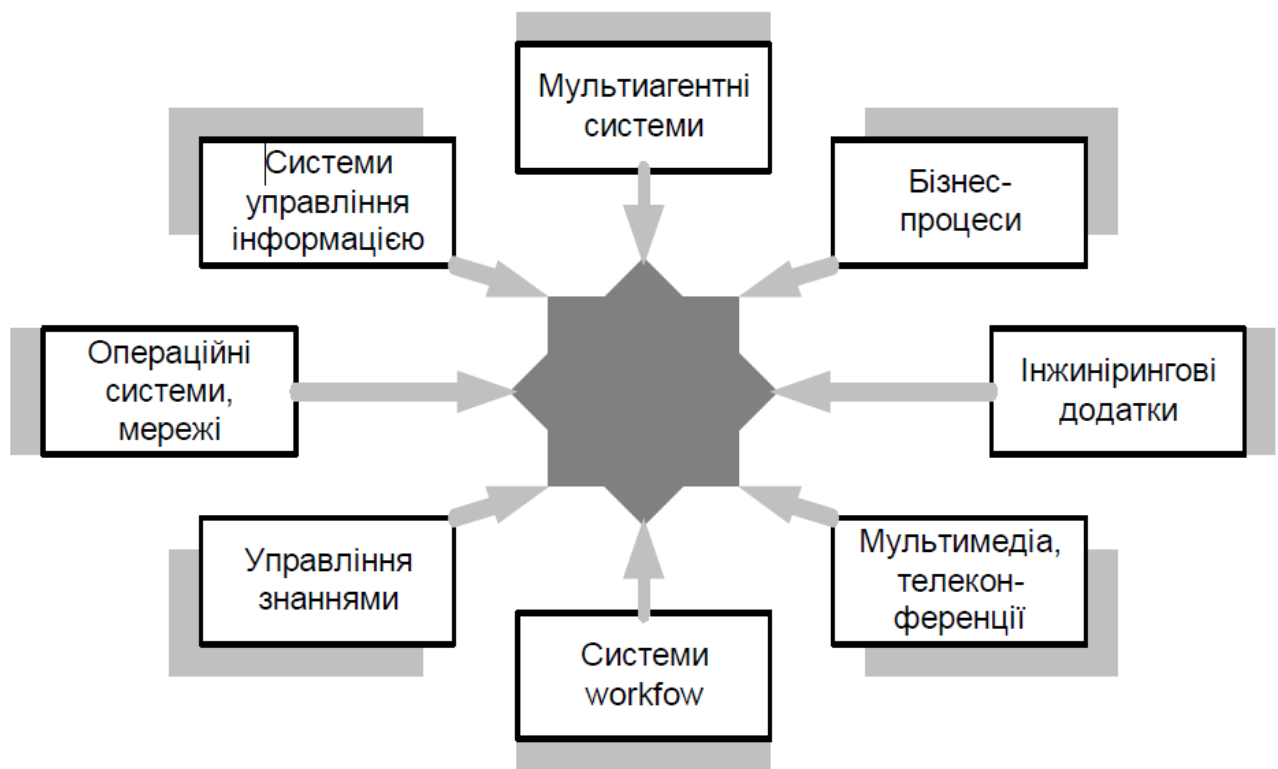


Рисунок 1.3. Складові технології, які сприяють створенню віртуального підприємства

Бізнес-процес зазвичай пов'язаний з операційними задачами і бізнес-відносинами, наприклад, з процесом розробленням нового виробу. Він може здійснюватися в одному організаційному підрозділі, охоплювати декілька підрозділів у межах підприємства або охоплювати також відносини з клієнтами. В існуючих підприємствах часто бізнес-процес підлаштовують під організаційну структуру підприємства, тому що зворотні дії може мати доволі великі ускладнення. Однак для віртуального підприємства є можливість побудувати організаційні відносини в залежності від сутності бізнес-процесу. І тут важливо розрізняти основні і допоміжні процеси. Основні процеси – це ті, що додають якість (наприклад, виробництво, постачання, збут). Вони виконуються декількома економічними агентами в межах підприємства. Допоміжні процеси формують інфраструктуру організації - фінанси, інформатизація, управління персоналом.

## Управління знаннями

При функціонуванні будь-якого підприємства можна виділити принаймні три складові:

- виробнича;
- облікова;
- інтелектуальна.

Якщо розглядати бізнес-процеси підприємства взагалі, тобто такі, в яких беруть участь різні підрозділи, тоді можна передбачати присутність всіх складових. З іншого боку, бізнес-процеси, які здійснюються на низькому рівні в межах одного підрозділу, тоді переважно іде мова про одну складову. Наприклад, на підприємства з виготовлення меблі виробнича складова містить бізнес-процеси, пов'язані з закупкою матеріалів, обробки замовлень, виготовлення деталей та зборка виробів тощо. Облікова складова містить процеси, пов'язані з управління запасами, фінансами, бухгалтерським обліком, отримання звітів та ведення статистики за кожним видом діяльності.

*Інтелектуальна складова* передбачає аналітичну роботу з дослідження ринку відповідної продукції, ознайомлення з тенденціями розвитку меблевої галузі, засвоювання нових технологій проєктування меблі та впровадження новітніх технологій виробництва тощо.

На кожную складову підприємство приблизно несе витрати у наступної пропорції [1]:

- Виробнича – 70%
- Облікова – 20 %
- Інтелектуальна – 10%

Якщо розглядати ці складові з точки зору автоматизації процесів для підвищення ефективності, впровадження інформаційних технологій, тоді доля витрат дещо змінюється. Найбільш відомі засоби автоматизації процесів облікових функцій у зв'язку з тим, що ці засоби, наприклад ERP (Enterprise Resource Planning) системи, автоматизований бухгалтерський облік, дають змогу оперативно прийняти управлінські рішення. Як наслідок, витрати на процеси

облікової складової знижуються за рахунок автоматизації процесів десь до 10 %. Навпаки, витрати на інтелектуальну діяльність підвищуються і складають біля 20%.

Для підтримки інтелектуальної діяльності використовуються **технології управління знаннями** (KM – knowledge management), які являють собою сукупність інструментальних засобів, призначених для зберігання і добування знань:

- інструменти управління документами для зберігання і пошуку документів;
- сховища даних і засоби “видобутку даних” для зберігання й аналізу даних, які надходять від додатків обліку;
- інтелектуальні інструменти пошуку і витягання документів, що являють інтерес як для користувача, так і для цільових систем, що надають різні функції.
- засоби повнотекстової індексації та пошуку, що становлять основу пошукових машин, які є сьогодні в Інтернеті і призначені для пошуку документів за їх змістом;
- тезаурус, що забезпечує можливість інтелектуального пошуку за повнотекстовими індексами шляхом збереження ієрархій, відносин і подібностей термінів;
- семантичні мережі для зберігання смислового вмісту документів у вигляді мережі дій над об’єктами, що забезпечують потужний пошук документів на основі зв’язання з мережними зразками (наприклад, усі документи про перетворення матеріалів в умовах високої температури);
- лінгвістичні інструменти для підтримки запитів природними мовами;

Ці інструменти використовуються для аналізу ринку й оцінки можливостей у різних сферах, для прийняття оптимальних рішень, орієнтації опису продукту, організації виробництва, підвищення ефективності діяльності з реалізації виробів.



За визначенням віртуальне підприємство орієнтовано на використання інформаційних технологій, при тому, перевагу повинні завжди мати ті агенти, у яких рівень автоматизації бізнес-процесів вище. Таким чином забезпечується якість виробів та зменшення строків виробництва.

На виробничі функції підприємство витрачає набагато більше, ніж на облікові та інтелектуальні. У зв'язку з цим впровадження інформаційних технологій у виробництво, підвищення рівня автоматизації є дуже перспективним напрямом розвитку. Відомі приклади групового виробництва [16], основані на автоматизації всіх послідовних технологічних операцій, пов'язаних автоматизованої транспортної системою [17, 18]. На цих засадах виникли перспективи кардинального підвищення продуктивності завдяки системам workflow спільно з використанням систем управління документообігом. За допомогою технології і програмних засобів workflow здійснюється трансформація функціонально орієнтованого підприємства у бік процесної організації [20]. Інструменти workflow дають змогу підприємствам безпосередньо перетворювати представлення процесів у додаток автоматизації, раціоналізації і моніторингу процесів, що перетинають кордони підрозділів.

Workflow – це автоматизація (повна або часткова) бізнес-процесу, за якої документи, інформація або завдання передаються для виконання необхідних дій від одного учасника до іншого відповідно до набору процедурних правил [20].

Таким чином, система управління workflow – це система, яка описує, створює й управляє потоком робіт (бізнес-процесом) за допомогою програмного забезпечення, що працює на одній або декількох машинах-workflow, які можуть інтерпретувати опис процесу, взаємодіяти з учасниками потоку робіт і за необхідності викликати відповідні програмні додатки та інструментальні засоби. Отже, система workflow автоматизує **процес**, а не функцію. Практично всі відомі рішення давали змогу досить ефективно автоматизувати окремі операції і функції, а не процес (наприклад, отримання замовлення на виготовлення меблі від клієнту – окрема автоматизована операція, яка у подальшому впливає на наступні операції тільки за допомогою менеджера). У межах цих рішень

співробітники, сидячи за своїми комп'ютерами (або терміналами), обмінюються інформацією з базами даних і між собою, одержують цифри, довідки, документи, формують звіти. При цьому послідовність дій співробітників і правила їх взаємодії визначені щонайбільше інструкціями, за правильністю їх виконання стежить вище керівництво, але інформаційною системою це ніяк не підтримується. Процесний підхід примусив менеджмент підприємств сконцентрувати свою увагу саме на правилах і взаємодіях учасників процесу. Необхідність у межах автоматизації окремих функцій мати засоби для автоматичного відстеження послідовності і часу їх виконання, маршрутів документів, зайнятості співробітників на різних стадіях процесу тощо викликали ідею створення систем класу workflow.

В системі workflow бізнес-процес схематично можна зобразити у вигляді послідовності операцій або функцій, що виконується окремими співробітниками з використанням тієї або іншої інформації (документів, даних з баз даних, повідомлень електронної пошти та ін.) і, відповідно до деяких правил, які диктують порядок виконання роботи, визначають маршрути руху документів, терміни виконання окремих функцій.

Система workflow зобов'язана підтримувати всі компоненти процесу та їх різні взаємозв'язки, такі, як інформаційні, часові, маршрутні тощо. Її функціональна наповненість відображає структуру процесу, його елементи і велику частину понять та визначень workflow, що ґрунтуються на поняттях процесу. У додатках workflow використовується декілька рівнів різних категорій діяльності з організації управління інформацією: процеси, функції, примірники процесів і функцій, робочі завдання, учасники, додатки та інформація різних типів і видів з погляду джерел і носіїв (рис. 11), а для формулювання правил застосовуються терміни: роль, маршрутизація і робоча черга.

Системи workflow можуть забезпечувати автоматизацію і підтримку повного виробничого процесу шляхом збирання й управління всіма його раніше описаними компонентами, незалежно від кількості підрозділів, що беруть участь у ньому. При цьому система може:

автоматично генерувати попередження в разі сповільнення процесу і точно вказувати місце, де він застопорився або сповільнився;

точно відображати стан процесу, даючи змогу довідниковому центру надавати клієнтам інформацію про стан процесу, що їх обслуговує;

представляти статистику не тільки за кожною функцією, що бере участь у процесі, але і за об'єднаною сукупністю результатів, які відображають ефективність підприємства з погляду клієнтів;

надавати результати вартісного аналізу за типами процесів і робити конкретний внесок у безперервне вдосконалення процесів.

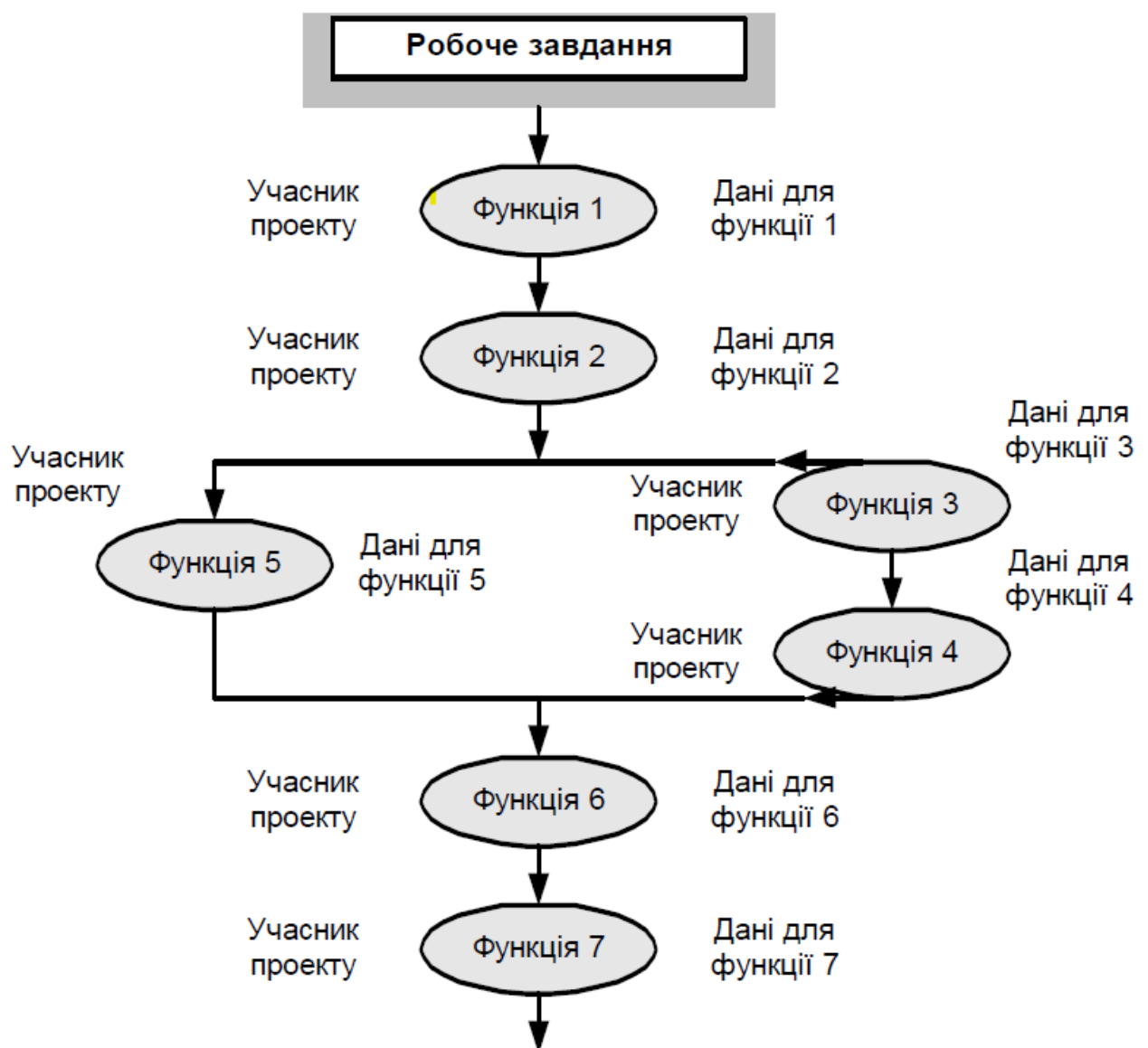


Рисунок 1.4. Опис бізнес-процесу в системі workflow

**Багатоагентні системи** останнім часом активно розвиваються як напрямок сучасних інформаційних технологій для автоматизації задач, пов'язаних з пошуком інформації за критеріями, прийняття рішень в залежності від параметрів навколишнього середовища, конкретними потребами кінцевого користувача [20]. Найбільш цікавим є реалізація у вигляді програмних агентів – це модулі, здатні автономно виконувати поставлені їм задачі. Від звичайних комп'ютерних програм вони відрізняються мірою зворотного зв'язку із зовнішнім світом для відповідної перебудови своєї роботи. На конференції IEEE багато авторів [21] визначають програмний агент як “систему, яка є складовою середовища, сприймає це середовище і діє на нього за своїм власним планом, щоб вплинути на те, що воно сприйматиме в майбутньому”.

До основних характеристик програмних агентів належать [22]:

1) **Функції**: агент виконує низку задач за дорученням користувача (чи іншого агента).

2) **Можливості обміну інформацією**: агент повинен мати можливість обмінюватися інформацією з користувачем (а інколи з іншими агентами) для того, щоб отримувати від нього інструкції, повідомляти його про процес та завершення виконання задачі і надати одержані результати.

3) **Автономність**: агент працює без прямого втручання користувача (наприклад, як фоновий процес в ті години, коли на комп'ютері виконуються інші задачі). Виконувані агентом задачі можуть бути різними – від щонічного резервного копіювання даних до пошуку (за дорученням користувача) продавця, який пропонує цей продукт за низькою ціною.

4) **Моніторинг**: щоб мати можливість виконувати свої задачі в автономному режимі, агент повинен бути здатним контролювати середовище, в якому він діє.

5) **Активізація**: щоб мати можливість працювати в автономному режимі, агент повинен бути здатним впливати на своє робоче середовище за допомогою механізму активізації.

6) **“Розумність”**: агент має бути здатним інтерпретувати контрольовані ним події для прийняття відповідних рішень.

Крім перелічених характеристик, деякі агенти можуть мати ще й такі характеристики:

1) **Безперервність роботи**: більшість з агентів повинні бути безперервно діючими агентами;

2) **“Індивідуальність”**: деякі агенти можуть мати добре виражений “характер” та “емоційний стан”;

3) **Адаптивність**: деякі агенти, базуючись на накопиченому досвіді, автоматично пристосовуються до змін середовища;

4) **Мобільність**: деякі агенти повинні допускати можливість їх перенесення на інші комп’ютери, зокрема на системи іншої архітектури та на платформи.

Програмні агенти можна поділити на три групи – для настільних систем, для Інтранет-мереж і для Інтернет. Сьогодні користувачі комп’ютерів найкраще знайомі з агентами для настільних систем. Найпростішими прикладами таких агентів є “майстри” (Wizards), які автоматично налаштовують додатки для персональних комп’ютерів згідно з побажаннями користувача, і “офісні помічники” (Office Assistants), які вносять пропозиції щодо підвищення продуктивності на основі спостережень за тим, як використовуються ті або інші програмні блоки. У межах корпоративних мереж програмні агенти можна використати, наприклад, для автоматизації процесів управління потоками даних, пошуку в базах даних і організації взаємодії між різними компонентами системи. Проте найбільші можливості відкриваються тоді, коли агент виходить в мережу і починає взаємодіяти з іншими комп’ютерними системами. Так, його можна запрограмувати на пошук інформації за заданими критеріями, а поки він шукатиме, на комп’ютері можуть виконуватися інші задачі.

Завдяки вище перелічених характеристик програмні агенти з успіхом можуть бути використані для побудови та участі в управлінні віртуальними підприємствами.

## 1.6.Висновки

Вище розглянуті питання визначення, побудови та технологій управління віртуальними підприємствами. Аналіз показав, що віртуальне підприємство переважно організовується для тимчасової діяльності з метою виконання одного або декількох проєктів з долученням виконавців-агентів, які зберігають власну економічну незалежність та вкладають в роботу тільки необхідні ресурси. Протягом виконання зазначеного бізнес-процесу агенти виконують роботи відповідно своєї компетенції з подальшою передачею результатів іншим агентам. Таким чином, виконання бізнес-процесу відповідає концепціям систем workflow. Взаємодія між агентами здійснюється як безпосередньо між ними, так і з агентом-координатором, що відповідає концепції багатоагентних систем.

Найбільш складними задачами управління віртуальним підприємством є оптимальний підбір виконавців та координація виконання робіт між ними. У випадку виконання замовлень з виготовлення меблів склад та послідовність операцій бізнес-процесу в цілому відомий. Тем не менш, потрібні рішення для підбору агентів на кожен етап з метою зниження вартості, скорочення строків виготовлення та забезпечення необхідної якості. Наступний розділ присвячений дослідженням цих питань.

## 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ БАГАТОАГЕНТНИХ СИСТЕМ

### 2.1. Загальні відомості про багатоагентні системи

Багатоагентні системи представляються як одна з категорії штучного інтелекту [23] завдяки спроможності паралельного розподіленого вирішення задач. Багатоагентна система (БАС) складається з автономних сутностей, відомих як агенти, які працюють разом для вирішення завдання. У відмінну від розподілених систем, у яких обчислювальні сутності дотримуються визначеному алгоритму, агенти пропонують більшу гнучкість завдяки своїй притаманній здатності вчитися та приймати самостійні рішення.

Агенти використовують взаємодію з іншими агентами або з навколишнім середовищем з метою вивчення і отримання нових можливостей. Згодом агенти використовують свої знання для прийняття рішень і впливу на навколишнє середовище для вирішення поставленого їм завдання. Така гнучкість робить БАС придатним для вирішення проблем в різних галузях, включаючи інформатику, цивільне машинобудування, електротехніка тощо. На основі цього виникають нові задачі розвитку БАС, а саме координація між агентами [24], навчання та безпека [25].

Використання багатоагентних систем для вирішення завдань віртуального підприємства з виготовлення меблі потребує ознайомлення та дослідження сучасного досвіду у застосуванні БАС, вивчення всіх переваг та проблем, які виникають при реалізації системи для конкретного застосування. Тому, у подальшому, розглянемо всі ці питання для розробки концепції інформаційної системи віртуального підприємства, діяльність якої базується на принципах функціонування багатоагентних систем.

Поняття агента та агентних систем на сьогодні не є новим. Існують достатньо багато статей та робіт, які присвячені проблемам використання агентів, характеристик агентів та багатоагентних систем, опис прикладів розробок та успішного застосування багатоагентних систем. Тому, задачею роботи є дослідження всіх аспектів, пов'язаних з агентськими системами,

вивчення досвіду використання багатоагентних систем, виявлення галузей ефективного використання агентів. У якості результату досліджень очікується розробка концепції застосування принципів багатоагентних системи для створення та управління віртуального підприємства з виробництва меблі.

## 2.2.Визначення та властивості агента

У цьому розділі ми визначаємо агентів та їх ключові характеристики.

Вже протягом декількох десятиліть використовуються різні визначення агентів внаслідок різноманітних особливостей застосування. Автори в [26] визначили агента як «гнучкий автономний суб'єкт, здатний сприймати навколишнє середовище за допомогою датчиків». Інше визначення сформульовано в [27], де агент представлений як «інкапсульована обчислювальна система, яка розташоване в певному середовищі, притому воно може бути гнучким, діє автономно в цьому середовищі для досягнення власних цілей". Помітно, що ці визначення (як і інші) відображають роль агентів у контексті конкретної галузі дослідження. Однак більш цікавим є узагальнене визначення, яке характеризує агента незалежно від галузі його застосування. В [28] пропонується визначення з урахуванням фундаментальних здібностей і особливостей агентів:

*Сутність, яке розташоване в деякому середовищі, приймає різні параметри, які використовуються для прийняття рішення для досягнення мети суб'єкта. Суб'єкт здійснює необхідні дії відносно навколишнього середовища на основі цього рішення.*

Наведене вище визначення містить чотири ключові слова, які можуть бути розглянуті детальніше:

### 1)Суб'єкт

Суб'єкт відноситься до типу агента. Агентом може бути програмне забезпечення, наприклад, демон безпеки, або компонентом апаратного забезпечення, наприклад, термостат, або їх комбінація.

### 2)Середовище



Під середовищем розуміється місце, де агент знаходиться і діє. Середовищем може бути мережа (агент моніторингу трафіку), програмне забезпечення (коли агент контролює дії програмних компонентів) тощо. Агент використовує інформацію, отриману від середовища для прийняття рішень. Навколишнє середовище може мати багато функцій, які впливають на складність агентної системи [20]:

*Доступність* - під доступністю мається на увазі наскільки точно агенти можуть сприймати дані з середовища. У доступному середовищі агенти можуть отримувати точні та актуальні дані з навколишнього середовища. Наприклад, агент мережевого брандмауера може захоплювати весь канал трафіку мережі. У важкодоступному середовищі агент може сприймати не всі дані або вони «шумні». Прикладом може бути датчик, дані від якого мають притаманний шум.

*Детермінізм* - це стосується передбачуваності результатів дії. У детермінованій середовищі результати передбачувані, наприклад, в середовищі який можна моделювати за допомогою кінцевого автомата, агент точно знає наступний стан для кожної дії. У недетермінованих середовищах результат дії не цілком передбачуваний, оскільки на це можуть впливати інші фактори

*Динамізм* - це зміни середовища, які не залежать від дій агентів. Середовище, в якому зміни здійснюються лише як наслідок дій агентів вважається статичною. У всіх інших випадках середовище вважається динамічним. Однак потрібно мати на увазі, що прийняття рішення агентами спирається на інформацію з навколишнього середовища. Таким чином, в динамічному середовищі агенти повинні виявити зміну стану середовища та оновлювати інформацію від неї, що вимагає більше накладних витрат порівняно зі статичним середовищем. Можна нагадати, що в статичному середовищі отримана початкова інформація для прийняття рішень не змінюється протягом життя агента.

*Безперервність* - це характеризує процеси, які виконуються в середовищі. Відповідно за цією ознакою середовище поділяють на дві категорії: безперервні та дискретні. Для опису безперервного середовища застосовуються відповідно безперервні функції. В дискретному середовищі агент має можливість здійснювати свої дії відповідно заздалегідь визначених станів.

### *3) Параметри*

Дані, які агент отримує з навколишнього середовища, називаються параметрами. Наприклад, складність замовлення, розміри приміщення для розташування меблі тощо.

### *4) Дії*

Кожен агент може виконати дію, що призводить в деяких змінах навколишнього середовища. Агент може виконувати набір дискретних або безперервних дій. У безперервних середовищах кількість дій може бути необмеженим. Дискретний набір дій, навпаки, має кінцеве значення.

Мета кожного агента - вирішити виділену йому задачу із визначеними обмеженнями, наприклад, у заданий термін. Для досягнення мети агент спочатку отримує параметри з середовища. Маючи ці дані, агент може накопичувати знання про навколишнє середовище або використовувати знання своїх сусідів. Ці знання разом з історією попередніх дій, відповідно встановлених правил поведінки, подаються в механізм висновку, який приймає рішення про відповідні дії, які має вжити агент. На рисунку 2.1 зображено вищезгадані кроки.

Таким чином, для широкого застосування та розв'язання складних задач агенти мають відповідати наступним функціям [29], [30]:

*Комунікабельність* - агенти спроможні отримати знання від інших агентів та можуть поділитися своїми знаннями для підвищення продуктивності у досягненні своїх цілей;

*Автономність* - кожен агент може самостійно виконувати процес прийняття рішень і вжити відповідні заходи;

*Активність* - кожен агент використовує свою історію, визначені параметри та знання інших агентів для побудови майбутніх дій, що сприяє ефективності діяльності для досягнення власних цілей. Ця здатність означає, що один і той же агент може здійснювати різні дії при розташуванні в різних середовищах. Таким чином, можна вважати, що реальна вигода від агентів може бути тоді, коли вони використовуються у співпраці з іншими агентами. Декілька агентів, які співпрацюють для вирішення складної задачі, відомі як багатоагентні системи.

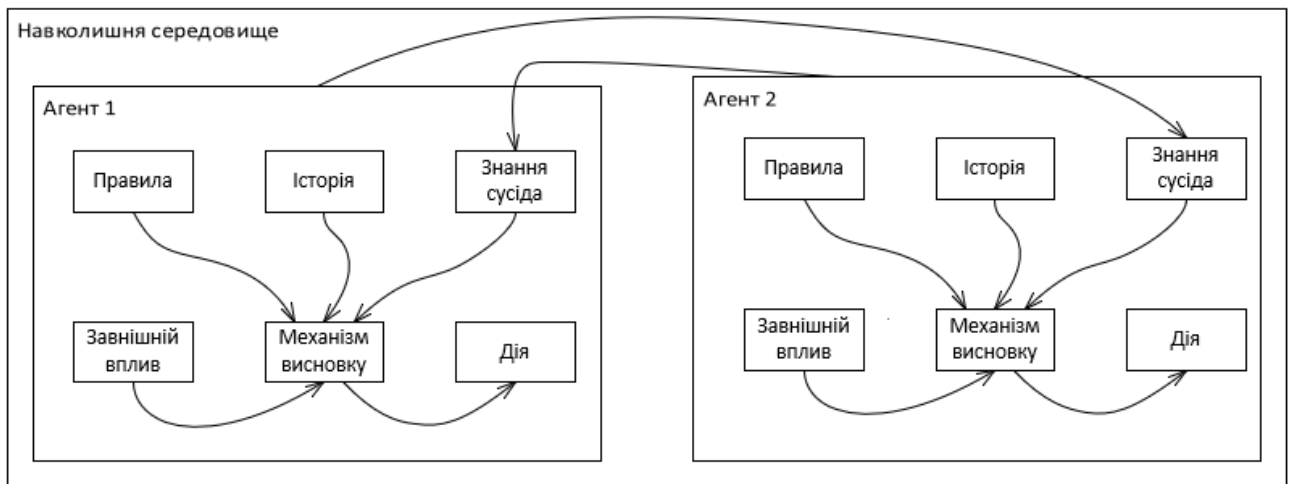


Рисунок 2.1. Структура агента

## 2.3. Визначення багатоагентних систем

### 2.3.1. Загальні характеристики багатоагентних систем

Багатоагентним системам притаманні такі характеристики як ефективність, низька вартість, гнучкість та надійність, тому вони спроможні вирішувати складні завдання. Їх ефективність залежить від поділу бізнес-процесу на частини, завдяки чому складне завдання поділяється на кілька менших завдань, кожне з яких призначено для окремого агента. З ефективністю пов'язано те, що накладні витрати також розподіляються між агентами, що часто призводить до недорогого рішення у порівнянні з підходом, де вся комплексна проблема має вирішуватися одним потужним підприємством. Кожен агент може розв'язувати призначене завдання з будь-яким рівнем попередньо визначеним рівнем компетенції, що забезпечує високу гнучкість [31]. Розгалужений спосіб

вирішення проблем також надає високу надійність. У разі відмови будь-якого агента завдання може бути доручено для виконання іншим агентам.

У багатоагентних системах агенти отримують інформацію від своїх сусідів для прийняття рішення щодо виконання власного завдання. Безпосереднє спілкування агентів між собою забезпечує мінімум комунікаційних витрат, відповідно, забезпечує масштабованість. Однак, з іншого боку, для забезпечення гнучкості у разі потреби пошуку іншого агента, найбільш зручним є застосування агентів-посередників, яким надані широкі можливості і знання. Таки агенти мають знання про перелік необхідних робіт у рамках бізнес-процесу і можуть пропонувати «роботу» іншим агентам відповідно їх компетенції. Будь-який агент, який готовий виконати завдання, зв'язується з посередником і той передає запит іншим агентам. В залежності від реалізації агентів-посередників можна поділити наступним чином:

*Фасилітатор* (помощник) (рис. 2.2): Агент-фасилітатор допомагає надіслати запитання іншим агентам, які відповідають цим запитам. В той же час, він допомагає також з відповіддю, тому фасилітатор стає «вузькою» ланкою у спілкуванні. Існують рішення з декількома фасилітаторами для балансування навантаження, однак тоді повинна бути функція синхронізації між ними для запобігання дублювання рішень.

*Посередник*: Реалізація полягає в тому, що агент посередник задіяний тільки на першому етапі для пошуку агентів відповідно запиту. Потім спілкування продовжується безпосередньо між агентом-запитувачем і агентом-відповідачем (рис. 2.2б) У порівнянні з фасилітатором навантаження на посередник значно менше, однак необхідно передбачати деякий контроль за діями долучених агентів.

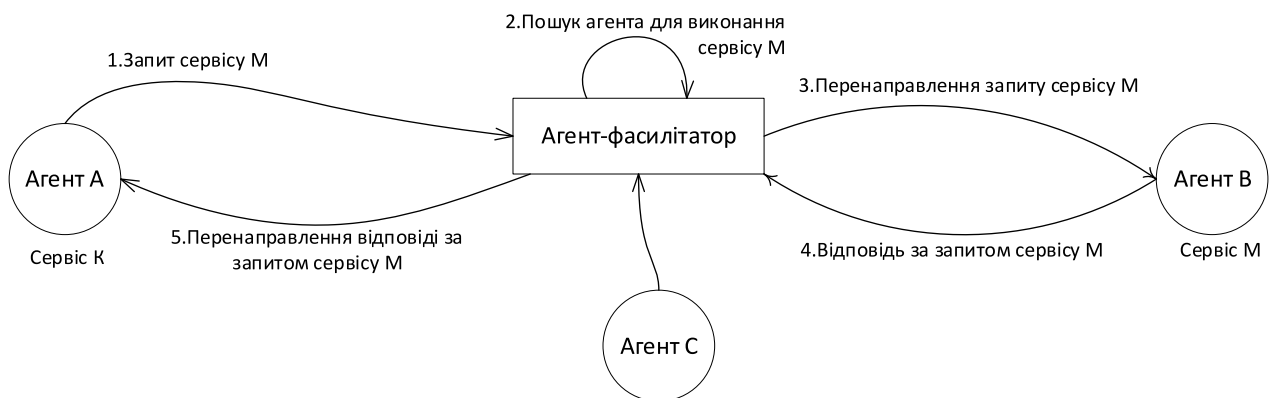
### 2.3.2. Особливості багатоагентних систем

Розглянемо особливості багатоагентних систем.

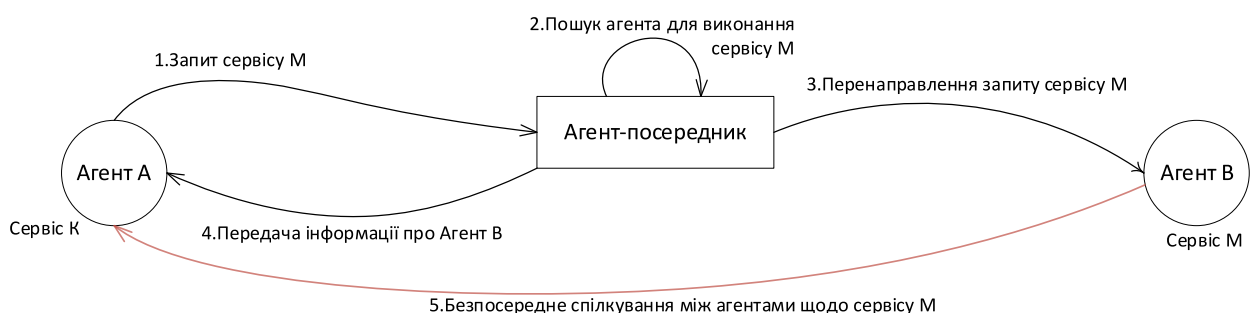
## Лідерство

Лідер – агент, який визначає цілі та завдання для інших агентів на основі головній мети. Наявність або відсутність такого агента впливає на функціонування всієї системи.

У БАС без лідера кожен агент самостійно приймає рішення на свої дії, засновані на власних цілях. Рішення кожного на агента впливає на рішення інших агентів, якщо агенти співпрацюють для досягнення консенсусу щодо конкретного рішення. На противагу цьому лідер-агент визначає дії для інших агентів. Лідер може бути визначеним заздалегідь або він визначається у результаті спілкування та обміну знаннями всіх агентів [32]. БАС може мати групу агентів, які виконують роль лідерів, у випадку суттєвого навантаження. Коли є кілька лідерів, вони спільно керують іншими агентами, спілкуючись один з одним для прийняття однозначного рішення.



а)



б)

Рисунок 2.2. Способи передачі інформації між агентами

### *Функція прийняття рішення*

Будь-який агент приймає рішення в залежності від отриманих параметрів від навколишнього середовища, тобто агент виконує деяку функцію, значення якої залежить від вихідних даних. БАС можуть відрізнятися за основою пропорційності змін функції прийняття рішень від даних, які приймаються на вхід. Відповідно до цього БАС поділяються на *лінійні* та *нелінійні*.

У лінійному БАС, рішення агента пропорційне отриманим параметрам із середовища, тобто, на кожну зміну параметрів слідує однозначне рішення від агента. Такі системи зручні для математичного опису та аналізу їх стану. В нелінійній БАС рішення агента не пропорційне отриманим параметрам. Через нелінійність вхідних даних процес прийняття рішень може бути неоднозначним, тому для опису стану системи застосовуються або евристичні, або ймовірні методи [33].

### *Неоднорідність*

На основі гетерогенності агентів БАС можна розділити на дві категорії, а саме: однорідні і неоднорідні. Однорідні БАС включають агенти, які мають однакові характеристики та функціональні можливості, тоді як гетерогенні БАС включають агенти з різноманітними особливостями.

### *Затримка*

Під час виконання завдання агенти можуть зіткнутися з різними джерелами затримки. Наприклад, затримка в засобах комунікації, які агенти використовують для обміну даними або затримка планування ресурсів для кожного агента. Залежно від того наскільки значна затримка, БАС можна поділити на дві групи, а саме без затримки або із затримкою. Системи з першої групи простіше реалізувати, однак потрібно розуміти, що така реалізація можлива переважно для немобільних агентів. Якщо узагальнити підхід до реалізації БАС, то затримку потрібно врахувати при прийнятті рішень, наприклад, при виборі агентів для виконання завдань проекту.

### *Топологія*

Під топологією розуміється розташування і відносини агентів в системі. Якщо розташування та відносини з іншими агентами є незмінними протягом існування агента, така топологія системи вважається статичною. У динамічній топології БАС позиція і відносини агента змінюються в міру того, як агент рухається, залишає або вступає в БАС, або встановлює нові відносини з іншими агентами.

### *Частота передачі даних*

При виконанні завдання агенти отримують дані від навколишнього середовища та обмінюються даними з іншими агентами. Періодичність цього може бути встановлено або за визначеним інтервалом часу, або за подією. У першому випадку агент постійно будь-коли може прийняти дані, однак лише через визначений інтервал часу надсилає всі нещодавно зібрані дані іншим агентам. У БАС, ініційованих подіями, агент отримає дані від навколишнього середовища тоді, коли відбувається певна подія, а потім надсилає зібрані дані іншим агентам.

### *Мобільність*

В залежності від власної динамічності агенти можуть бути класифіковані як статичні або мобільні агенти. Статичний агент завжди знаходиться в такому ж положенні в середовищі, мобільні агенти здатні пересуватися в навколишньому середовищі. Мобільний агент використовує ресурси інших агентів, відстежує їх або реагує на навколишнє середовище для виконання дій.

#### 2.3.3. Відмінність багатоагентних систем від експертних систем

Автори в [20], [34] порівнювали БАС з експертними системи та об'єктно-орієнтованої мовою програмування - дві концепції, які також передбачають прийняття рішень та обмін знаннями. Експертна система також реагує на повідомлення навколишнього середовища, засвоює знання, потім приймає рішення для виконання завдання.

На відміну від БАС, де кожен агент може спілкуватися з будь-яким іншим агентом, експертна система може спілкуватися та обмінюватися даними з попередньо визначеними сутностями. Хоча і БАС, і експертні системи використовують функцію прийняття рішень, вхідні дані відрізняються, що впливає на остаточне рішення. В експертній системі рішення ґрунтуються на отриманих даних із навколишнього середовища і бази знань експертної системи. Відповідно до рішення експертна система радить користувачу виконати дію. Користувач може відхилити рішення експертної системи і використовувати інші рішення. У БАС агент безпосередньо діє на навколишнє середовище після прийняття рішення.

В об'єктно-орієнтованому програмуванні деякий об'єкт може спілкуватися з попередньо визначеним обмеженим набором об'єктів шляхом створення функції `public`. Інші об'єкти викликають функцію для зв'язку з об'єктом. Коли об'єкт дозволяє іншим об'єктам отримати доступ до одної із своїх функцій, він не може контролювати частоту, з якою виконується доступ. Однак у БАС агент може спілкуватися з будь-яким агентом системи і може контролювати частоту з якою інші агенти запитують його ресурси. Об'єкти обмежені попередньо визначеними вхідними даними, які можна передати від основного об'єкта, в той час як агенти використовують кілька вхідних даних.

Результати порівняння багатоагентних систем, експертних систем та об'єктно-орієнтованого програмування наведено в таблиці 2.1.

## 2.4. Застосування багатоагентних систем

### 2.4.1. Вступ

Багатоагентні системи використовуються у багатьох галузях, однак розглянемо найбільш типові приклади, такі як: комп'ютерні мережі, моделювання, інтелектуальні мережі.



Таблиця 2.1 Порівняння концепцій систем

|                                           | <b>Показники, які використовуються для прийняття рішення</b> | <b>Спосіб впливу на навколишнє середовище</b>                               | <b>З ким можна спілкуватись</b>        | <b>Автономність</b>                                                                         |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Багатоагентні системи</b>              | Знання, вхідні дані, мета                                    | Кожен агент може діяти відповідно до рішення                                | Будь-який агент в мережі               | Автономний у моніторингу, прийняття рішення та дій у відношенні до Навколишнього середовища |
| <b>Експертні системи</b>                  | Знання, вхідні дані                                          | Користувач інформується про прийняте рішення та відповідні дії              | Попередньо визначений список сутностей | Автономний у моніторингу навколишнього середовища та прийнятті рішень                       |
| <b>Об'єктно-орієнтоване програмування</b> | Вхідні дані                                                  | Об'єкт може виконувати дію з обмеженого діапазону попередньо визначених дій | Попередньо визначений список об'єктів  | Об'єкт має попередньо визначений список дій та введених даних                               |

#### 2.4.2. Комп'ютерні мережі

Через появу нових технологій і поширення пристроїв, підключених до Інтернету, значно зростає складність комп'ютерних мереж. Агенти широко звикли подолати цю складність. Завдяки широкому різноманіттю комп'ютерних мереж розглянемо застосування БАС за типами мереж.

##### 1) Хмарні обчислення

Хмарні обчислення надають повсюдний доступ до системних ресурсів (процесор, графічний процесор, пам'ять) і обчислювальних послуг (сервери, бази даних, мережі, та програмне забезпечення) часто через Інтернет. При

використанні хмарних обчислень у якості базової технології надання послуг користувачеві застосовується віртуалізація . Використовуючи віртуалізацію, фізична машина ділитися між кількома клієнтами як декілька віртуальних машин (VM), кожна з яких емулює окрему машину.

Хмарні обчислення мають ряд переваг порівняно з традиційним підходом, при якому кожен користувач зберігає потрібні ресурси для себе.

Зниження витрат - користувачі хмари орендують потрібні їм ресурси, якими керує хмарний провайдер. Це позбавляє від необхідності купувати і зберігати ресурси і, таким чином, зменшує вартість для користувача.

Надійність - наявність множинних реплікацій для кожного ресурсу робить хмарні обчислення стійкими до виходу ресурсу з ладу і, тим самим, підвищує його надійність.

Однак існують деякі ключові проблеми, які ускладнюють застосування хмарних обчислень. До них відносяться: управління хмарними ресурсами, комунікації та облік використання ресурсів та/або послуг кожним користувачем [35], [36]. У [37] для виконання пропонується фреймворк на основі агента Bag-of-Tasks (BoT). Група брокерських агентів збирає інформацію про доступні ресурси та постачальників хмар для кожного конкретного завдання в BoT. Таким чином, ця група по суті є агентами-посередниками, які розглядалися вище. Брокерські агенти спроможні підібрати для кожного клієнта постачальника хмарних ресурсів. Потім замовник і постачальник хмари домовляються досягти згоди щодо ресурсів, які будуть запропоновані клієнта, та ціну, яку слід заплатити постачальнику хмари. Розподіл, звільнення та час виконання для завдання вивчається за допомогою моделювання, а також вартість з точки зору кінцевих користувачів. Результати моделювання показують, що агентська система має більший успіх у розподілі завдань порівняно до методу розподілу хмарних ресурсів Amazon EC2.

При розподілі завдань важливо враховувати навантаження для кожного ресурсу, оскільки перевантаження призводить до значної затримки отримання послуг. Автори в [38] запропонували агентну базу для балансування

навантаження у віртуальних машинах. Хмарний постачальник визначає політику для контролю навантаження віртуальні машини. Запропонований метод має переваги від трьох агентів а саме: агент навантаження, агент міграції та агент каналу.

Агент завантаження забезпечує відповідність навантаження на віртуальні машини визначену політику шляхом моніторингу їх навантаження. Для моніторингу навантаження на віртуальні машини, агент завантаження запитує агента каналу ініціювати агента мігрантів. Агенти мігрантів — це мобільні агенти , які переміщуються в мережі та збирають інформація про ресурси та віртуальні машини. Ця інформація повідомляється агенту каналу, який контролює політику передачі та політику відбору. Потім агент каналу пересилає файл з отриманої інформації до агента навантаження. На основі отриманої інформації агент навантаження балансує навантаження між віртуальними машинами шляхом розподілу вхідних завдань на віртуальні машини з меншим навантаженням.

## *2) Соціальні мережі*

Популярність соціальних мереж зросла в геометричній прогресії із зростанням кількості користувачів Інтернету. Соціальна мережа складається з користувачів, груп і служб, названих акторами.

Складність соціальних мереж є похідною від динамічності мережі - велика кількість учасників, які приєднуються або виходять з мережі, встановлення нових з'єднань з іншими учасників, широкий спектр застосувань і послуг. Багатоагентні системи можуть стати потенційним рішенням для подолання складності соціальних мереж.

У роботі [39] автори запропонували агентний метод прогнозувати поведінку користувачів, наприклад, лайки, публікації та підписки в соцмережі. Автори запропонували використовувати множинних агентів - акторів, які розподілені в соціальній мережі для збору набору даних про поведінку користувачів. Потім агенти виконують класифікацію тем і даних кожного конкретного користувача, які потім використовуються для побудови профілю

користувача. Нарешті, профіль користувача подається у систему, яка прогнозує майбутню поведінку користувача, в т.ч. вподобання, теми, відповіді, публікації та поширення. Соціальна мережа не обов'язково повинна мати web-основу. Будь-яке місце, де збираються разом люди зі схожими інтересами для взаємодії та обміну інформацією з певної причини можна розглядати як соціальну мережу. Автори в [40] розглядали школу як соціальну мережу і застосовували БАС щоби допомогти керівникам шкіл знайти зв'язок між розподілом коштів на різні шкільні програми (спорт, академічні та культурні заходи) та успішність у школі. Учні, вчителі та шкільні відділи представлені як агенти, які спільно утворюють соціальну мережу, тобто школа. Взаємодія кожного учня з іншими учнями або вчителями, політику розподілу коштів за минулі роки, та успішність учня в поточному та минулому роках організовані в ієрархічній структурі. Потім ця структура подається у функцію навчання, яка оцінює зв'язок між політикою розподілу коштів та успішність учнів.

### *3) Безпека*

Автономна система виявлення вторгнень на основі агентів (IDS) запропоновано в [41]. Запропонована IDS складається з п'ять агентів, а саме колектив, визначник, прийняття рішення, відповідь, та спільні агенти. Колективний агент збирає із застосуванням протоколу управління мережею (SNMP) і таблиці маршрутизації вміст із мережі та надсилає ці дані агенту-визначнику. Останній використовує механізм виявлення неправомірного використання та аномалій для виявлення незвичайних пакетів або комунікацій. Результати роботи механізму виявлення подається агенту прийняття рішень, який приймає рішення, якщо в мережі відбулася зловмисна діяльність і він вирішує, як пом'якшити ці наслідки. Прийнята дія потім передається спільному агенту, який є мобільним агентом, який передає рішення агенту реагування. Агент реагування здійснює відповідні дії в мережі.

В літературі переважно відмічається, що IDS на основі агентів є основним застосуванням БАС в мережі безпеки. Однак БАС також застосовується для інших програм безпеки. Автори в [42] запропонували метод безпеки на основі

агента для захисту користувачів від атак з використанням вкладок . У цій атаці зломисник відкриває випадковим чином веб-сайти на неактивних вкладках веб-браузера цільового користувача. Два агенти відстежують відкриті вкладки та збирають елементи з 5 кортежів, як текст, зображення, URL-адреса, заголовок і аватарка веб-сторінки. Потім агенти порівнюють сигнатури дій запуску на відкритих вкладках з наявними сигнатурами атак для виявлення атаки з використанням вкладок. Проводиться моделювання за допомогою симулятора JADE. Симуляція результатів демонструють, що при використанні агентів, хибнопозитивні і хибнонегативні показники зменшуються порівняно з неагентськими методами, точність виявлення атаки досягає 91%.

Ймовірно, що в майбутньому БАС також може використовуватися як рішення для складних завдань безпеки, таких як довіра та ключ управління. До того ж за рахунок масштабування і спеціальних функції, розглянуті вище, можна використовувати БАС для подолання проблеми безпеки Інтернету речей (IoT).

#### *4) Маршрутизація*

Маршрутизація використовується для пошуку оптимальних шляху на мережному рівні передачі даних для пакетів від вузла-джерела до пункту призначення на основі різноманітних показників, наприклад, кількість стрибків між джерелом і призначенням [43]. Використання агентів для маршрутизації є одним з перших застосувань БАС починаючи з 1998 р. [44].

В [45] запропоновано децентралізовану агентну базу протоколу маршрутизації для транспортних мереж, яка складається з трьох груп агентів. Агенти з першої групи відстежують параметри автомобіля, наприклад, швидкість та розташування. Агенти з другої групи розташовуються на вузлах придорожні інфраструктури та стежать за зв'язком транспортних засобів один з одним. Третя група створює віртуальне довкілля шляхом моделювання транспортних засобів, придорожньої інфраструктури, та їх повідомлення у вигляді графу. Потім на основі алгоритму мурашиних колоній агентами розраховується короткий шлях до пункту призначення. Цей метод запобігає заторам у зоні, надсилаючи різні маршрути на різні транспортні засоби.

Результати впровадження доводять, що метод на основі агента має меншу тривалість подорожі порівняно з іншими методами маршрутизації.

Однією з ключових проблем маршрутизації є надійність вибраного маршруту, тобто переконання, що маршрут не буде часто змінюватися. У [46] автори запропонували надійний протокол маршрутизації для Wireless Sensor Networks (WSN). Запропонований метод оснований на пересиланні пакетів агентами і агрегування даних датчиків. Спочатку центральний контролер у WSN передає пакет для пошуку доступних ресурсів вузлів для конкретних завдань. Ця інформація використовується для поділу мережі на окремі сектори. Потім агент починає рухатись для збору та укрупнення даних датчиків в кількох секторах. Сбір даних від датчиків в результаті відвідування мобільним агентом, центральний контролер формує відсортований список датчиків на основі їх відстані до раковини для кожного сектора, який використовується як надійний шлях до кожного датчика. Результати моделювання демонструють менше споживання енергії та втрати пакетів у протоколі маршрутизації на основі агента порівняно зі звичайним протоколом маршрутизації.

Ще одна реалізація протоколу багатоадресної маршрутизації на основі агентів запропоновано в [47]. Система складається з двох груп агентів. В першу групу включені мобільні агенти, які рухаються в мережі для збору даних про пропускну здатність, стану пам'яті вузлів тощо. Ця інформація використовується для обчислення коефіцієнту надійності (RF) для кожного вузла. Ці коефіцієнти потім передаються до другої групи агентів, які встановлюють багатоадресну магістраль із використанням вузлів з найвищим RF. Результати моделювання доводять, що агентний метод має вищий коефіцієнт доставки пакетів і надійність у порівнянні з традиційними методами.

#### 2.4.3. Моделювання складних систем за допомогою агентів

Моделювання складних динамічних систем зазвичай є витратним і вимагає значні накладні витрати на потужні платформи моделювання високої складності. З іншого боку гнучкість, автономія та масштабованість, що надаються агентами

робить агентне моделювання недорогим і малоресурсним рішенням для моделювання складних систем [48]. В основу моделювання за допомогою агентів лежить методологія, заснована на правилах середовища на відміну від аналітичних моделей. Найважливішими перевагами агентського моделювання є [49]:

- здатність агрегування та комбінації з іншими методами моделювання;
- гнучкість у припущеннях для моделювання БАС;
- гнучкість у заздалегідь визначених знаннях, оскільки агенти можуть отримати знання навчання з середовища;
- можливість паралельного виконання, яке може прискорити процес моделювання;
- здатність досліджувати непередбачувану поведінку через активність агента.

Автори в [50] запропонували БАС для моделювання «ланцюга» поставок. Кожен об'єкт «ланцюга» поставок моделюється окремо зі своєю власною політикою і здатний визначати власні взаємодії з іншими суб'єктами. Пропонований спосіб складається з двох групи агентів, а саме: планування та фізичні агенти.

Замовники та постачальники використовують групу з шістьма агентами для переговорів і досягнення згоди щодо ціни продуктів. В групі планування присутні наступні агенти:

- агент з виконання вимог, який управляє попитом споживачів;
- агент планування матеріальних ресурсів, який спілкується з виробниками та закупає продукцію;
- агент прогнозування попиту, який прогнозує попит клієнтів на основі поточних та попередніх потреб;
- агент генерального планування, який об'єднує планування виробництва;
- агент планування виробництва, який аналізує агреговані дані агента генерального планування;
- агент планування, який планує завдання для кількох агентів.

Крім того, є група з трьох фізичних агентів, які займаються прийомом і зберіганням сировини, виготовленням і доставкою продукції замовнику.

Також у [51] запропоновано агентна модель системи для міського розподільного центру (МРЦ). У розумному місті МРЦ централізовано керує доставкою продукції, виконує моніторинг і контроль перевантаженості міста, забруднення, час доставки та надійність завдяки оптимізації і планування маршрутів доставки товарів. У запропонованій системі БАС агенти представляють вантажівки, товари, клієнти, МРЦ та міський транспорт. У випадках перенавантаження міста транспортом на вулицях та парковках виникає затримка у доставці товарів та вантажів. Агент МРЦ вирішує цю проблему розробкою оптимальних шляхів доставки для скорочення часу доставки. Запропонований метод мінімізує вартість доставки для власників магазинів і максимізує прибуток від доставки для компаній-постачальників порівняно зі звичайними системами управління.

#### 2.4.4. Агенти в інтелектуальних мережах

У літературі агенти використовуються для вирішення багатьох проблем інтелектуальних мереж, включаючи балансування генерування та споживання енергії, ведення переговорів між споживачем енергії і виробником над ціною на енергію, зберігаючи енергію в домашні сховищах та відновлення енергії. Автори в [52] запропонували агентний сервіс, тобто відновлення енергії для розумних мереж, що забезпечують розподілення та зберігання енергії. Система використовує два агенти, а саме: агент перемикавання та агент розподілення накопичуваної енергії.

Агент перемикавання балансує енергетичне навантаження, а потім виявляє і потім ізолює несправності, тобто відключення електроенергії через несправність деяких виробників енергії або системи розподілу енергії. Акумуляторна енергія забезпечує енергію для мережі залежно від того, чи підключена мережа до інтелектуальної мережі чи ізольована. Запропонований спосіб покращує



системні втрати за рахунок ефективного відновлення та досягає динамічного розподілу для відновлення частини мережі, вимкнуті від мережі.

Учасниками інтелектуальної мережі є або виробники енергії, або споживач. Виробники енергії прагнуть збільшити свій прибуток шляхом продажу енергії за вищою ціною. Щоб досягти цієї мети, автори в [53] запропонували метод управління накопиченням енергії. Кожен виробник енергії (агент) має накопичувальний пристрій і прагне збільшити свій прибуток шляхом аналізу цінових сигналів, створених іншими агентами, включаючи клієнтів та інших виробників енергії. Кожен агент записує в унікальний профіль використання сховища зберігання енергії. Агент аналізує профіль зберігання та із застосуванням методів теорії ігор прогнозує майбутнє використання і, таким чином, вирішує, продавати чи зберігати вироблену енергію.

## 2.5. Проблеми застосування багатоагентних систем

### 2.5.1. Загальні відомості

Незважаючи на те, що БАС використовуються у багатьох галузях, що підтверджується успішними прикладами працюючих систем, існують деякі проблеми, рішення яких потребують додаткових досліджень. До таких проблем відносяться: координацію між агентами, навчання, виявлення помилок, розподіл завдань, локалізація, організація та безпека. Проблеми БАС, як правило, стосуються конкретного застосування.

### 2.5.2. Координаційний контроль

Дія, яку виконує кожен агент, впливає на навколишнє середовище і, таким чином, на рішення, прийняте іншими агентами. Координаційний контроль потрібен для управління агентами для спільного досягнення цілі [54]. У зв'язку з координацією виникають численні проблеми, включаючи консенсус, керованість, синхронізацію, підключення, та формування, як описано нижче.

### *1) Консенсус*

У БАС під консенсусом розуміється досягнення глобальної угоди щодо певного об'єкта. Декілька особливостей БАС, розглянуті вище, впливають на проблему консенсусу, оскільки вони впливають на спілкування та співпрацю між ними агенти. Однак це важливо тільки в багатоагентних системах без лідера. У системах з агентом лідером присутні функції управління, тому консенсус забезпечується автоматично.

У [55] представлено алгоритм консенсусу як для фіксованої, так і для динамічної топології БАС. Автори довели математично, що за допомогою свого алгоритму агенти можуть досягти згоди щодо конкретного об'єкта. Результати моделювання показують, що з часом розбіжності агентів щодо об'єкту зменшуються до тих пір, поки вони остаточно досягти згоди. Автори також визначили новий тип консенсусу, відомий як середній консенсус. У випадках, коли знаходження унікального параметру для досягнення агентами консенсусу потребує значних накладних витрат або є неможливим через різноманітність агентів та їх особливостей, середній консенсус може бути використаний для вирішення проблеми.

Одним із відомих прикладів консенсусу є скупчення людей що відноситься до колективної поведінки ряду агентів досягти групової мети [56]. В природі існує так званий стадна поведінка – флокування, наприклад, поведінка колонії мурах, бджоли, риби та пінгвіни [55]. Автори запропонували три основних правила, які ведуть до моделі флокування. Це:

Центрування стада: намагання залишатися поруч із сусідами по стаді

Уникнення перешкод: уникнення зіткнень з сусідніми товаришами по стаді.

Узгодження швидкості: спроба підтримати швидкість товариша по стаді.

Ці три правила відомі як згуртованість, поділ і вирівнювання, відповідно. Застосування флокування в техніці включають: контроль транспортних засобів і транспорту, військові місії, і мобільне зондування. Досягнення консенсусу ґрунтується на двох основних підзадачах про особливості базового БАС, а саме:

Відстеження: У БАС є одним лідером агенти повинні досягти консенсусу щодо позиції або призначення лідера. Це гарантує, що агенти підтримують свої зв'язки з лідером.

Стимування: Стимування подібне відстеженню, однак у випадку декількох лідерів потрібно обмежити положення агентів для контролю кордонів своєї групи. Крім того, лідери можуть підключатися один до одного для обміну контрольними даними або даними, які вироблені агентами, наприклад, отримані з навколишнього середовища.

## *2) Керованість*

Керованість проявляється у ситуаціях, коли БАС переходить з одного стану в інший, і потрібна впевненість у досягненні певного стану шляхом виконання конкретних кроків. На керованість БАС впливають ступень динамізму в топології та ступінь детермінізму в середовищі. В динамічній БАС топологія періодично змінюється, впливаючи на зв'язки між агентами. В недетермінованому середовищі результати дій непередбачувані, тому агенти повинні приймати рішення про нові дії, з урахуванням результатів своїх попередніх дій, що затримує та обмежує активність агентів. Керованість значною мірою досягається централізованим способом, коли лідери направляють інших агентів до послідовності дій для досягнення мети.

## *3) Синхронізація*

Синхронізація передбачає дії, які виконує агент для узгодження в часі з діями інших агентів. Синхронізація має тісний зв'язок із проблемою консенсусу: «консенсус» означає досягнення агентами договору про такий стан, що залежить від стану всіх агентів під час синхронізації, яка визначає картельовану в часі поведінку серед різних агентів». Підвищена гетерогенність серед агентів ускладнює синхронізацію. Причина в тому, що гомогенні агенти можуть синхронізуватися за загальною ознакою, а для неоднорідних агентів синхронізацію слід досягати за кількома різними особливості. Відома також гетерогенна синхронізація як синхронізація з частковим станом або вихідною синхронізацією.

#### *4) Підключення*

У деяких випадках агенти вимагають постійного зв'язку один до одного, наприклад, у БАС з агентом-лідером інші агенти повинні завжди бути на зв'язку з лідером. Ця вимога вводить проблему підключення. Ускладненню зв'язку сприяють наступні обставини:

- мобільність - мобільність агентів призводить до частих відключень між агентами та подальшим відновленням нових з'єднань;
- шумне середовище - будь-які перешкоди в середовищі може перервати з'єднання між двома агентами і, таким чином, вимагають відновлення цих зв'язків;
- обмежене охоплення топології БАС: оскільки агенти мають обмежене охоплення середовища, позиціонування агента для досягнення максимального підключення є складним завданням.

Залежно від підключення, MAS можна класифікувати на підключений або без з'єднання. У підключеної БАС постійне з'єднання між агентами гарантується, а в режимі без з'єднання такої гарантії немає. Підключення широко застосовується у флокінгових і транспортних системах. В цих випадках позиція агентів періодично змінюється і агенти повинні завжди підтримувати зв'язок з кожним іншим.

#### *5) Формування*

У деяких випадках для групи агентів в БАС може знадобитися бути організованим в певну структуру і підтримувати її протягом певного періоду часу або навіть протягом усього терміну служби БАС. Наприклад, можна організувати групу безпілотних літаючих апаратів з метою знайти певний предмет в навколишньому середовищі. Така подія має назву формування [57]. Відомі три основні кроки формування:

- пошук найефективнішої структури для застосування всіх агентів;
- підбір агентів на основі визначеної структури;
- збереження визначеної структури протягом визначеного часу.

Неоднорідність агентів, обмежене охоплення довкілля та динамічність БАС робить окреслені кроки надзвичайно складними [58].

Автори в [120] запропонували метод формування, де центральний агент, який знає положення всіх агентів, контролює цей процес. Формування має а широкий спектр застосувань у військових подіях, ліквідації наслідків стихійних лих, управління БПЛА та керування транспортними засобами [59].

### 2.5.3. Навчання

Кожен агент у складі БАС, як відмічалось раніше, самостійно приймає рішення щодо відповідної дії для досягнення мети на основі кількох показників. Агенти можуть використовувати алгоритми машинного навчання [60] для виявлення та прогнозування змін у навколишньому середовищі і пристосовуються до непередбачених ситуацій і, таким чином, утворюють багатоагентну систему навчання агентів. Одночасно система навчання може підвищити складність БАС за рахунок рішення наступних задач:

- Передбачення додаткових накладних витрат на методи навчання, які споживають ресурси агентів;
- Середовище БАС може бути динамічним. Таким чином, агенти повинні часто моніторити оновлену інформацію для використання її при навчанні;
- Топологія БАС може змінитися, тому потрібне повторне з'єднання з сусідніми агентами;
- Захист агентів від шкідливих агентів, які можуть постачати хибну інформацію;
- Масштабованість методів навчання для великих БАС.

Агенти можуть поділитися своїми знаннями зі своїми сусідами і досягти спільного навчання, щоб зменшити ефект деяких із проблем, описаних вище. Відомі два основних методи машинного навчання, які використовуються в системах навчання: метод проб та помилок і генетичне програмування. Метод проб і помилок передбачає отримання штрафу або нагороди від середовища чи від інших агентів в залежності від результатів своїх дій. Агент використовує дії

з позитивним ефектом багаторазово, уникаючи повторювання дії з негативними наслідками [61]. Цей метод працює навіть тоді, коли у агента відсутня історія дій чи політики відносно середовища. В [62] представлені різні реалізації цього метода.

Метод генетичного програмування є різновидністю еволюційного алгоритму (ЕА) в машині навчання. Спочатку призначаються та кодується набір генів, які потім еволюціонують за допомогою ЕА [63]. Протягом деякого часу тільки найефективніші гени виживають і конкурують з іншими генами, що наближає агента до необхідного рішення.

#### 2.5.4. Розподіл завдань

При розподілі завдань агентам враховуються витрати, час та накладні витрати. Розподіл завдань може бути централізованим або децентралізованим [64]. У випадку великих БАС застосовують гібридний спосіб, коли агентська організація ділиться на кластери і в межах кожного з них використовується централізований спосіб [65].

При розподілі завдань застосовуються два основних показники:

*Компетенція агента:* - пов'язана з загальною кількістю ресурсів агента. Завдання доручається агентам пропорційно до його ресурсів. При цьому необхідно врахувати ще поточне навантаження на агента перед розподілом нове завдання для нього. Якщо завдання, призначені агенту, перевищують ресурси агента, це може привести до затримання виконання всього завдання. Щоб запобігти перевантаженню використовують механізми балансування для рівномірного розподілу навантаження між агентами.

*Позиція агента:* позиція агента впливає на затримку зв'язку, а також накладні витрати (наприклад, кількість пакетів, які необхідно передати для зв'язку з іншими агентами) [66]. Таким чином, розташування агента слід враховувати при призначенні завдань для зменшення накладних витрат. Наприклад, якщо завдання Х вимагає ресурсів, які належать агентам В і С, то доцільно призначити Х агенту, який розташований поруч із В і С.

### 2.5.5. Локалізація

Нагадаємо, що кожен агент має обмежений огляд на топологію БАС, тому визначити місцезнаходження конкретного агента, тобто локалізацію, може бути складною задачею. Агент може бути локалізований на основі:

- наявності конкретних ресурсів, для яких локалізація відома;
- запуск конкретні послуги;
- володіння певною ідентичністю.

Відомі методи локалізації ґрунтуються на централізованому підході. Однак централізовані методи не обов'язково погано масштабуються для великих БАС, тому має сенс розглядати розподілений підхід до рішення задачі локалізації. Агенти обмінюються інформацією про їх оточення з іншими сусідами. Отже, вони можуть спільно побудувати глобальну топологію для локалізації будь-якого агента. Звичайно, це збільшить витрати на зв'язок між ними, що приведе до суттєвих затримок оновлення інформації агентів у БАС.

Для БАС зі статичної топологією проблеми з локалізацією агентів не виникає. Якщо сталася гібридна топологія, тоді можуть знадобитися накладні витрати для балансування між розподіленням та централізацією призначення завдань або отримання даних від агентів. Найскладнішим є локалізація в системах з динамічної топологією. Локалізація динамічних агентів потребує постійної комунікації. Таким чином, локалізацію можна оцінити, отримуючи поточну швидкість та напрям руху мобільного агента.

### 2.5.6. Організаційна структура

Організаційна структура багатоагентної системи визначає способи комунікації між агентами. Агенти групуються в залежності від виконаних функцій, власних цілей, за ресурсами та послугами, які надаються [67]. Існують наступні схеми організаційної структури БАС [68]:

### *Плоска організація*

Це найпростіша організаційна структура, в якій всі агенти рівні (рис. 2.3). В такій організації відсутній агент-лідер, з яким спілкується кожен агент. Агенти спілкуються один з одним в залежності від виконаних функцій.

### *Ієрархічна*

В ієрархічній організації агенти мають деревоподібні відносини, як показано на рис. 2.4. На найвищому рівні розташований один агент (А), який має назву кореневий. З нього побудовані гілки дерева, які закінчуються «листами» - це агенти G, L, C, E, M. Спілкування між агентами здійснюється виключно за «гілками», а обмін інформацією між агентами різних «гілок» здійснюється виключно через кореневий агент.

До недоліків ієрархічної організації відносять те, що така організація може призвести до затримки або створити вузьке місце у вузлах «підгілок», зокрема у кореневого агента, оскільки вони відповідають за обробку повідомлень усіх «листових» агентів. З іншого боку, така організація простіше керується, вузлові агенти не пропускають хибні повідомлення, простіше виявляти несправних агентів.

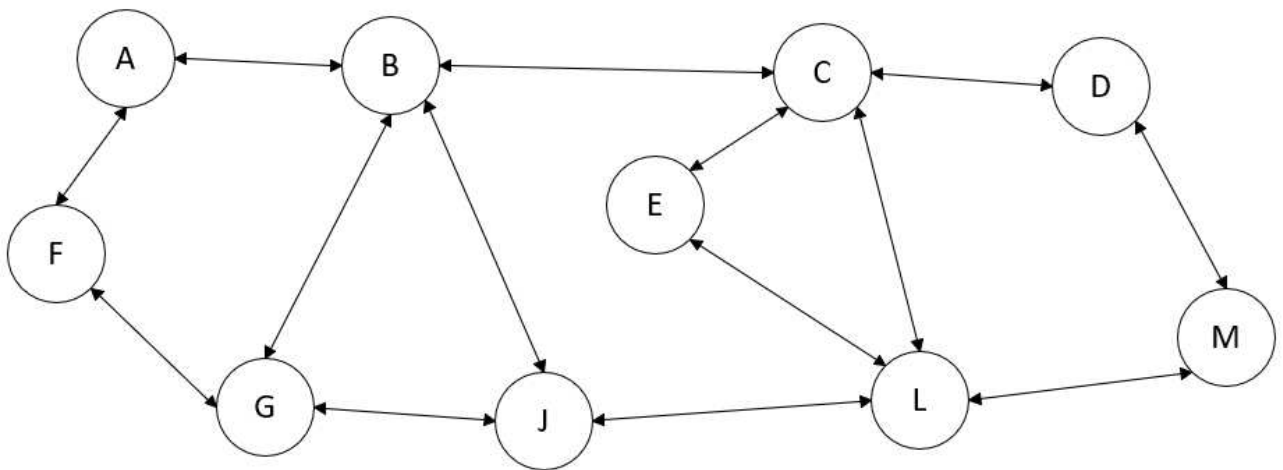


Рисунок 2.3. Плоска організація багатоагентної системи



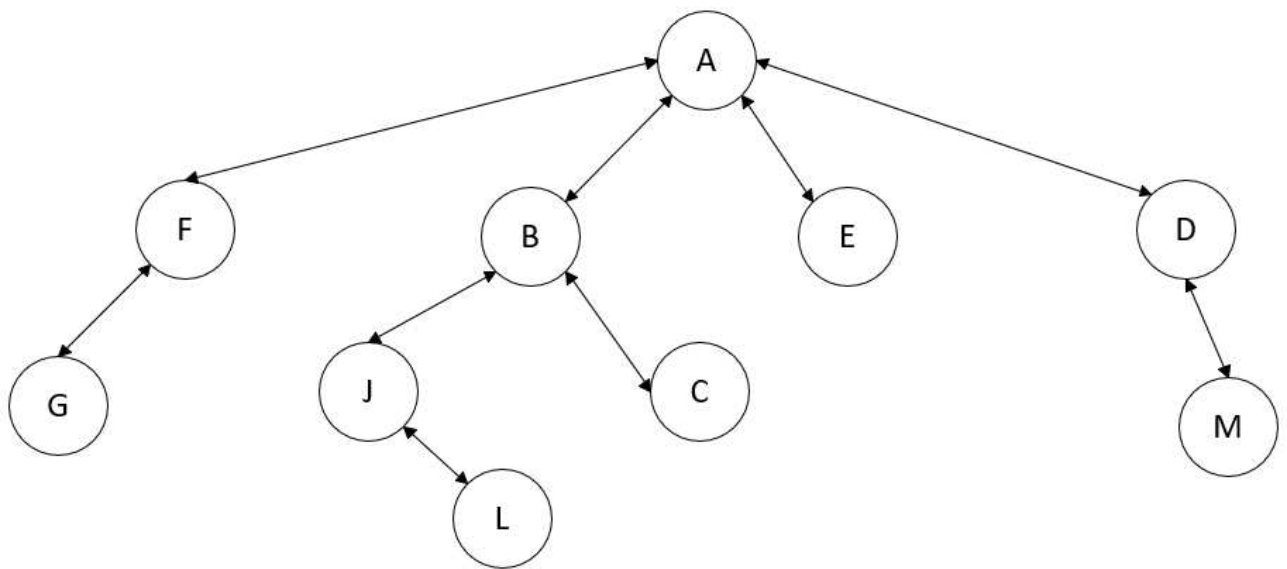


Рисунок 2.4. Ієрархічна організація багатоагентної системи

#### *Холонічна організація*

У холонічній організації агенти організовані у групах, які сформовані на основі холонів за конкретними ознаками, наприклад, неоднорідністю або здатністю розуміти інших агентів у холоні. Холони розшаровуються у декілька шарів, як показано на рис.2.5. Агенти може спілкуватися з іншими агентами в тому самому холоні або в інших холонах того самого шару. Таким чином, у холонічній організації агент може бути членом більш ніж одного холону в тому ж шарі. Для комунікацій з верхнім рівнем використовується агент, який обирається серед найбільш доступних агентів в холоні.

Багатоагентна система організовує холонічну структуру у випадках, коли кожен агент-член холону у верхньому шарі потребує субагентів (члени холону нижнього шару) для спільного вирішення конкретного завдання. Кожен субагент також може мати холони субагентів.

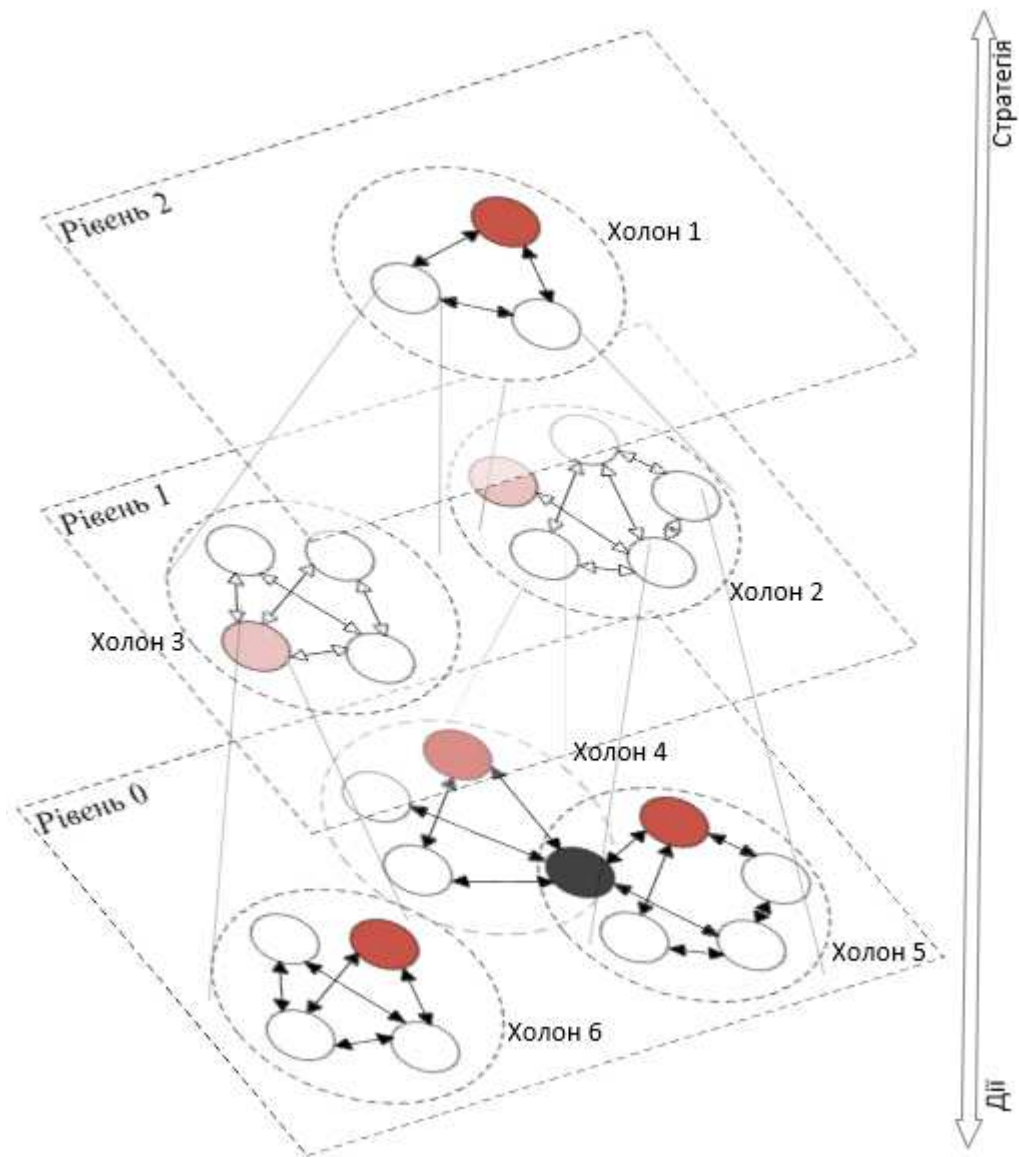


Рисунок 2.5. Холонічна організація багатоагентної системи

### *Коаліція*

У коаліційній організації (рис. 2.6) агенти згруповані тимчасово відповідно до своєї компетенції і мети. Групування здійснюється з метою зменшення накладних витрат при виконанні завдання порівняно з організацією, де такого угруповання немає. Кожен агент може бути частиною більш ніж однієї коаліції, наприклад, агент 7. Після виконання завдання і досягнення мети агенти знищують коаліцію. Внутрішня організація коаліції зазвичай плоска; однак також може бути використана будь-яка інша організація, наприклад, ієрархічна організація для підвищення рівня контролю над агентами. Пошук і групування агентів вимагає деякі накладні витрати на обробку та комунікацію агентів. Таким

чином, існує компроміс між зменшеними накладні витрати в результаті коаліції та понесені накладні витрати на пошук агентів з тією ж метою і утворення коаліції.

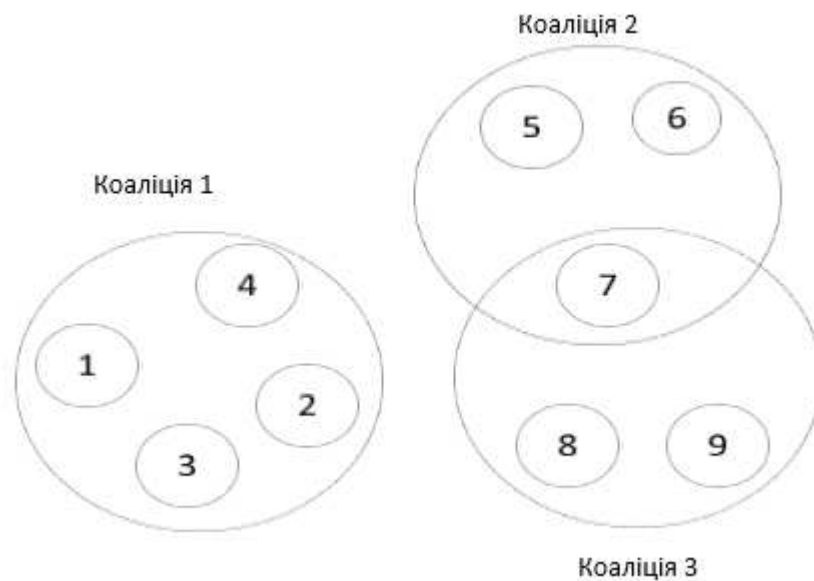


Рисунок 2.6. Коаліційна організація агентів

Ця організація застосовується, коли набір агентів з подібними цілями існує в БАС і співпраця поєднує їх у досягненні мети. Наприклад, група машин швидкої допомоги (агентів) може зібратися разом рятувати людей під час землетрусу. Створення коаліції допомагає машинам швидкої допомоги більш ефективно досягти своєї мети щоб охопити ширшу площу і, таким чином, врятувати більше постраждалих.

### *Команда*

При організації команди агенти створюють групу (команда) і визначають групову мету, яка відрізняється від їхньої власної мети. Залежно від часу, необхідного для досягнення командної цілі, команда може бути короткочасною або довготривалою. Агенти в команді співпрацюють для досягнення командної мети.

На рис. 2.7 зображена організація команди. Командну ціль можна оновлювати, що призводить до зміни обов'язків, ролі та повноваження агентів у

команді. Кожна команда може запитувати інформацію від агентів інших команд для покращення власного процесу прийняття рішень. Команда може мати таку внутрішню організацію, яка може покращити продуктивність та ефективність у досягненні командної мети. Наприклад, у команді відповідальних агентів для аналізу міського трафіку агенти створюють ієрархічну структуру систему, щоб можна було інтегрувати дані про трафік.

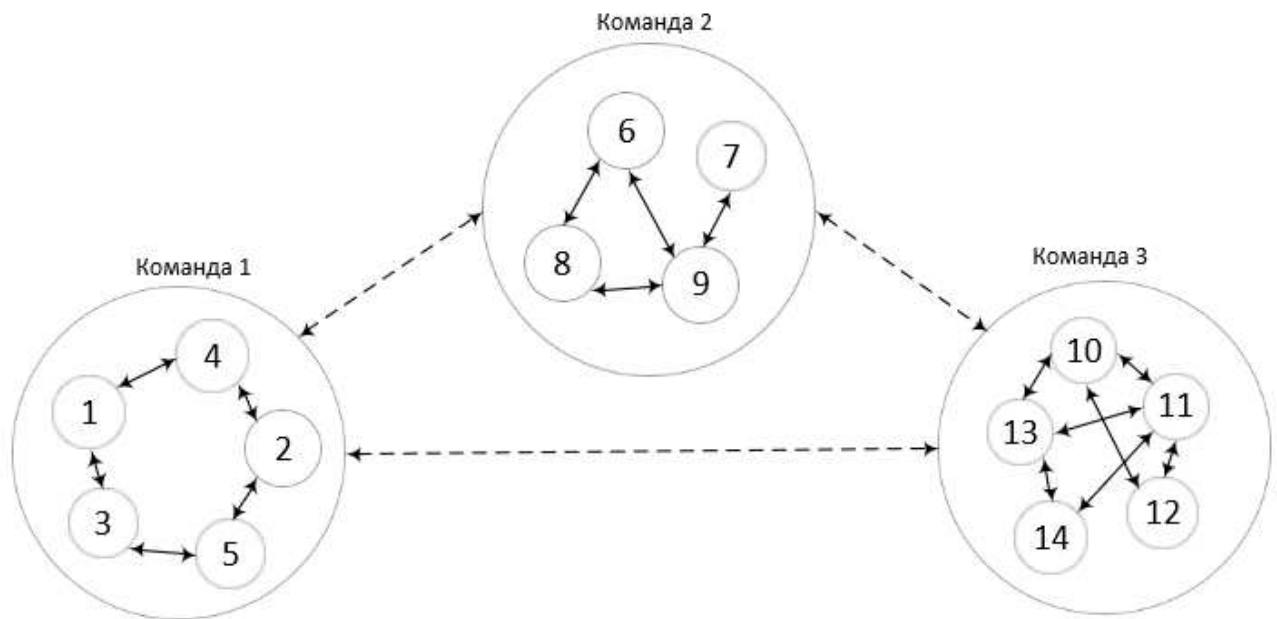


Рисунок 2.7. Командна організація багатоагентної системи

Кількість агентів у команді (відомий як розмір команди) є одним з ключових питань організації команди. Більша команда може сприймати більше даних із середовища, однак інтеграція даних і знань багатьох агентів вимагає більш складної обробки. З іншого боку, менш складна організація в невеликих командах, однак дані, які використовуються невеликими командами, обмежені. Компроміс між накладними витратами на прийняття рішень і точність даних слід враховувати при визначенні розміру команди.

На відміну від коаліції, де агенти групуються, щоб досягти своєї власної мети, у команді агенти намагаються досягти командну мету. Таким чином, ця

організація підходить тоді, коли мета більшості агентів співпадає з метою команди.

#### *Матрична організація*

У матричній організації кожен агент керується принаймні двома головними агентами (аналогічно як менеджери), як показано на рис. 2.8. Прикладом такої організації може бути компанія, де кожен персонал дає звіт менеджеру з товару, який контролює цей товар, і функціональний менеджер, який контролює функції завдання. Матрична організація ефективна тоді, коли агенти контролюються більш ніж одним лідером.

#### *Об'єднання*

У випадку, коли агенти не спроможні виконати свої завдання поодиночі, вони можуть сформувати об'єднання (рис. 2.9). Фермерський ринок можна розглядати як людське об'єднання, де люди збираються, щоб продати/купити те, що їм потрібно. Кожен агент може залишити об'єднання чи приєднатися до нього, але повинні бути лише частиною одного об'єднання в кожен момент часу. Користь приєднання агента до об'єднання залежить від інших агентів. Ця організація ефективна тоді, коли кожному агенту потрібні ресурси інших агентів для досягнення своєї мети або виконання свого завдання.

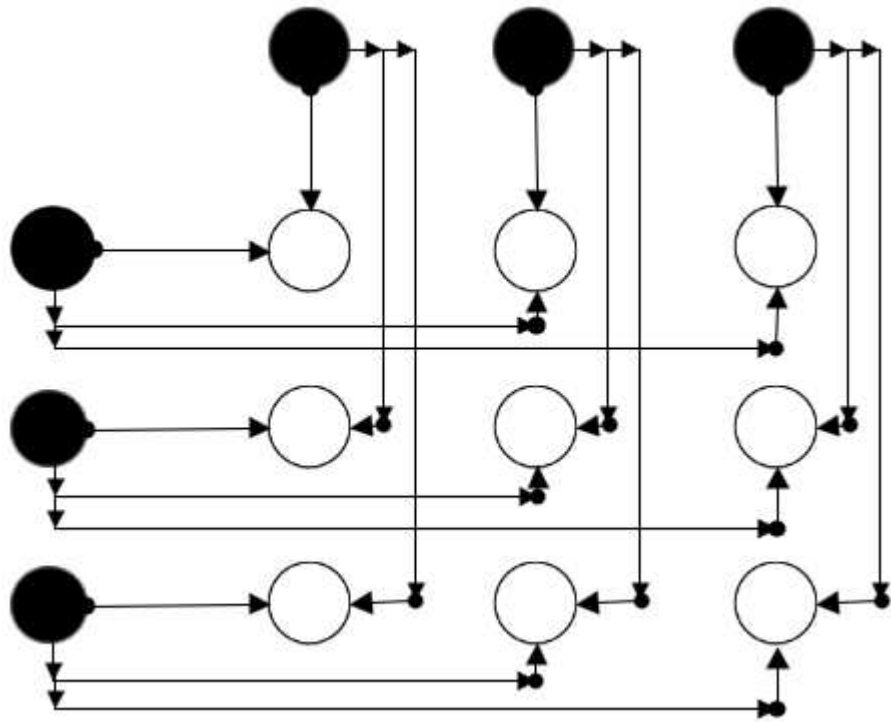


Рисунок 2.8. Матрична організація багатоагентної системи

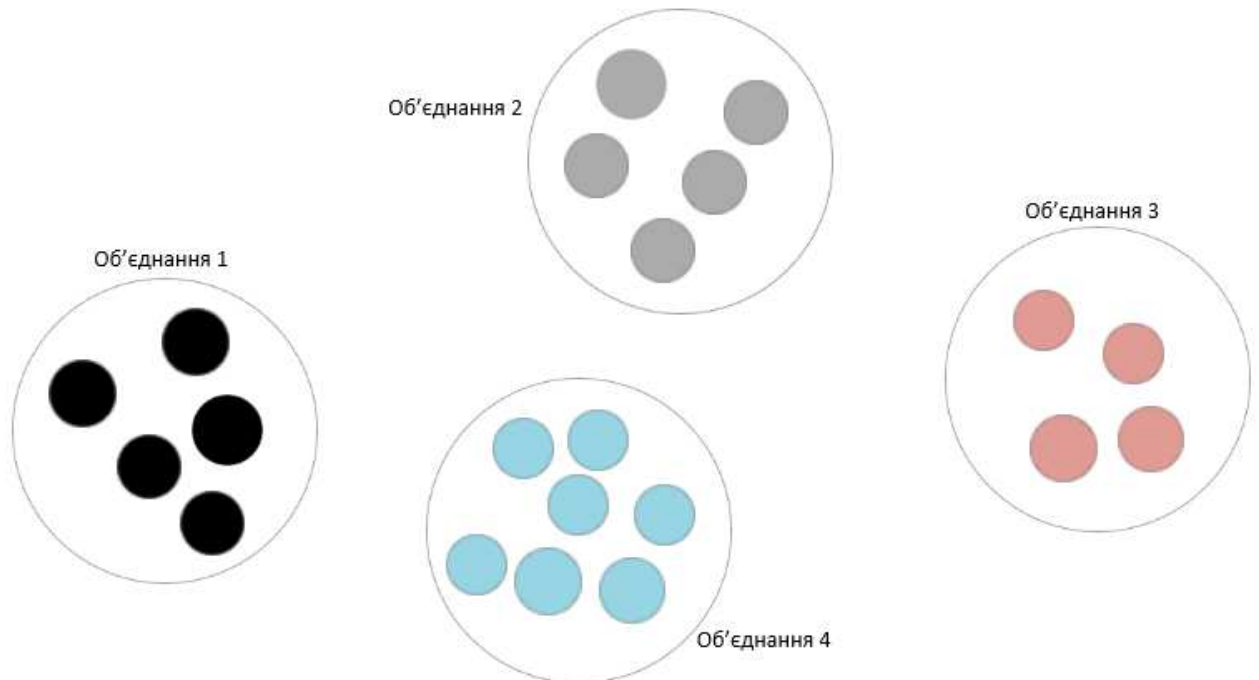


Рисунок 2.9. Об'єднання в багатоагентній системі

### 2.5.7. Безпека

Для багатоагентних систем проблема безпеки є дуже складною через децентралізацію, комунікабельність і мобільність [20]. Наслідки цих особливостей обговорюються нижче:

*Комунікабельність.* Агенти використовують інформацію чи знання, які вони отримують або від сусідніх агентів, або від середовища для прийняття рішень. Це робить агента вразливим для зловмисників які можуть поширювати фальсифіковані дані, щоб вплинути на рішення агента.

*Децентралізація.* Через відсутність центрального довіреного органу перевірка ідентичності агентів і створення довіри між агентами стає дуже складним.

*Мобільність.* На мобільний агент може вплинути агенти-зловмисники. У цьому випадку може бути поширення хибної інформації і зростає кількість агентів, з якими він стикається під час переміщення. Іншою загрозою безпеці мобільних агентів є те, що він може атакувати агента, до якого він мігрував і споживати його ресурси або читати його дані.

Ключовими вимогами безпеки в БАС є [69]:

- Аутентифікація - гарантує, що кожен агент є тим, кім є насправді;
- Авторизація: гарантує, що кожен агент має право доступу до запитаних ресурсів.
- Цілісність: гарантує, що повідомлення не було змінено з покоління.
- Доступність: гарантує, що послуги та ресурси є доступні для аутентифікованих та уповноважених агентів за запитом.
- Конфіденційність - гарантує, що тільки дозволені агенти можуть читати певні дані.

Розподілена довіра широко використовується в БАС для підвищення безпеки завдяки чому агенти створюють довіру один до одного шляхом спостереження і перевірки їх дій [70], [71].

## 2.6. Середовище моделювання та симуляції агентних систем

### *Фреймворк розробки агентів Java (JADE):*

JADE є одним з найбільш широко використовуваних тренажерів БАС.

Популярність JADE обумовлена наступними характеристиками:

- заснований на мові Java та підтримується сторонніми бібліотеками;
- написаний на основі стандарту FIPA;
- підтримує моделювання розподілених систем;
- має графічний інтерфейс для проектування БАС;
- приховує складність БАС від конструктора;
- відкритий код
- можливість інтерфейсу з Matlab [72], [73].

### *GAMA*

GAMA це платформа для моделювання та симуляції агентних систем [74].

GAMA має а ряд переваг, включаючи:

- можливість моделювання та симуляції БАС у складі власного застосунку;
- підтримка спеціальної мови програмування GAML, інтуїтивно зрозуміла для розробки агентів, які можна використовувати для моделювання БАС;
- можливість масштабування та підтримка великих БАС, які складаються з мільйонів агентів.

### *Matlab*

Matlab використовується для вивчення продуктивності БАС, особливо щодо математичного моделювання [75]. Крім того, Matlab можна підключити до JADE для подальших досліджень продуктивності MAS [72].

### *Математичний аналіз*

Багатоагентні системи можна представити за допомогою графіки та, використовуючи матаналіз, з'являється можливість оцінки роботи БАС.

Вищезгадані засоби і платформи розроблені спеціально для БАС, тому їх можна використовувати для аналізу та оцінки ефективності агентної системи, розробленої для вирішення зазначених проблем. Наприклад, розроблена



програма NS2 для моделювання комп'ютерних мереж має у своєму складі засоби для оцінки ефективності мережних агентів.

Існування спеціальних засобів та платформ для моделювання та симуляції багатоагентних систем не виключає можливості застосування інших програмних засобів для розробки агентної системи. Все залежить від особливостей та характеристик розроблюваної системи, долучених засобів та спеціалістів.

## 2.7. Висновки з дослідження та загальний алгоритм створення багатоагентних систем

У попередніх пунктах розглянуті властивості, характеристики та приклади застосування БАС. У таблиці 2.2 відображені результати досліджень, за якими можна обрати властивості багатоагентної системи для реалізації системи управління в залежності від особливостей предметної області.

Таким чином, для реалізації багатоагентної системи потрібно виконати наступні кроки:

- 1) Виявлення переліку складових бізнес-процесу, які потрібно передати під керування агенту.;
- 2) Визначення потрібних компетенцій агентів для виконання частини бізнес-процесу.
- 3) Виявлення інформаційних зв'язків між складовими бізнес-процесу. Це вплине на визначення складу вхідних та вихідних даних програмного агента та спілкування між ними. Також склад складових бізнес-процесу визначає частоту передачі даних, тобто, в залежності від дискретності або непереривності операцій;
- 4) Визначення способу управління бізнес-процесом, що вплине на ступень самостійності при прийнятті рішення з боку агента і, відповідно, на спосіб розподілу завдань для агентів;
- 5) З попереднього пункту витікає організаційна структура системи управління бізнес-процесу і, як наслідок, обрання організації агентів.

Таблиця 2.2. Підсумкові характеристики багатоагентних систем

| Характеристика/функція    | Класифікація                                                                                   |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Лідерство                 | З агентом-лідером<br>Всі агенти рівноправні                                                    |
| Функція прийняття рішення | Лінійна<br>Нелінійна                                                                           |
| Гетерогенність            | Однорідні агенти<br>Неоднорідні агенти                                                         |
| Передача даних            | З затримкою<br>Без затримки                                                                    |
| Топологія                 | Статична<br>Динамічна                                                                          |
| Мобільність               | З мобільними агентам<br>Зі статичними агентами                                                 |
| Частота передачі даних    | Непереривна<br>Дискретна                                                                       |
| Організаційна структура   | Плоска<br>Ієрархічна<br>Холонічна<br>Коаліція<br>Командна<br>Матрична<br>На основі об'єднань   |
| Розподіл завдань          | Централізований<br>Децентралізований<br>Гібридний                                              |
| Координаційний контроль   | Консенсус (флокування, стримання)<br>Керованість<br>Синхронізація<br>Підключення<br>Формування |

### 3. РОЗРОБКА КОНЦЕПЦІЇ БАГАТОАГЕНТНОЇ СИСТЕМИ ВІРТУАЛЬНОГО ПІДПРИЄМСТВА З ВИГОТОВЛЕННЯ МЕБЛІ

#### 3.1.Формування вимог до агентів – учасників системи управління підприємством

В п.1.2 обґрунтовано задача створення віртуального підприємства з виготовлення меблі. В п.п.1.4 та 1.5 показано, що багатоагентні системи є найбільш ефективною формою управління віртуальним підприємством. Розділ 2 присвячений дослідженням властивостей і характеристик багатоагентних систем та сформульовано алгоритм покрокових дій їх розробки.

Як було зазначено раніше, у бізнес-процес виконання замовлення мають бути задіяні наступні виконавці [76]:

Майстер з прийому замовлення;

Проектувальник - дизайнер;

Проектувальник - технолог;

Виробник деталей;

Виробник фасадів;

Постачальник фурнітури;

Постачальник транспортних послуг;

Майстер зі зборки меблі.

В таблиці 3.1 наведені компетенції всіх виконавців. Необхідно вказати на те, що взагалі всі складові бізнес-процесу можуть бути виконані одним виконавцем або декількома в залежності від їх компетенції. Однак, можливо, для забезпечення необхідного рівня якості та/або скорочення термінів виконання замовлення, раціонально поділити етапи бізнес-процесу між різними виконавцями за визначеними критеріями. Питання підбору виконавців розглядається нижче.

Для поділу бізнес-процесу на етапи потрібно чітко встановити межі кожного етапу і, відповідно, складові компетенції виконавця [77]. Для цього

потрібно визначити вхідні та вихідні дані кожного етапу бізнес-процесу виконання замовлення (табл. 3.2).

Таблиця 3.1. Компетенції виконавців

| Виконавець                   | Компетенції                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Майстер з прийому замовлення | Виїзд для огляду приміщення,<br>Визначення побажань замовника;<br>Вимір потрібних розмірів;<br>Креслення ескізу меблевих секцій замовлення з нанесенням розмірів;<br>Опис місця встановлення меблів;<br>Фотографування приміщення;<br>Опис вимог до проєкт. |
| Проектувальник – дизайнер    | Створення проєкту меблі<br>Узгодження з клієнтом типу матеріалів, кольору елементів меблевих секцій та фасадів;<br>Узгодження з клієнтом переліку фурнітури за функціями та вартістю;                                                                       |
| Проектувальник – технолог    | Узгодження з клієнтом переліку фурнітури за вартістю;<br>Перевірка та корегування проєкту для забезпечення технологічності конструкцій.                                                                                                                     |
| Виробник деталей             | Вироблення деталей меблевих секцій (різка, обліцювання кромки, свердлення, фрезування, комплектація, підготовка до транспортування).                                                                                                                        |
| Виробник фасадів             | Вироблення фасадів меблевих секцій                                                                                                                                                                                                                          |

| <b>Виконавець</b>                | <b>Компетенції</b>                                                                                                      |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Постачальник фурнітури           | Підбір та комплектування фурнітури та кріплень                                                                          |
| Постачальник транспортних послуг | Транспортування готових деталей до цеху попередньої збірки<br>Транспортування секцій та деталей до приміщення замовника |
| Майстер зі зборки меблі          | Збірка секцій з деталей<br>Монтаж меблевих секцій в приміщенні замовника;<br>Оформлення акту прийому-здачі замовлення.  |

Таблиця 3.2. Перелік вхідних та вихідних даних за етапами бізнес-процесу

| <b>Етап</b>               | <b>Вхідні дані</b>                                                                                                                                                        | <b>Вихідні дані</b>                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Прийом замовлення         | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Ідентифікаційні дані замовника</li> <li>– Вимоги до замовлення</li> </ul>                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Дані про приміщення</li> <li>– Ескіз проєкту</li> <li>– Дані про замовника</li> </ul>                                                                      |
| Дизайн-проєкт             | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Дані про приміщення</li> <li>– Вимоги замовника</li> <li>– Ескіз проєкту</li> </ul>                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Готовий проєкт</li> <li>– Орієнтовна вартість</li> <li>– Вартість робіт за етапом</li> </ul>                                                               |
| Розробка робочого проєкту | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Дизайн-проєкт</li> <li>– Вимоги замовника</li> <li>– Дані про виробників</li> <li>– Дані про постачальників фурнітури</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Готовий проєкт</li> <li>– Вартість всіх комплектуючих та матеріалів</li> <li>– Списки деталей та комплектуючих (зокрема кріплення та фурнітура)</li> </ul> |

| Етап                           | Вхідні дані                                                                                                                                       | Вихідні дані                                                                                                                                            |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                |                                                                                                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Технологічна та конструкторська документація</li> <li>– Вартість робіт за етапом</li> </ul>                    |
| Виготовлення деталей           | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Списки деталей</li> <li>– Технологічна документація</li> <li>– Ескізи деталей (якщо потрібно)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Список виготовлених деталей</li> <li>– Вартість робіт за етапом</li> <li>– Комплектовочні відомості</li> </ul> |
| Виготовлення фасадів           | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Списки фасадів</li> <li>– Вимоги до фасадів</li> </ul>                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Список виготовлених деталей</li> <li>– Вартість робіт за етапом</li> <li>– Комплектовочні відомості</li> </ul> |
| Транспортування                | Комплектовочні відомості                                                                                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Вартість робіт за етапом</li> </ul>                                                                            |
| Поставка фурнітури та кріплень | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Список фурнітури та кріплень</li> </ul>                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Комплектовочні відомості</li> <li>– Вартість робіт</li> </ul>                                                  |
| Зборка секцій та монтаж        | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Комплектовочні відомості</li> <li>– Конструкторська та технологічна документація</li> </ul>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Вартість робіт</li> <li>– Акт виконаних робіт</li> </ul>                                                       |

Необхідно звернути увагу на те, що орієнтовна вартість встановлюється виключно як середнє-статистична в залежності від типу та розмірів замовленої меблі та вимог замовника. Ця вартість потрібна в першу чергу для інформування

клієнта про майбутні витрати. Виходячи з основної ідеї виконання замовлення віртуальним підприємством, заявлена вартість повинна змінюватись в менший бік.

Зрозуміло, що вся технологічна та конструкторська документація, комплектівочні відомості тощо передаються від одного виконавця іншому у паперових або, переважно, електронному вигляді. В системі управління достатньо відмітки про передачу, що, одночасно, буде сигналізувати про завершення етапу та початку наступного.

### 3.2. Моделі визначення агентів віртуального підприємства для виконання замовлення

У віртуальному підприємстві, як було вказано в п. 1.2, виконавці долучаються до виконання замовлень у рамках власних компетенцій. Виходячи з цього, для виконання декількох замовлень потрібно долучити відповідно більшу кількість виконавців з однаковими компетенціями, а для цього потрібна своєрідна динамічна мережа партнерів, в межах якої можна оперативно обрати виконавця.

Ефективне виконання окремих замовлень базується на системі відбору та об'єднання виконавців. У зв'язку з цим повинні вирішуватися два взаємопов'язані та взаємодоповнюючі завдання [78]:

1) Залучення нових учасників динамічної мережі, які мають ключові компетенції для ефективного виконання окремих завдань можливих ринкових замовлень та проектів та для функціонування віртуального підприємства в цілому.

2) Оптимальний відбір та об'єднання виконавців та партнерів, які мають ключові компетенції для виконання конкретного ринкового замовлення, відповідно до цілей та завдань проекту.

Друге завдання умовно можна розбити на такі етапи:

1) Визначення необхідних ключових компетенцій та ресурсів, потрібних для виконання завдань та вимог проекту.

2) Пошук серед учасників динамічної мережі потенційних виконавців, які мають необхідні ключові компетенції та ресурси для виконання ринкового замовлення.

3) Оцінка ключових компетенцій та ресурсів потенційних виконавців з метою відбору тих, які найкраще можуть виконати певні завдання.

4) У разі відсутності в динамічній мережі відповідних ключових компетенцій та ресурсів проводиться пошук та оцінка потенційних виконавців поза динамічною мережею.

5) Залучення потенційних виконавців та партнерів.

6) Оптимальний відбір виконавців відповідно до цілей та завдань проекту, обмежень за часом, вартістю, якістю виконання тощо.

7) Об'єднання виконавців для виконання ринкового замовлення або проекту.

Перше завдання ускладнене тим, що для прискорення та покращення якості виконання замовлення необхідно формувати динамічні мережі потенційних виконавців без прив'язки до конкретного ринкового замовлення та за досить розмитих вимог до їх компетенцій. Іншими словами, учасники динамічної мережі не мотивовані конкретним ринковим замовленням, а можуть довго чекати його появи. Отже, потрібна відповідна розробка механізмів пошуку, оцінки, відбору, залучення та об'єднання учасників динамічної мережі. У зв'язку з цим потрібні деякі стимули та можливості, що сприяють залученню учасників динамічної мережі:

1) Отримання нових замовлень, які учаснику самому було практично неможливо отримати, наприклад, вихід на нові ринки.

2) Доступ до спеціалізованої та специфічної інформації (методики, раніше проведені дослідження, різні бази даних тощо).

3) Підвищення рівня якості своїх послуг за рахунок використання досвіду та знань інших виконавців.

4) Зменшення витрат і термінів виконання замовлень за допомогою залучення ресурсів партнерів.



5) Участь у виконанні замовлення, яке сам учасник виконати не зміг, тобто участь у комплексних та великих проектах.

6) Отримання додаткового доходу за рахунок застосування невикористовуваних ресурсів.

Одним з основних етапів ефективного управління віртуальним підприємством є оптимальний та оперативний розподіл замовлень серед учасників мережі.

Можна виділяти три види завдань розподілу замовлень у межах віртуального підприємства:

1) Завдання оперативного вибору виконавця, який найкращим чином може виконати етап замовлення.

2) Завдання оптимального розподілу замовлення між виконавцями, коли одне замовлення вимагає участі кількох агентів.

3) Завдання оптимального розподілу сукупності замовлень між виконавцями, коли одне замовлення повністю виконується лише одним агентом.

У загальному випадку при виборі та розподілі виконавців на замовлення необхідно мінімізувати вартісні характеристики та час виконання замовлення з одночасною максимізацією якості та кількісних характеристик виконання замовлення.

У зв'язку з цим визначено такі групи характеристик замовлення, які можуть бути як критерії оптимальності, так і обмеженнями:

- 1) вартісні характеристики замовлення;
- 2) тимчасові характеристики виконання замовлення;
- 3) характеристики якості виконання замовлення;
- 4) кількісні характеристики замовлення

Враховуючи, що повної інформації щодо незалежних та автономних виконавців та їх можливостей немає, необхідно проводити оцінку та відбір за тією інформацією, яку вони надають самі, та за зовнішніми результатами та оцінками їх діяльності.

Також виділено можливі показники стану та діяльності агента:

1) Рівень компетенції агента з конкретної сфери діяльності - може оцінюватися на основі думки інших учасників мережі, колишніх та справжніх клієнтів та замовників, незалежних експертів;

2) Надійність агента - може визначатися як відношення кількості раніше виконаних замовлень до прийнятих;

3) Потужність, потенціал та величина агента - можуть визначатися на основі виконання кількості типових замовлень за одиницю часу або наявної кількості певних ресурсів тощо;

4) Ступінь автономності (самостійності) агента - можливість виконувати певні завдання без залучення інших агентів віртуального підприємства.

За цими та іншими показниками можуть бути введені обмеження при початковому відборі потенційних виконавців замовлення з усієї сукупності агентів, а також при оптимізації розподілу замовлень. Ці критерії можуть бути вирішальними у разі виникнення «конфліктуючих» випадків, коли за всіма параметрами одне замовлення однаково можуть виконати кілька агентів.

Показник рівня компетенції агента може бути критерієм максимізації якості виконання замовлення. Тобто, для збільшення якості виконання замовлення необхідно вибирати агентів з максимальним рівнем компетенції з відповідної сфери діяльності або завдання.

Завдання розподілу замовлень може бути сформульована як завдання призначення. Класична постановка однокритеріальної задачі про призначення у дослідженні операцій полягає у знаходженні пар «виконавець - робота», які забезпечують мінімум сумарних витрат на виконання всіх робіт, причому кожен виконавець виконує лише одну роботу та для однієї роботи потрібен лише один виконавець.[79]

У загальному випадку модель розподілу замовлень має наступний вигляд:

$$L(X) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min$$

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^m x_{ij} = 1, (i = 1, n) \\ \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, (j = 1, m) \\ x_{ij} = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases} (i = 1, n; j = 1, m) \end{cases} \quad (3.1)$$

Де:

$n$  – кількість виконавців;

$m$  – кількість замовлень;

$c_{ij}$  – витрати (вартість) виконання  $j$ -го замовлення  $i$ -м виконавцем. Цей параметр також може бути компетентністю  $i$ -го виконавця при виконання  $j$ -го замовлення, або часом виконання тощо;

$x_{ij}$  – факт виконання  $j$ -го замовлення  $i$ -м виконавцем. Значення параметру дорівнює 1, якщо  $i$ -й виконавець виконує  $j$ -є замовлення, і дорівнює 0 – у зворотному випадку.

$L(X)$  – сумарне значення характеристики розподілу замовлення між агентами.

Слід зазначити, що для розв'язання цієї задачі за допомогою моделі (3.1)  $n$  має дорівнювати  $m$ . У разі розбіжності кількості агентів і замовлень необхідно ввести або фіктивні замовлення, або фіктивних виконавців з присвоєнням завідомо більших значень або зафіксувати значення  $x_{ij} = 0$ .

Представлена модель вибору агентів (3.1) є спрощеною, тому що передбачає отримання оптимального рішення тільки за одним критерієм. В реальності вибір виконавців потрібно здійснити за декілька критеріїв, а саме: вартість, компетенція виконавця, плановий час виконання етапу робіт, період можливості надання ресурсів на виконання завдання. Тому розглянемо модель врахування перших трьох критеріїв. Четвертий критерій (мінливість агента)

можна на враховувати, тому як у разі зайнятих ресурсів він не братимуть участі в «конкурсі».

Враховуючи, що значення критеріїв мають різні одиниці виміру, приведемо їх до безрозмірного вигляду та зробимо згортку з урахуванням важливості кожного критерію. В результаті отримаємо матрицю інтегральних коефіцієнтів  $K$ , елементи якої можна отримати за такою формулою:

$$K_{ij} = v_c \frac{c_{ij} - \min(C)}{\max(C) - \min(C)} + \left(1 - v_q \frac{q_{ij} - \min(Q)}{\max(Q) - \min(Q)}\right) + v_t \frac{t_{ij} - \min(T)}{\max(T) - \min(T)} \quad (3.2)$$

де:

$Q$  – матриця компетенцій агентів;

$T$  – матриця часів виконання завдання, які пропонують агенти для виконання завдання;

$v_c, v_q, v_t$  – вагові коефіцієнти, які показують важливість відповідного критерію, причому

$$v_c + v_q + v_t = 1 \quad (3.3)$$

В моделі припускаємо, що для виконання завдання відповідно етапу бізнес-процесу агент володіє достатньої кількістю ресурсів. В іншому випадку врахування браку ресурсів можна здійснити через значення компетенції, яка взагалі оцінюється на основі знань агентів-партнерів.

Кожен етап  $j$  бізнес-процесу характеризується: максимальною вартістю робіт  $Cm$ , яка визначається оціночним шляхом (без урахування вартості матеріалів); мінімальним рівнем компетенції  $Qm$ , який визначається на етапі узгодження умов і бажань замовника; максимальним часом для виконання завдання  $Tm$ . Тоді багатокритеріальна модель обрання агентів-виконавців можна скласти наступним чином:

$$\begin{aligned}
L(X) &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m K_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \\
\sum_{i=1}^n x_{ij} &= 1, (j = 1, m) \\
\sum_{i=1}^n t_{ij} x_{ij} &\leq Tm_j, (j = 1, m) \\
\sum_{i=1}^n c_{ij} x_{ij} &\leq Cm_j, (j = 1, m) \\
\sum_{i=1}^n q_{ij} x_{ij} &\geq Qm_j, (j = 1, m) \\
x_{ij} &= \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases} (i = 1, n; j = 1, m)
\end{aligned} \tag{3.4}$$

Де:

$Tm_j$  – максимальний період часу, за який потрібно виконати  $j$ -й етап бізнес-процесу

$Qm_j$  – мінімальне значення компетенції, достатньої для виконання  $j$ -го етапу бізнес-процесу

$Cm_j$  – максимальна вартість  $j$ -го етапу робіт

Модель (3.4) охоплює тільки один етап бізнес-процесу окремо, що дає можливість агентам, компетенція яких розповсюджується на все види робіт, брати участь в «конкурсі» на всіх етапах. Реалізація моделі повинна врахувати таку можливість і дати перевагу саме такому агенту.

### 3.3. Концептуальна модель інформаційної системи віртуального підприємства

Віще (п.3.1) були розглянуті етапи бізнес-процесу виконання замовлення з виготовлення меблі. Інформаційна система віртуального підприємства повинна

забезпечити оптимальний вибір виконавців з урахуванням умов та побажань клієнта (рис. 3.1).

Для автоматизації обрання виконавців, для забезпечення незалежності процесу вибору та оптимізації обрання виконавців з точки зору забезпечення необхідної якості і термінів, потрібно використати механізм багатоагентних систем (п.2).

Таким чином, кожен виконавець має створити програмного агента, який буде його представляти в системі управління. Агент повинен знати перелік компетентностей виконавця та його фінансову політику, а також ступень зайнятості виконавця у поточний момент часу.

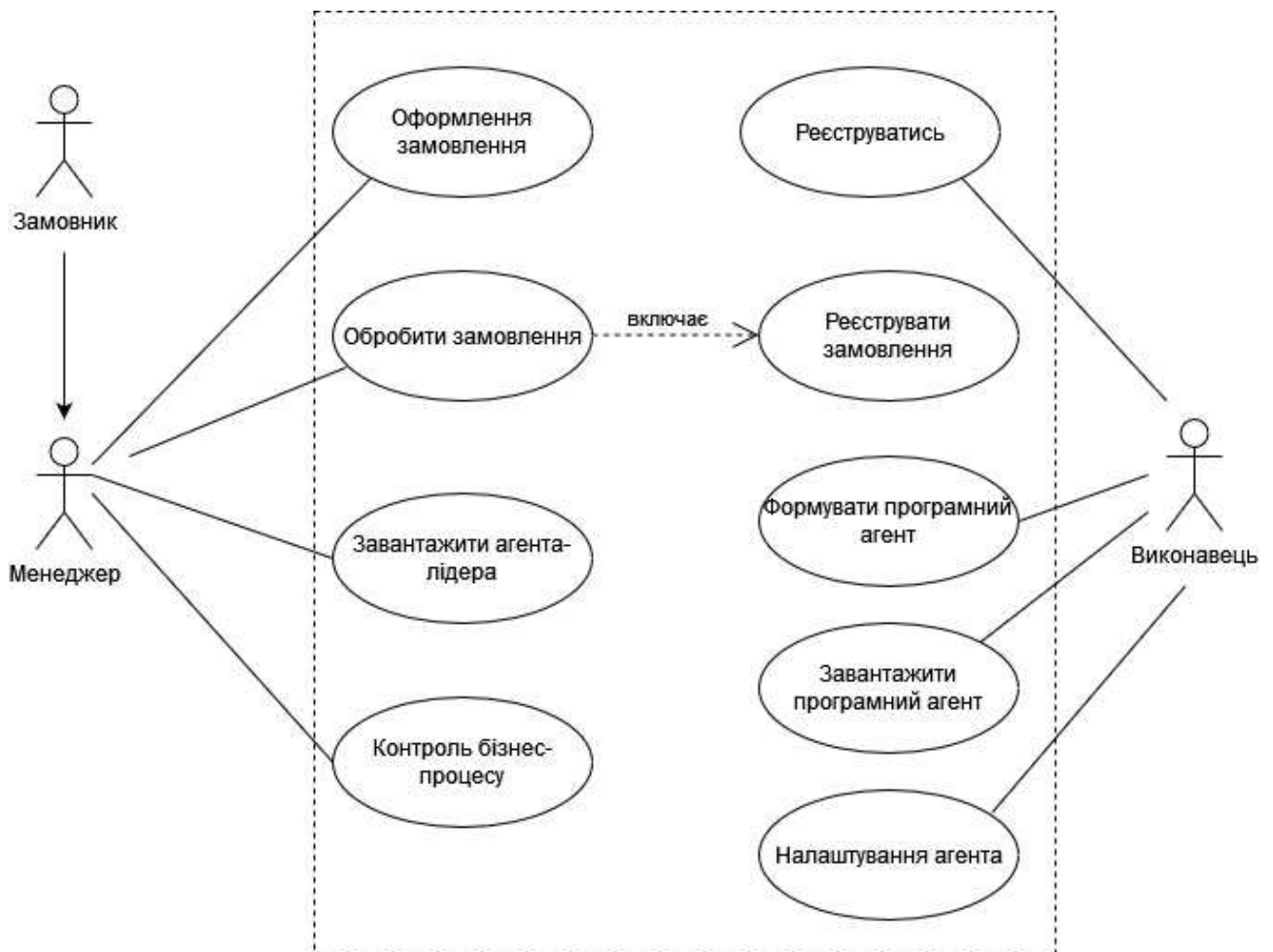


Рисунок 3.1. Концептуальна модель інформаційної системи

Менеджер забезпечує процес переговорів з клієнтом, після чого формалізуються вимоги до виробів та реєструється замовлення.

Наступні етапи виконуються програмними агентами. Менеджер повинен мати можливість втручатися в роботу інформаційної системи, однак його функції повинні бути обмежені тими, які неможливо вирішити за допомогою агентів.

У якості управляючих агентів пропонується використати двох агентів: агент-лідер і агент-менеджер. Агент-лідер призначений для вибору виконавців через спілкування з агентами виконавців. Цей агент починає працювати тоді, коли з'являється нове замовлення. Він може бути завантажений менеджером тільки на час вибору виконавців. Результатом роботи агента має бути розподіл завдань та розрахунок плану-графіку виконання етапів роботи.

Агент-менеджер повинен мониторити виконання етапів виконання замовлення та інформувати менеджера у випадку відхилення від план-графіку.

Агенти виконавців повинні знати рівень компетенцій та фінансові можливості виконавців. Завантаження агента, налаштування та фіксація даних про виконання завдань здійснюється виконавцем.

### 3.4. Висновки

Таким чином, для управління віртуальним підприємством з виготовлення меблів пропонується застосувати багатоагентну систему з наступними властивостями:

- багатоагентна система з агентом-лідером, однак лідерство — децентралізовано за функціями між двома агентами;

- централізований розподіл завдань, тобто вибір виконавців та встановлення термінів роботи здійснюється централізовано агентом-лідером;

- статична топологія, обумовлена фіксованою кількістю етапів виконання замовлення;

- організаційна структура — коаліційна, агенти об'єднуються тимчасово для виконання замовлення, однак агенти мають можливість брати участь у різних бізнес-процесах;

частота передачі даних — дискретна, обумовлена дискретним технологічним процесом;

система є гетерогенною, агенти мають різні компетенції.



## 4. ПРОЄКТУВАННЯ БАГАТОАГЕНТНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВІРТУАЛЬНИМ ПІДПРИЄМСТВОМ З ВИРОБЛЕННЯ МЕБЛІ

### 4.1. Загальносистемні рішення

На основі концепції інформаційної системи віртуального підприємства, розробленої в розділі.3, управління бізнес-процесом виконання замовлень здійснюється за допомогою багатоагентної системи, властивості якої перелічені в п. 3.4. Багатоагентна система складається з наступних агентів:

Агент виконавця, який є представником виконавця одного або декількох етапів бізнес-процесу та призначений для участі в «конкурсі» для отримання права виконати відповідне завдання;

Агент-лідер, призначений для вибору агентів в коаліцію з метою виконання замовлення;

Агент-менеджер – призначений для моніторингу виконання замовлення та оцінки роботи виконавців.

На рис. 4.1 представлена діаграма варіантів використання багатоагентної системи.

Агенти-представники виконавців (підприємства, які мають на меті долучитись до виконання замовлень) керуються відповідними менеджерами і знаходяться в визначеному стані: зайнятий або вільний на деякий період часу. Також агент повинен знати граничні показники вартості виконаних робіт, у межах яких підприємству вигідно отримати це завдання. Теж саме стосується термінів виконання завдання, які залежать від ресурсів підприємства. Можливо, підприємству ліпше відмовитись від завдання під загрозою отримати «штраф».

Агент-лідер отримує дані про замовлення і намагається сформулювати коаліцію агентів для його виконання. Очевидно, що пошук виконавців здійснюється серед існуючих агентів, зокрема з числа тих, хто готовий долучитись до коаліції. Таким чином, агент-лідер повинен вирішувати оптимізаційну задачу з метою зниження витрат, забезпечення потрібної якості, виконання замовлення у мінімальні строки. При цьому потрібно орієнтуватись

на компетенції, ресурси та рейтинг виконавців. З рис. 4.1 видно, що задача формування коаліції складається з декількох підзадач, зокрема задача послідовного опитування агентів, ведення з ними переговорів і пошуку найбільш раціонального рішення.

Коли коаліцію створено, формується календарний план-графік (мережевий графік) зі строками виконання робіт. Цей графік потрібен тому, що деякі етапи робіт виконуються паралельно, тому потрібно чітко визначити дату початку та закінчення робіт.

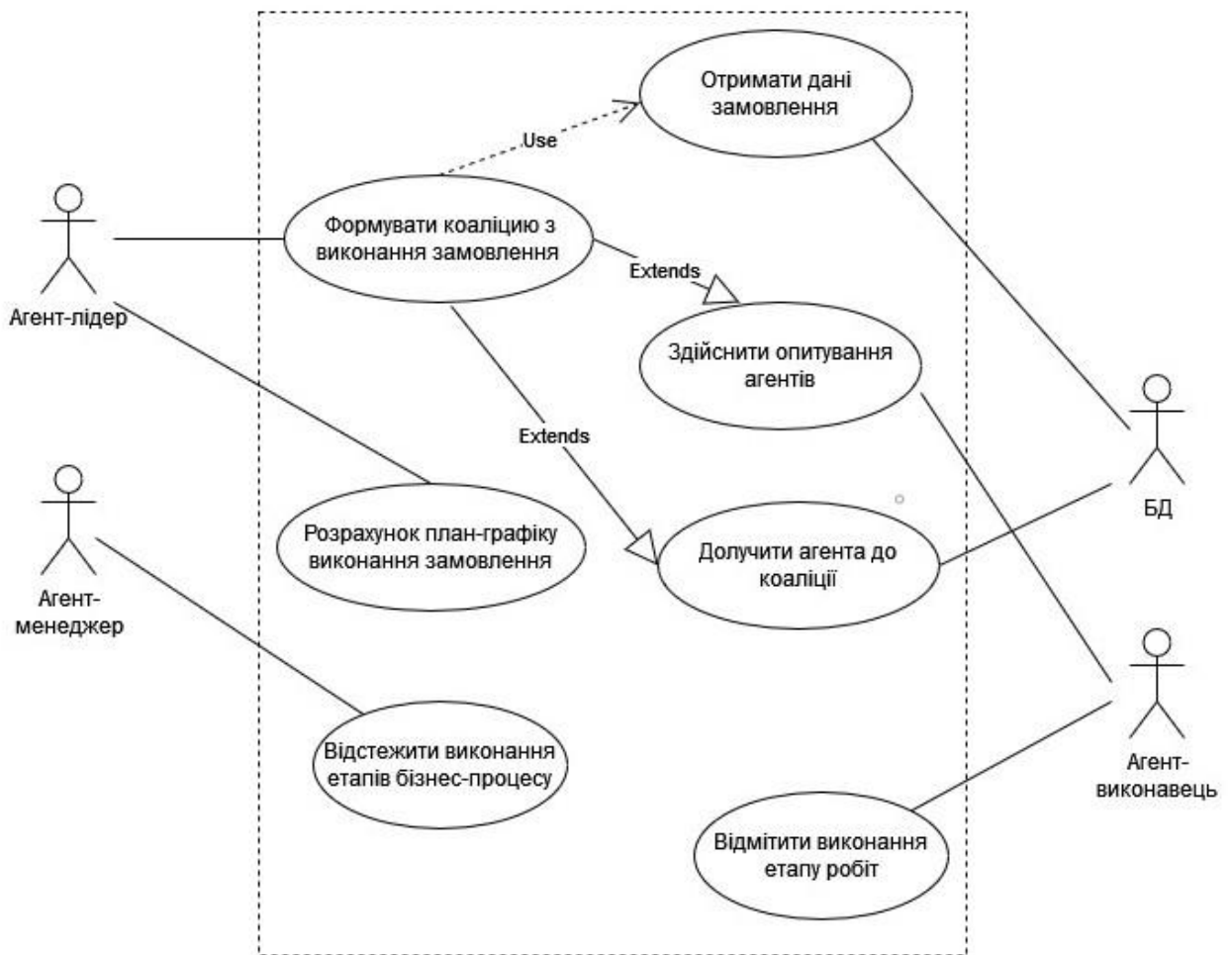


Рисунок 4.1. Діаграма варіантів використання багатоагентної системи

Агент-менеджер відстежує виконання робіт, слідкує за строками закінчення етапів робіт та передачі результатів (п.3.1) наступному виконавцю. Для цього необхідні відповідні дії з боку агентів-виконавців своєчасно відмічати події, пов'язані початком робіт, з закінченням робіт та передачею керування

наступному агенту. В іншому випадку агент-менеджер повинен надіслати повідомлення відповідним агентам-виконавцям.

#### 4.2.Рішення з інформаційного забезпечення.

##### 4.2.1. Концептуальна модель даних

Виходячи з п. 3 основними сутностями інформаційної системи для управління підприємством за допомогою агентної системи є:

- Замовник (клієнт)
- Агент;
- Компетенції;
- Замовлення;
- Етапи бізнес-процесу;
- План-графік виконання робіт;
- Коаліція агентів для виконання замовлення.

Для побудови бази даних спочатку необхідно визначити всі властивості сутностей, тобто визначити всі дані, які повністю їх характеризують.

##### *Замовник.*

Для замовника в першу чергу потрібні ідентифікаційні дані: прізвище, ім'я, по-батькові, адреса, номер телефону. Ці дані має сенс зберігати в базі даних за наступними причинами:

замовник у майбутньому потенційно може замовити ще неодноразово, тому можна застосувати до нього бонусну програму;

вирішення спірних питань щодо якості виробів протягом гарантійного терміну.

##### *Замовлення.*

Кожне замовлення прив'язується до конкретного замовника. Технічні параметри замовлення оформлюються у вигляді технічної документації та передаються проєктувальнику. В базі даних потрібні ті дані, які впливають на

подальше прийняття рішення щодо долучення агентів-виконавців до виконання замовлення. До таких даних відносяться:

- Попередня вартість замовлення, яка розраховується за середньостатистичними цінами на даний тип виробів;
- Показники якості, які узгоджені з клієнтом;
- Граничний термін виконання замовлення;
- Параметри замовлення:
  - 1) Тип меблі
  - 2) Погонна довжина
  - 3) Основний матеріал
  - 4) Рівень якості фурнітури

#### *Агент*

Вище було зазначено що агентна система має складатись з агентів, які відрізняються за функціональністю. Агент-лідер та агент-менеджер виконують управляючі функції, агент-виконавець бере участь у конкурсі за отримання для виконання етапу робіт або виконання всього замовлення. Тому в базі даних повинна бути представлені дані про саме ці агенти. До цих даних відноситься:

- Власник агента – підприємство, яке задіяно в діяльності віртуального підприємства.
- Компетенції – перелік етапів робіт, які агент може виконати. Цей перелік для даного бізнес-процесу відомий та представлений в п.3, табл. 3.1
- Стан агента – вільний чи зайнятий. Якщо агент зайнятий у поточний момент часу, є вірогідність, що він може прийняти участь у конкурсі на виконання робіт. Для цього потрібно знати терміни зайнятості, які визначаються план-графіком виконання робіт.
- Дата закінчення етапу робіт у випадку, якщо виконавець зайнятий.

#### *Етапи бізнес-процесу*

Етапи виконання робіт перелічені у п.3.1 та потрібні для формування план-графіку виконання замовлення. Кожен етап характеризується власним місцем в

загальному бізнес-процесі, можливістю паралельного виконання, тому містить такі дані:

- Назва;
- Номер в послідовності технологічних етапів;
- Номер етапу, з яким може бути виконаний паралельно.

#### *План-графік виконання робіт*

План-графік виконання робіт потрібен для відстеження процесу виконання замовлення і має бути моделлю мережевого графіку, якій містить наступні дані:

- Назва технологічного етапу робіт;
- Дата початку виконання робіт з етапу;
- Дата закінчення робіт з етапу;
- Виконавець.

Концептуальна діаграма сутність-зв'язок представлено на рис. 4.2.

На діаграмі додано сутність «Компетенції», які призначаються агентам. Кожен агент може виконати декілька видів робіт, тому він може мати декілька компетенцій. На діаграмі це зазначено відношенням «багато до багатьох» між сутностями «агент» та «компетенції».

Також на діаграмі є сутність «рейтинг», яка повинна застосовуватись протягом процесу обрання агентів для виконання замовлення. Значення рейтингу потрібно визначити з незалежних джерел, наприклад, у результаті відгуків клієнтів або інших виконавців. У зв'язку з тим, що виконавець може володіти декількома компетенціями, тому рейтинг потрібно визначити відповідно для кожної з них. Це відображено на діаграмі відношеннями «один до багатьох» між сутностями «агент» та «рейтинг» і «компетенції» та «рейтинг».

#### 4.2.2. Фізична модель даних

На основі концептуальної моделі побудуємо логічну та фізичну моделі. У даному випадку видно, що нормалізацію моделі даних потрібно здійснити тільки

для відношення «агент-компетенції», тому етап побудови логічної моделі об'єднаємо з етапом побудови фізичної моделі, яка зображено на рис. 4.3

Нормалізація моделі реалізовано шляхом додання таблиці AgentCompetence, яка поділяє відношення «багато до багатьох» на два відношення «один до багатьох». Опис даних представлений у таблиці 4.1.

*Пояснення щодо таблиці 4.1.*

Кожне підприємство на свій розсуд може бути власником одного або декількох агентів. Модель даних підтримує обидва варіанти. Агент може бути налаштований з однією компетенцією, тобто бере участь у конкурсі на один етап виконання замовлення. Також агент може бути пов'язаний з декількома компетенціями на випадок, коли підприємство має відповідні ресурси виконати декілька або всі етапи бізнес-процесу.

Рейтингова оцінка зберігається окремо від даних агента для неможливості агента вплинути безпосередньо на її значення. Однак рейтингова оцінка може вплинути на обрання агента для виконання етапу робіт, тому, незалежно від кількості компетенцій агента, оцінка розраховується окремо за кожної компетенції.

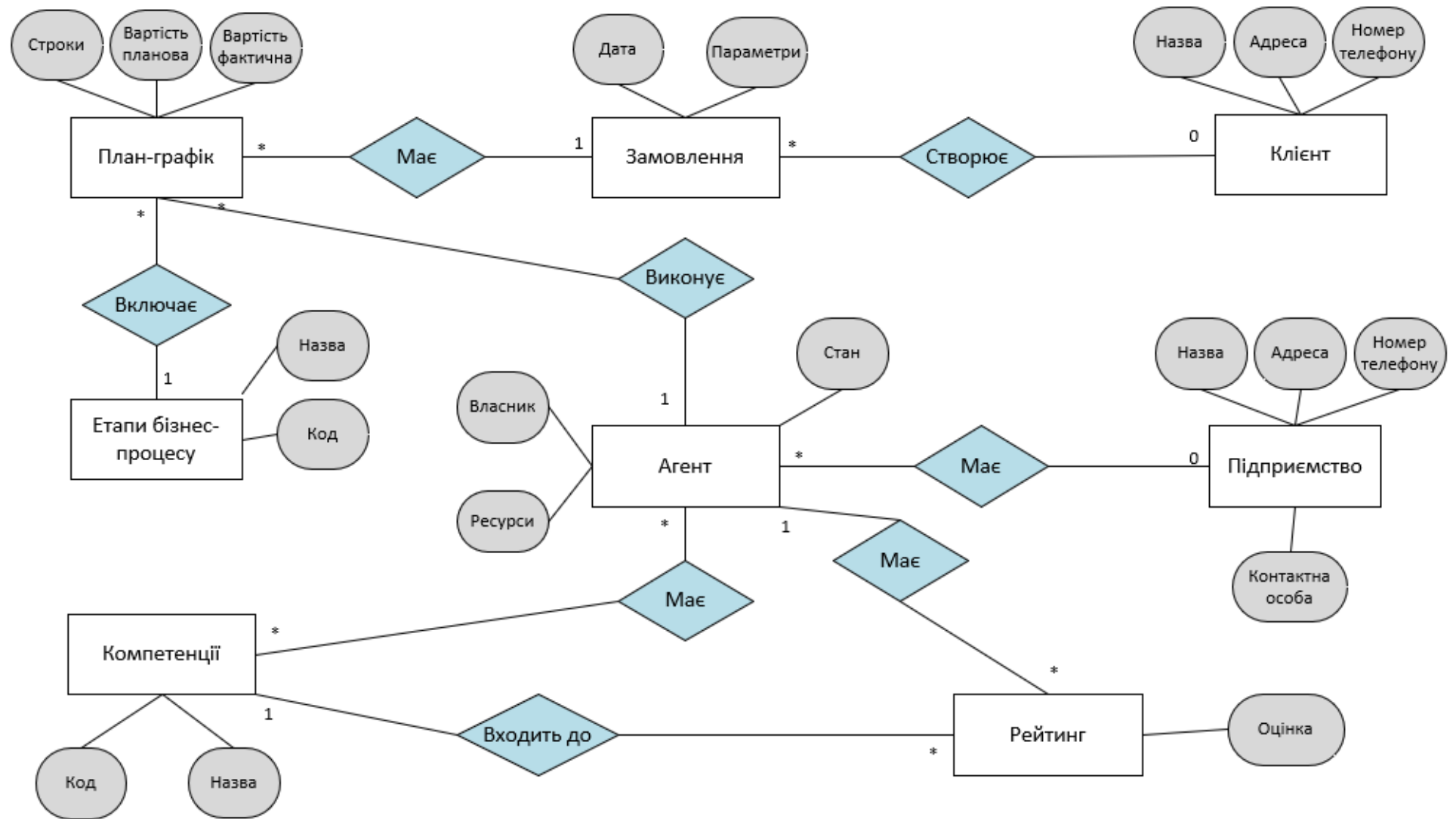


Рисунок 4.2. Концептуальна модель даних - діаграма сутність-зв'язок

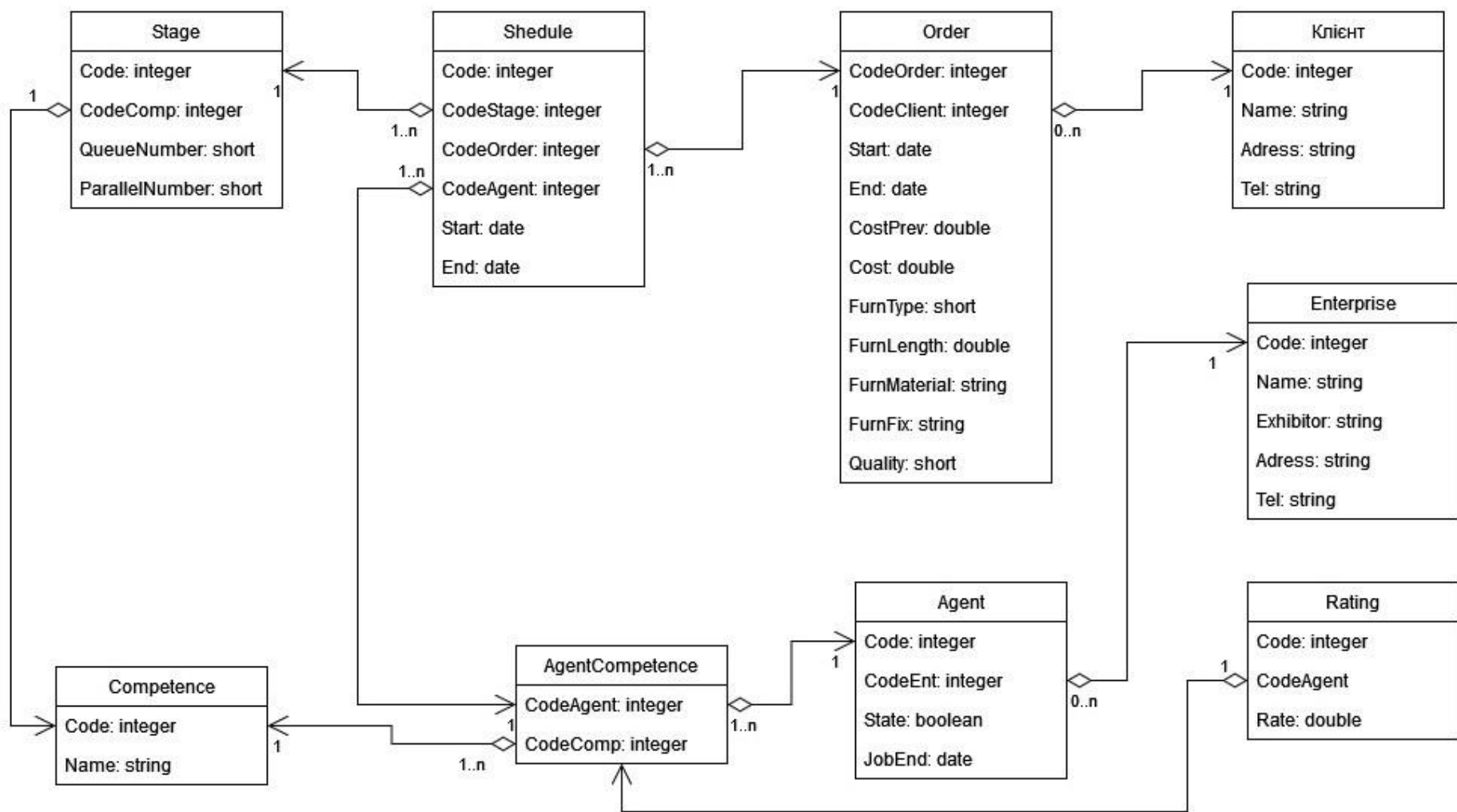


Рисунок 4.3. Фізична модель даних



Таблиця 4.1. Опис фізичної моделі даних

| Назва поля                          | Тип даних     | Коментар                                                                    |
|-------------------------------------|---------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Таблиця «Клієнт»                    |               |                                                                             |
| Code                                | integer       | Первинний ключ                                                              |
| Name                                | String        | Найменування клієнта                                                        |
| Address                             | String        | Адреса для монтажу виробів                                                  |
| Tel                                 | String        | Номер телефону для зв'язку                                                  |
| Таблиця «Order»                     |               |                                                                             |
| CodeOrder                           | Integer       | Первинний ключ                                                              |
| CodeClient                          | Integer       | Ідентифікатор клієнта з таблиці Клієнт                                      |
| Start                               | Date          | Дата початку роботи з замовленням                                           |
| End                                 | Date          | Планова дата закінчення роботи                                              |
| CostPrev                            | Double        | Попередня вартість                                                          |
| Cost                                | Double        | Фактична вартість                                                           |
| FurnType                            | Short integer | Тип меблевих виробів – умовне позначення типів: кухня, шкаф, шкаф-купе тощо |
| FurnLength                          | Double        | Погонна довжина виробу                                                      |
| FurnMaterial                        | String        | Опис основних матеріалів                                                    |
| FurnFix                             | String        | Опис фурнітури                                                              |
| Quality                             | Short integer | Умовне позначення рівня якості                                              |
| Таблиця «Enterprise» - підприємство |               |                                                                             |
| Code                                | Integer       | Первинний ключ                                                              |
| Name                                | String        | Найменування                                                                |
| Exhibitor                           | String        | Представник, контактна особа                                                |
| Address                             | String        | Адреса                                                                      |

| Назва поля                                                        | Тип даних     | Коментар                                               |
|-------------------------------------------------------------------|---------------|--------------------------------------------------------|
| Tel                                                               | String        | Номер телефону для контактів                           |
| Таблиця «Agent» - дані про агента                                 |               |                                                        |
| Code                                                              | Integer       | Первинний ключ                                         |
| CodeEnt                                                           | Integer       | Ідентифікатор підприємства-власника агента             |
| State                                                             | Boolean       | Поточний стан агента                                   |
| JobEnd                                                            | Date          | Планова дата звільнення агента якщо State = true       |
| Таблиця «Competence» - компетенції                                |               |                                                        |
| Code                                                              | Integer       | Первинний ключ                                         |
| Name                                                              | string        | Найменування технологічного етапу виконання замовлення |
| Таблиця «AgentCompetence» - зв'язок між агентами та компетенціями |               |                                                        |
| Code                                                              | Integer       | Первинний ключ                                         |
| CodeAgent                                                         | Integer       | Ідентифікатор агента в таблиці Agent                   |
| CodeComp                                                          | Integer       | Ідентифікатор компетенції в таблиці Competence         |
| Таблиця «Stage» - опис етапів бізнес-процесу                      |               |                                                        |
| Code                                                              | Integer       | Первинний ключ                                         |
| CodeComp                                                          | Integer       | Ідентифікатор компетенції в таблиці Competence         |
| QueueNumber                                                       | Short integer | Номер технологічного етапу в послідовності етапів      |
| ParallelNumber                                                    | Short integer | Номер етапу, з яким можна виконати роботи паралельно   |
| Таблиця «Shedule» - план-графік виконання етапів бізнес-процесу   |               |                                                        |

| Назва поля       | Тип даних | Коментар                                       |
|------------------|-----------|------------------------------------------------|
| Code             | Integer   | Первинний ключ                                 |
| CodeStage        | Integer   | Ідентифікатор етапу в таблиці Stage            |
| CodeAgent        | Integer   | Ідентифікатор агента в таблиці AgentCompetence |
| CodeOrder        | Integer   | Ідентифікатор замовлення в таблиці Order       |
| Start            | Date      | Дата початку робіт з етапу                     |
| End              | Date      | Планова дата закінчення робіт з етапу          |
| Таблиця «Rating» |           |                                                |
| Code             | Integer   | Первинний ключ                                 |
| CodeAgent        | Integer   | Ідентифікатор агента в таблиці AgentCompetence |
| Rate             | double    | Рейтингова оцінка                              |

#### 4.3.Рішення з математичного забезпечення

Математична модель вибору виконавців (3.4) представляє собою оптимізаційну задачу лінійного програмування. Для отримання оптимального рішення можна застосувати найбільш поширений метод гілок та меж [80, 81].

При реалізації моделі у якості компетенції у виразу (3.3) потрібно взяти значення рейтингу. Якщо рейтинг вимірюється в інтервалі  $[1...10]$ , тоді на початок роботи всім агентам можна призначити середнє значення рейтингу (5). Протягом подальшої роботи значення рейтингу буде змінюватись в залежності від відгуків клієнтів, інших виконавців, а також за оцінками менеджера віртуального підприємства в залежності від дотримання строків виконання завдань та якості робіт.

Врахування відгуків клієнтів здійснюється за виразом:

$$r = 0.2 \frac{\sum_{i=1}^n M_i}{n} - 1 \quad (4.1)$$

Де:

$n$  – кількість відгуків;

$M_i$  – оцінка з  $i$ -го відгуку в інтервалі  $[1 \dots 10]$ ;

Коефіцієнт 0.2 – забезпечує зростання або зниження рейтингу. При середньої оцінки більше 5 – рейтинг зростає, при оцінки менше 5 – рейтинг знижується.

#### 4.4.Рішення з програмного забезпечення

##### 4.4.1. Загальні відомості.

Програмне забезпечення (ПЗ) інформаційної системи складається з прикладного та загальносистемного.

Загальносистемне ПЗ призначено для управління компонентами технічного забезпечення та забезпечення функціонування прикладних програм. Для інформаційної системи віртуального підприємства до загальносистемного ПЗ відносимо операційні системи, систему управління базою даних.

Прикладне ПЗ реалізує математичне забезпечення для безпосереднього виконання проектних процедур та включає засоби обслуговування певних етапів проектування або рішення груп однотипних завдань всередині різних етапів. Таким чином, до прикладного ПЗ відносяться програмні засоби, які реалізують дії програмних агентів із засобами доступу до бази даних, а також інтерфейс користувачів.

За умовами функціонування інформаційної системи програмні засоби повинні забезпечити віддалений доступ, тому вони повинні бути багато-платформними. Відповідно, інтерфейс користувачів необхідно реалізувати як web-інтерфейс. Теж саме стосується програмних засобів агентів, тобто засоби розробки та мови програмування повинні підтримати багато-платформну концепцію.

#### 4.4.2. Система управління базами даних

Система управління базами даних (СУБД) - комп'ютерна програма або комплекс програм, що забезпечує користувача можливістю створення, зберігання, оновлення, пошуку інформації та контролю доступу до баз даних. На сьогоднішній день існує багато різних СУБД: Firebird, Interbase, MS SQL Server, MySQL, Oracle Database тощо, однак найбільш поширеною є MS SQL [82].

MySQL - компактний сервер баз даних, який характеризується великою швидкістю, стійкістю і простотою використання;

MySQL вважається гарним рішенням для малих і середніх додатків, однак використовується з успіхом також в потужних проєктах [82].

MySQL – це реляційна система управління базами даних з відкритим вихідним кодом. До переваг СУБД MySQL варто відзначити наступне:

- простота використання;
- гнучкість;
- низьку вартість володіння;
- масштабованість;
- продуктивність.

MySQL дозволяє зберігати цілочислові значення зі знаком та без знакові, довжиною в 1, 2, 3, 4 та 8 байтів, працює з рядковими та текстовими даними фіксованої та змінної довжини, дозволяє здійснювати SQL-команди SELECT, DELETE, INSERT, REPLACE та UPDATE, забезпечує повну підтримку операторів та функцій у SELECT- та WHERE- частинах запитів, працює з GROUP BY та ORDER BY, підтримує групові функції COUNT(), AVG(), STD(), SUM(), MAX() та MIN(), дозволяє використовувати JOIN у запитах, у т.ч. LEFT OUTER JOIN та RIGHT OUTER JOIN, підтримує реплікацію, транзакції, роботу із зовнішніми ключами та каскадні зміни на їх основі, а також забезпечує багато інших функціональних можливостей.

Гнучкість СУБД MySQL забезпечується підтримкою великої кількості типів таблиць: користувачі можуть вибрати як таблиці типу MyISAM, що підтримують повнотекстовий пошук, і таблиці InnoDB, підтримують транзакції

лише на рівні окремих записів. Існують інші типи таблиць, розроблені спільнотою.

Можливості сервера MySQL:

простота в установці і використанні;

підтримується необмежена кількість користувачів, що одночасно працюють з БД;

кількість рядків у таблицях може досягати 50 млн;

висока швидкість виконання команд;

наявність простої і ефективної системи безпеки.

#### 4.4.3. Розробка програмних засобів багатоагентної системи

В розділі 2 представлений аналіз існуючих засобів моделювання агентів. Безумовно, перелічені засоби дають широкі можливості моделювання будь-яких функцій агентів. Однак загальним недоліком є потреба у суттєвих ресурсах. Тому прийнято рішення у використанні базових засобів «спілкування» агентів, а саме застосування протоколів TCP та UDP стеку протоколів IP/TCP за допомогою сокетів.

Механізм сокетів [83] це одна з моделей реалізації транспортного рівня. Сокети Берклі були розроблені в операційній системі UNIX для протоколу TCP, а, пізніше вони були реалізовані в усіх сучасних операційних системах та підтримуються майже всіма мовами програмування.

Механізм сокетів являє собою гнучкий механізм для організації передачі даних між сервером і клієнтом. Спрощено сокет можна уявити як аналог відкритого файлу для запису і читання даних. Відмінність полягає в тому, що сокет створюється мережевою операційною системою по командам серверного та клієнтського додатків з подальшим встановленням з'єднання і передачі даних.

Функціонування багатоагентної системи починається з надходження замовлення. Менеджер зв'язується з агентом-лідером для внесення даних про замовлення, а згодом – для активізації пошуку виконавців, агенти яких повинні бути активовані та зареєстровані в системі. Таким чином, кожен агент повинен

мати властивості як серверу, так і клієнта, для забезпечення передачі даних як з боку користувача, так і між агентами.

Послідовність дій сутностей системи зображено на діаграмі послідовностей на рис. 4.4.

Після активації агента-лідера він отримує з бази даних перелік агентів-виконавців і починає процедуру конкурсу, відправивши агентам дані про замовлення. У відповідь агенти відправляють дані про власні компетенції, рівень вартості та строки виконання.

На основі цих даних агент-лідер розраховує коаліцію – сукупність виконавців для виконання замовлення, з використанням моделі (3.4). За деякий час агент-лідер надсилає всім агентам пропозиції щодо коригування показників з метою зниження вартості та скорочення термінів роботи. Коригування даних може здійснюватися в автоматичному режимі на основі граничних даних (див. п. 4.2) або за керуванням менеджера відповідного підприємства. Нові дані є основою для перерахунку складу коаліції.

Така послідовність дій агента-лідера повторюється до тих пір, поки оптимізаційна модель формує коаліцію з кращими показниками за вартістю, строками при збереженні вказаного рівня якості.

Для реалізації вищезазначених дій розроблена діаграма класів сутностей системи (рис. 4.5). Клас AgentBase є віртуальним і в ньому реалізовані методи мережевої взаємодії між об'єктами. Клас наслідує клас AgentMain (агент-лідер), AgentManager (агент-менеджер) та AgentWorker (агент виконавець), в яких реалізовані відповідні власні методи.

Коаліцію створює агент-лідер і передає її агенту менеджеру для спостереження за ходом виконання завдання. Коаліція доповнюється планом-графіком виконання робіт (клас Shedule)

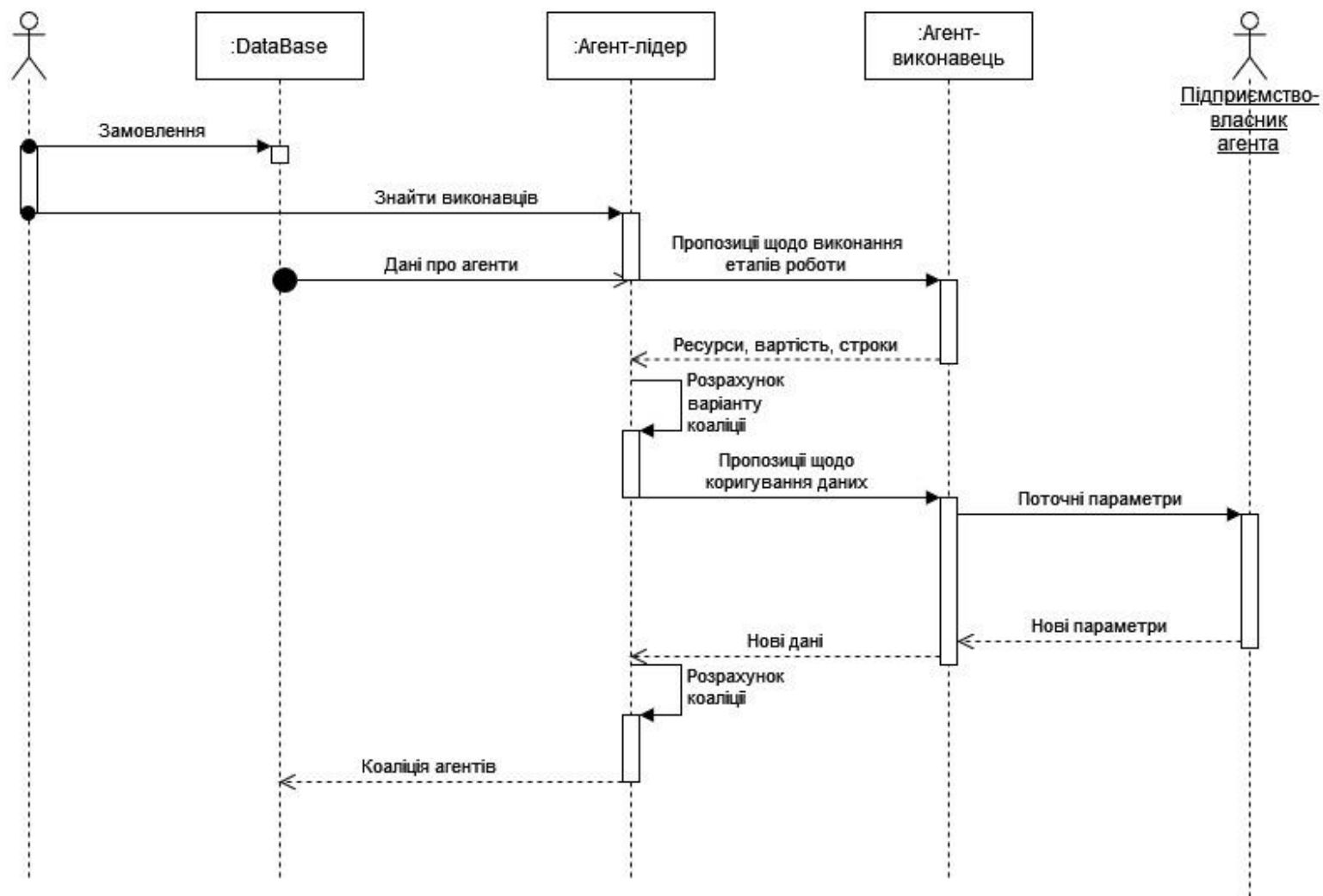


Рисунок 4.4. Діаграма послідовностей багатоагентної системи



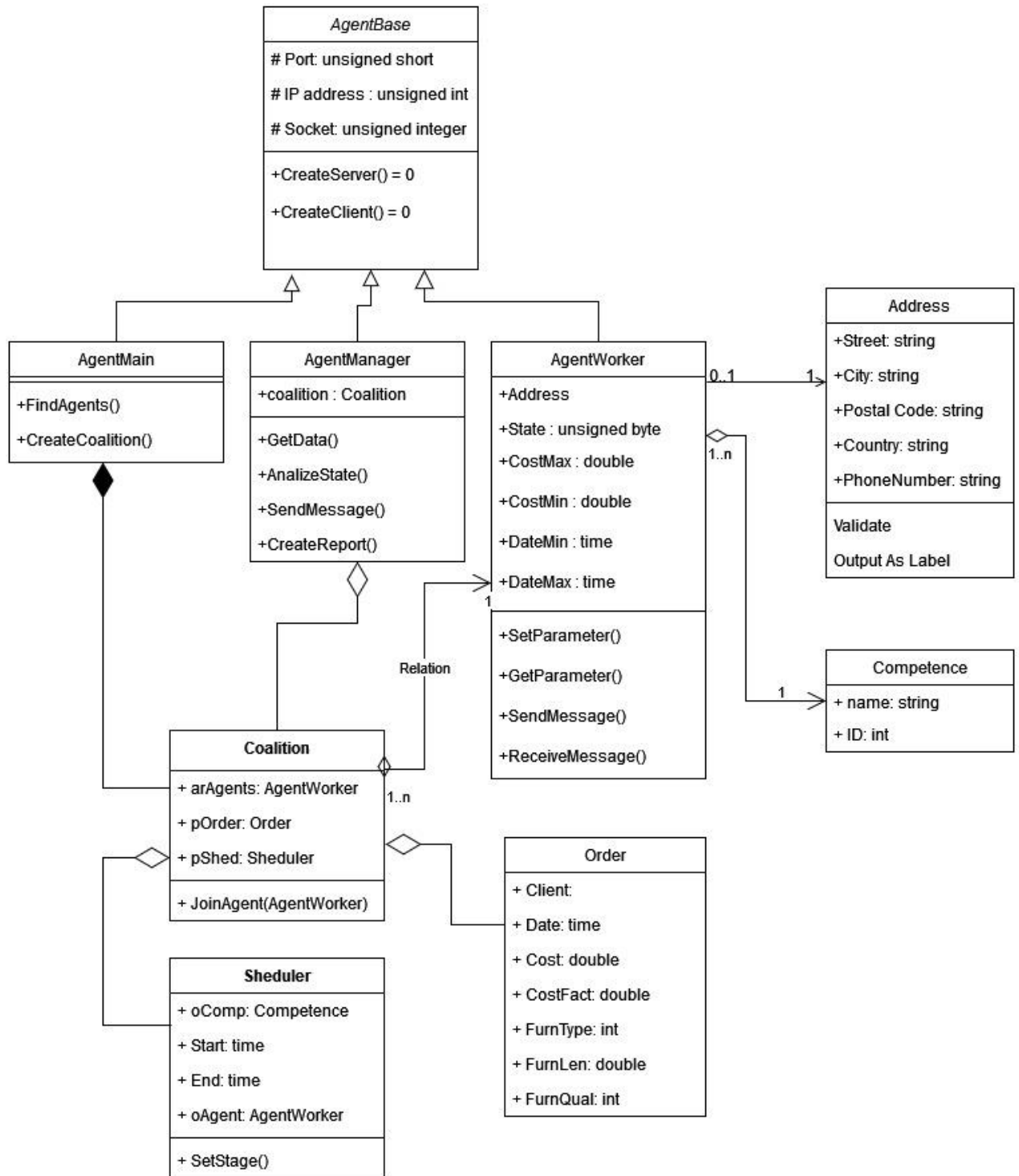


Рисунок 4.5. Діаграма класів

### *Організація взаємодії агентів*

Виходячи з п.4.4.1, покажемо реалізацію основної функції агента – налаштування серверу, отримання даних та надсилання відповідей на мові Python [84]. Інтерпретатор Python платформи незалежний і має велику кількість бібліотек для реалізації різноманітних задач, зокрема і бібліотеку для роботи з сокетом. На рис. 4.6 показано фрагмент коду на мові Python.

На рисунку показано, що використовується бібліотека `socket` (`import socket`). Сокет сервера створюється за викликом методу `socket` з параметрами, які вказують на застосування стеку протоколів TCP/IP та потокову передачу за протоколом TCP:

```
socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
```

Адреса та номер порту призначаються методом `bind`:

```
server_socket.bind(('localhost', 5000))
```

Для блокування серверу та переводу в стан очікування використовується метод `listen`:

```
server_socket.listen()
```

Метод `accept` дозволяє організувати спілкування з іншими агентами. При підключенні агента метод `accept` повертає сокет, через який у подальшому здійснюється спілкування – обмін повідомленнями. Для цього застосовуються методи `recv` та `send`.

```

import socket

def run():
    server_socket = socket.socket(socket.AF_INET,
socket.SOCK_STREAM)
    server_socket.setsockopt(socket.SOL_SOCKET,
socket.SO_REUSEADDR, 1)
    server_socket.bind(('localhost', 5000))
    server_socket.listen()

    while True:
        cli_sock, addr = server_socket.accept()
        request = cli_sock.recv(1024)
        print(request)

        print(addr)
        response = generate_response(request.decode('utf-
8'))

        cli_sock.sendall(response)
        cli_sock.close()

```

Рисунок 4.6. Фрагмент кода для налаштування серверу на мові Python

#### 4.5.Рішення з технічного забезпечення

Для функціонування системи бажано дотриматись три ланкової архітектури, при якому сервер бази даних, сервер застосунків та користувач розташовуються на різних комп'ютерах. На рис. 4.7 представлено діаграма розгортання системи.

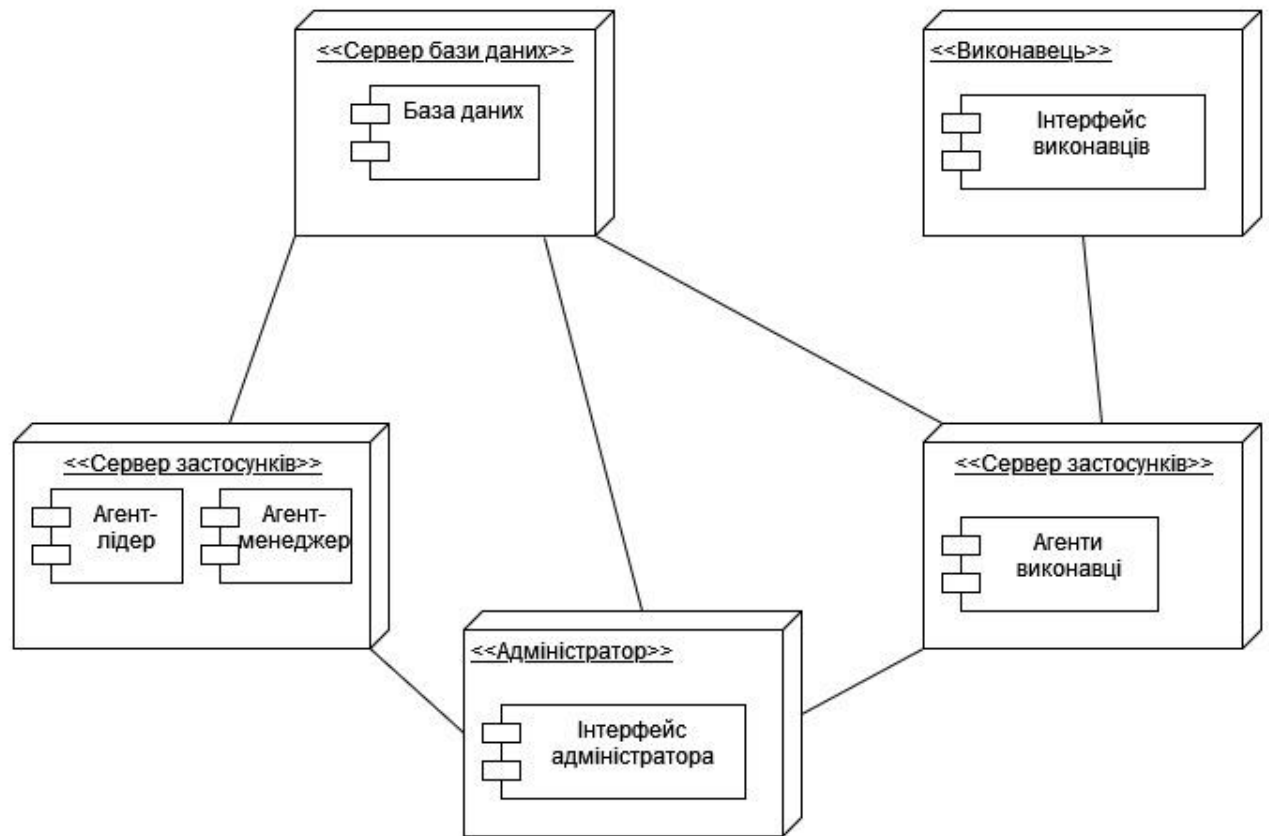


Рисунок 4.7. Діаграма розгортання системи

Сервер бази даних відокремлений від серверу застосунків, що забезпечує його незалежність та підвищує надійність системи в цілому. У зв'язку з потенційно великою кількістю агентів виконавців доречно організувати окремий або декілька серверів застосунків для їх завантаження. Це також не буде заважати роботі агенту-лідеру.

Адміністратор має доступ до всіх серверів для виконання функцій налаштування та адміністрування. Виконавець має доступ до власних агентів для налаштування параметрів

#### 4.6.Рішення з організаційного забезпечення.

Віртуальним підприємствам притаманна невелика кількість співробітників, тому як необхідні ресурси долучаються від інших підприємств і знаходяться під керівництвом відповідних власників. Для управління віртуальним підприємством з виготовлення меблі з функціональними задачами, які перелічені в розділі 1, достатньо наступних посадових осіб:

- Керівник підприємства
- Адміністратор
- Майстер з прийому замовлень

До посадових обов'язків керівника відноситься:

- загальне керівництво підприємством – організація та оснащення офісу, вирішення спірних питань;
- заключення договорів з підприємствами-виконавцями;
- звіти до фіскальних органів
- робота з клієнтами

Посадові обов'язки адміністратора полягають в забезпеченні безперебійної роботи технічних та програмних засобів, відстеження за роботою серверів, вирішення питань з хостінгом.

Майстер з прийому замовлень має бути кваліфікованим спеціалістом меблярю, тому як від його компетенції залежить коректне визначення параметрів замовлення.

## 5. ВИСНОВКИ

В роботі виконано дослідження сучасного стану меблевого виробництва, визначені тенденції розвитку меблевих підприємств, позначені основні проблеми. В результаті пропонується вирішення проблем кризового періоду через організацію віртуальних підприємств для приєднання і використання існуючих виробничих ресурсів підприємств. Для більш ефективного управління доречно застосувати принципи багатоагентних технологій.

Дослідження світового досвіду використання багатоагентних систем дозволило сформулювати та відокремити найбільш важливі властивості програмних агентів, виконати класифікацію, топологію та вивчити технології створення і функціонування агентних систем

На основі отриманих знань стосовно агентних систем розроблено концепція багатоагентної системи віртуального підприємства з виготовлення меблі. Визначено склад системи та принципи взаємодії агентів та їх функції, розроблена математична модель оптимального вибору агентів-виконавців для виконання замовлення.

Розроблені моделі злегли в основу проєкту інформаційної системи віртуального підприємства з виготовлення меблі.

## Література

1. Державна служба статистики України <http://www.ukrstat.gov.ua/>
2. Украинская Ассоциация Мебельщиков. ИССЛЕДОВАНИЯ МЕБЕЛЬНОГО РЫНКА. - Режим доступа: <https://uafm.com.ua/ru/doslidzhennya-meblevogo-ryнку/>
3. Наталія Бондаренко; Дмитро Удалих. Дослідження стану розвитку меблевої промисловості України в сучасних умовах господарювання. - Галицький економічний вісник Galician ekonomik journal, No 1 (68) 2021  
Режим доступу: [https://doi.org/10.33108/galicianvisnyk\\_tntu2021.01](https://doi.org/10.33108/galicianvisnyk_tntu2021.01). ISSN 2409-8892.
4. Mowshowitz A. Social dimensions of office automation. In Myovitz (ed.), Advances in computers. 1986, p.p. 335-404
5. Goldman S, Nagel N, Preiss K. Agile Competitors and Virtual Organizations. New York: Van Nostrand Reinhold. 1995.
6. Bleecker S.E. The virtual organization // The Futurist. 1995.- №28(2). pp. 9-14
7. Wolff M, Ki-Net – New Organizational Structures for Engineering Design, Web page. 1995
8. Coates J.F. Managing scientists in the virtual corporations // Research – Technology Management. 1994. №6, pp. 7-8
9. Tapstoff D. The Digital Economy // New York: McGraw-Hill. 1996.
10. Fisher A. A global concept – virtual companies // The Financial Times. pp. 12, 16 July 1993.
11. Byrne J.A. The virtual corporation. // Business Week. 1998. – Feb.8, pp. 98-102
12. Берко А.Ю., Висоцька В.А. Моделі та методи проектування інформаційних систем електронної контент-комерції. // Національний університет “Львівська політехніка”, 2008, № 621
13. Агниашвили Л.Г. Виртуальное предприятие: становление, сущность и преимущества // Вестник РУДН, серия Экономика. 2011, №1, с. 52-58

14. Бугорский В.Н. Сетевая экономика: учебное пособие. М: Финансы и статистика, 2008. 256 с.
15. Котляров И.Д. Ведение предпринимательской деятельности в виртуальном пространстве. // Вестник ВГУ. Серия: Экономика и управление. 2010. №2, с.9-17
16. Manufacturing Systems — Theory and Practice. By G. Chryssolouris. New York, NY: Springer Verlag, 2005. 2nd edition.
17. Computer Control of Manufacturing Systems. By Y. Koren. McGraw Hill, Inc. 1983, 287 pp, ISBN 0-07-035341-7
18. Design of Flexible Production Systems — Methodologies and Tools. By T. Tolio. Berlin: Springer, 2009. ISBN 978-3-540-85413-5
19. Дорон Майер. Workflow - Практичний посібник до творчого процесу // пер. з англ. О Пелипенко, В. Федоренко . – Видавництво ArtHuss, 2020, 304 стор.
20. M. Wooldridge, An introduction to multiagent systems. John Wiley & Sons, 2009.
21. D. Ye, M. Zhang, and A. V. Vasilakos, “A survey of self-organization mechanisms in multiagent systems,” IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 2016.
22. Ali Dorri, Salil S. Kanhere, Raja Jurdak. Multi-Agent Systems: A survey. // April 2018 IEEE Access 6:1-1 DOI:10.1109/ACCESS.2018.2831228
23. A. H. Bond and L. Gasser, Readings in distributed artificial intelligence. Morgan Kaufmann, 2014
24. A.-M. Zou, K. D. Kumar, and Z.-G. Hou, “Distributed consensus control for multi-agent systems using terminal sliding mode and Chebyshev neural networks,” International Journal of Robust and Nonlinear Control, vol. 23, no. 3, pp. 334–357, 2013
25. M. H. Bowling, “Convergence and no-regret in multiagent learning.” In NIPS, 2004, pp. 209–216.



- 26.S. Russell, P. Norvig, and A. Intelligence, "A modern approach," *Artificial Intelligence*. Prentice-Hall, Egnlewood Cliffs, vol. 25, p. 27, 1995.
- 27.D. Ye, M. Zhang, and A. V. Vasilakos, "A survey of self-organization mechanisms in multiagent systems," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 2016
- 28.A. González-Pardo, P. Varona, D. Camacho, and F. Borja Rodriguez Ortiz, "Communication by identity discrimination in bio-inspired multiagent systems," *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, vol. 24, no. 6, pp. 589–603, 2012.
- 29.A. P. Garcia, J. Oliver, and D. Gosch, "An intelligent agent-based distributed architecture for smart-grid integrated network management," in *Local Computer Networks (LCN)*, 2010 IEEE 35th Conference on. IEEE, 2010, pp. 1013–1018.
- 30.S. D. McArthur, E. M. Davidson, V. M. Catterson, A. L. Dimeas, N. D. Hatziargyriou, F. Ponci, and T. Funabashi, "Multi-agent systems for power engineering applications: Concepts, approaches, and technical challenges," *IEEE Transactions on Power systems*, vol. 22, no. 4, pp. 1743–1752, 2007.
- 31.L. Ma, H. Min, S. Wang, Y. Liu, and S. Liao, "An overview of research in distributed attitude coordination control," *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, vol. 2, no. 2, pp. 121–133, 2015.
32. Q. Song, F. Liu, H. Su, and A. V. Vasilakos, "Semi-global and global containment control of multi-agent systems with second-order dynamics and input saturation," *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, 2016.
- 33.H. Yang, B. Jiang, V. Cocquempot, and H. Zhang, "Stabilization of switched nonlinear systems with all unstable modes: application to multiagent systems," *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 56, no. 9, pp. 2230–2235, 2011.
- 34.[48] A.-R. Sadeghi, C. Wachsmann, and M. Waidner, "Security and privacy challenges in industrial internet of things," in *Design Automation Conference (DAC)*, 2015 52nd ACM/EDAC/IEEE. IEEE, 2015, pp. 1–6.

- 35.J. Bajo, F. De la Prieta, J. M. Corchado, and S. Rodríguez, "A lowlevel resource allocation in an agent-based cloud computing platform," *Applied Soft Computing*, vol. 48, pp. 716–728, 2016.
- 36.J. Fiosina and M. Fiosins, "Density-based clustering in cloud-oriented collaborative multi-agent systems," in *International Conference on Hybrid Artificial Intelligence Systems*. Springer, 2013, pp. 639–648.
- 37.J. O. Gutierrez-Garcia and K. M. Sim, "Agent-based cloud bag-of-tasks execution," *Journal of Systems and Software*, vol. 104, pp. 17–31, 2015.
- 38.A. Singh, D. Juneja, and M. Malhotra, "Autonomous agent based load balancing algorithm in cloud computing," *Procedia Computer Science*, vol. 45, pp. 832–841, 2015.
- 39.M. Gatti, P. Cavalin, S. B. Neto, C. Pinhanez, C. dos Santos, D. Gribel, and A. P. Appel, "Large-scale multi-agent-based modeling and simulation of microblogging-based online social network," in *International Workshop on Multi-Agent Systems and Agent-Based Simulation*. Springer, 2013, pp. 17–33.
- 40.L. Ma and Y. Zhang, "Hierarchical social network analysis using multiagent systems: A school system case," in *Systems, Man and Cybernetics (SMC), 2014 IEEE International Conference on*. IEEE, 2014, pp. 1412–1419.
- 41.L. Mechtri, F. D. Tolba, and S. Ghanemi, "Masid: Multi-agent system for intrusion detection in manet," in *Information Technology: New Generations (ITNG), 2012 Ninth International Conference on*. IEEE, 2012, pp. 65–70.
- 42.S. Sarika and V. Paul, "Agenttab: An agent based approach to detect tabnabbing attack," *Procedia Computer Science*, vol. 46, pp. 574–581, 2015.
- 43.A. Dorri, "An edri-based approach for detecting and eliminating cooperative black hole nodes in manet," *Wireless Networks*, vol. 23, no. 6, pp. 1767–1778, 2017.

44. G. Di Caro, M. Dorigo et al., "An adaptive multi-agent routing algorithm inspired by ants behavior," in Proceedings of PART98-5th Annual Australasian Conference on Parallel and Real-Time Systems, 1998, pp. 261–272.
45. R. Claes, T. Holvoet, and D. Weyns, "A decentralized approach for anticipatory vehicle routing using delegate multiagent systems," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 12, no. 2, pp. 364–373, 2011.
46. M. Bendjima and M. Feham, "Multi-agent system for a reliable routing in wsn," in Science and Information Conference (SAI), 2015. IEEE, 2015, pp. 1412–1419.
47. S. Manvi and M. Kakkasageri, "Multicast routing in mobile ad hoc networks by using a multiagent system," Information Sciences, vol. 178, no. 6, pp. 1611–1628, 2008.
48. Партас В.К., Кляс Е.О. Управление очередью выполнения заказов на раскрой на основе мультиагентных технологий. // Комп'ютерні науки: освіта, наука, практика: матеріали міжнародної науково-технічної конференції, 15-18 травня 2014 р. - Миколаїв: НУК, 2014, с. 132-133.
49. D. Helbing, "Agent-based modeling," in Social self-organization. Springer, 2012, pp. 25–70.
50. R. Domínguez, S. Cannella, and J. M. Framinan, "Scope: A multi-agent system tool for supply chain network analysis," in EUROCON 2015- International Conference on Computer as a Tool (EUROCON), IEEE, 2015, pp. 1–5.
51. O. Wangapisit, E. Taniguchi, J. S. Teo, and A. G. Qureshi, "Multi-agent systems modelling for evaluating joint delivery systems," Procedia-Social and Behavioral Sciences, vol. 125, pp. 472–483, 2014.
52. C. P. Nguyen and A. J. Flueck, "Agent based restoration with distributed energy storage support in smart grids," IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 3, no. 2, pp. 1029–1038, 2012.
53. P. Vytelingum, T. D. Voice, S. D. Ramchurn, A. Rogers, and N. R. Jennings, "Agent-based micro-storage management for the smart grid," in Proceedings

- of the 9th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems: Volume 1-Volume 1. International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems, 2010, pp. 39–46.
- 54.L. Ma, H. Min, S. Wang, Y. Liu, and S. Liao, “An overview of research in distributed attitude coordination control,” *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, vol. 2, no. 2, pp. 121–133, 2015.
  - 55.R. Olfati-Saber and R. M. Murray, “Consensus problems in networks of agents with switching topology and time-delays,” *IEEE Transactions on automatic control*, vol. 49, no. 9, pp. 1520–1533, 2004.
  - 56.R. Olfati-Saber, “Flocking for multi-agent dynamic systems: Algorithms and theory,” *IEEE Transactions on automatic control*, vol. 51, no. 3, pp. 401–420, 2006.
  - 57.M. Jafarian, E. Vos, C. De Persis, A. J. Van Der Schaft, and J. M. Scherpen, “Formation control of a multi-agent system subject to coulomb friction,” *Automatica*, vol. 61, pp. 253–262, 2015.
  - 58.Y. Q. Chen and Z. Wang, “Formation control: a review and a new consideration,” in *Intelligent Robots and Systems, 2005.(IROS 2005). 2005 IEEE/RSJ International Conference on*. IEEE, 2005, pp. 3181–3186.
  - 59.Y. Liu and Z. Geng, “Finite-time formation control for linear multiagent systems: A motion planning approach,” *Systems & Control Letters*, vol. 85, pp. 54–60, 2015.
  - 60.D. E. Goldberg and J. H. Holland, “Genetic algorithms and machine learning,” *Machine learning*, vol. 3, no. 2, pp. 95–99, 1988.
  - 61.K.-S. Hwang, W.-C. Jiang, and Y.-J. Chen, “Model learning and knowledge sharing for a multiagent system with dyna-q learning,” *IEEE transactions on cybernetics*, vol. 45, no. 5, pp. 978–990, 2015.

- 62.R. A. Bianchi, M. F. Martins, C. H. Ribeiro, and A. H. Costa, "Heuristically-accelerated multiagent reinforcement learning," *IEEE transactions on cybernetics*, vol. 44, no. 2, pp. 252–265, 2014.
- 63.P. Valencia, P. Lindsay, and R. Jurdak, "Distributed genetic evolution inwsn," in *Proceedings of the 9th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks*. ACM, 2010, pp. 13–23.
- 64.N. K. Krothapalli and A. V. Deshmukh, "Distributed task allocation in multi-agent systems," in *IIE Annual Conference. Proceedings*. Institute of Industrial Engineers-Publisher, 2002, p. 1.
- 65.D. S. Dos Santos and A. L. Bazzan, "Distributed clustering for group formation and task allocation in multiagent systems: A swarm intelligence approach," *Applied Soft Computing*, vol. 12, no. 8, pp. 2123–2131, 2012.
- 66.Y. Jiang and Z. Li, "Locality-sensitive task allocation and load balancing in networked multiagent systems: Talent versus centrality," *Journal of Parallel and Distributed Computing*, vol. 71, no. 6, pp. 822–836, 2011.
- 67.B. Horling and V. Lesser, "A survey of multi-agent organizational paradigms," *The Knowledge Engineering Review*, vol. 19, no. 4, pp. 281–316, 2004.
- 68.A. Esmaeili, N. Mozayani, M. R. J. Motlagh, and E. T. Matson, "The impact of diversity on performance of holonic multi-agent systems," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 55, pp. 186–201, 2016.
- 69.Y. Jung, M. Kim, A. Masoumzadeh, and J. B. Joshi, "A survey of security issue in multi-agent systems," *Artificial Intelligence Review*, vol. 37, no. 3, pp. 239–260, 2012.
- 70.X.Wang, M. Maghami, and G. Sukthankar, "Leveraging network properties for trust evaluation in multi-agent systems," in *Web Intelligence and Intelligent Agent Technology (WI-IAT)*, 2011 IEEE/WIC/ACM International Conference on, vol. 2. IEEE, 2011, pp. 288–295.

71. H. Yu, Z. Shen, C. Leung, C. Miao, and V. R. Lesser, "A survey of multiagent trust management systems," IEEE Access, vol. 1, pp. 35–50, 2013.
72. Y. F. Eddy, H. B. Gooi, and S. X. Chen, "Multi-agent system for distributed management of microgrids," IEEE Transactions on power systems, vol. 30, no. 1, pp. 24–34, 2015.
73. F. L. Bellifemine, G. Caire, and D. Greenwood, Developing multi-agent systems with JADE. John Wiley & Sons, 2007, vol. 7.
74. "GAMA, howpublished = <http://gama-platform.org/>, year=2018, note = Accessed: 2018-4-1."
75. D. Panasetsky and N. Tomin, "Using of neural network technology and multi-agent systems to preventing large-scale emergencies in electric power systems," in Energy (IYCE), 2013 4th International Youth Conference on. IEEE, 2013, pp. 1–8.
76. Технології сучасного виробництва. // Под ред. Алієва М.С. - М.: Вища школа, 2005, 298стор.
77. Войтович І.Г. Основи технології виробів з деревини: Навчальний посібник. – Львів: УкрДЛТУ, „Інтелект-Захід”, 2004. – 224 с.
78. Катаев А.В. Модели организации деятельности виртуальных организаций. // Научно-технические ведомости СПб БГУ №5, 2005 г., Экономико-математические методы и модели, с.311-315
79. Хемди А. Таха. гл 5.4 Задача о назначениях. // Введение в исследование операций. 7-е издание. Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2005.
80. Winston W.L. Introduction to Mathematical Programming: Applications and Algorithms. Boston (Mass.): PWS-KENT Publ., 1991.
81. Гэри М., Джонсон Д. Вычислительные машины и трудно решаемые задачи. -М.: Мир, 1982.
82. MySQL. Режим доступа: <https://www.mysql.com/>

- 83.Йон Снейдер Эффективное программирование TCP/IP. Пер. з англ. А. Слинкин // Серія «Бібліотека програміста». - Вид. Пітер, 2001, 356 стор.
- 84.Мэтис Эрик Изучаем Python. Программирование игр, визуализация данных, веб-приложения. — СПб.: Питер, 2017. — 496 с.: ил. — (Серия «Библиотека программиста»). ISBN 978-5-496-02305-4