

DOI: <https://doi.org/10.32782/2308-1988/2024-51-39>

УДК 004

Гужва Володимир Михайлович

кандидат економічних наук,
професор кафедри інформаційних систем в економіці,
Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0379-1480>

Volodymyr Huzhva

Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman

МУЛЬТИАГЕНТНІ СИСТЕМИ В УПРАВЛІННІ АКАДЕМІЧНИМИ УСТАНОВАМИ

MULTIAGENT SYSTEMS IN THE MANAGEMENT OF ACADEMIC INSTITUTIONS

Анотація. У статті розглянуто можливості застосування мультиагентних систем (МАС) для покращення ефективності управління академічними установами. Висвітлено головні переваги МАС, такі як адаптивність, автономність, розподіл завдань та поліпшена комунікація. Розглянуто основні виклики, пов'язані з їх впровадженням, включаючи технічні проблеми, ресурсні вимоги, етичні питання та складність моделювання. Детально описано етапи методології реалізації МАС, починаючи від аналізу потреб і проєктування до тестування, впровадження та підтримки. Наведено приклади практичного використання МАС для автоматизації створення розкладів занять та управління бібліотечними ресурсами з деталізацією структури агентів та їх ролей. Зроблено висновок, що мультиагентні системи мають значний потенціал для цифрової трансформації академічних установ, однак їх успішна інтеграція вимагає врахування технічних, організаційних та фінансових аспектів.

Ключові слова: управління, академічна установа, агент, мультиагентна система, проєкт, впровадження.

Summary. The article considers the possibilities of using multi-agent systems (MAS) to improve the efficiency of management of academic institutions. The main advantages of MAS, such as adaptability, autonomy, task distribution and improved communication, are highlighted. The main stages and individual milestones in the development of multi-agent systems (MAS) are highlighted through analysis: the formation of concepts in the context of artificial intelligence and distributed systems, the creation of algorithms for coordinating actions between agents, the formalization of their roles and interactions, the development of the first platforms for the implementation of MAS, active use in various industries, the expansion of the functionality of systems through machine learning and optimization methods, as well as the integration of MAS with cloud technologies, the Internet of Things, modern methods of artificial intelligence and blockchain technologies, which should ensure their adaptability, efficiency and security. The main challenges associated with their implementation are discussed, including technical problems, resource requirements, ethical issues and the complexity of modeling. The stages of the MAS implementation methodology are described in detail, from needs analysis and design to testing, implementation and support. Examples of practical use of MAS for automating the creation of class schedules in universities and managing library resources are given, detailing the agents' structure and roles. It is concluded that multi-agent systems have significant potential for the digital transformation of academic institutions, but their successful integration requires consideration of technical, organizational and financial aspects. The article emphasizes the importance of multi-agent systems for modern academic institutions and their potential for significantly improving management processes. The need for a comprehensive approach to the implementation and development of multi-agent systems is indicated, which takes into account technical, organizational and financial aspects.

Keywords: management, academic institution, agent, multi-agent system, project, implementation.

Постановка проблеми. Сучасні академічні установи стикаються з численними викликами, серед яких зростаюча конкуренція, необхідність підвищення ефективності управління та адаптації до швидко змінюваного освітнього середовища. У цьому контексті *мультиагентні системи (МАС)*

виступають інноваційним рішенням, яке може значно покращити процеси управління.

Традиційні методи управління, які базуються на ієрархічних структурах, часто не відповідають вимогам сучасних умов. Вони можуть бути недостатньо гнучкими для реагування на зміни

та потреби студентів, викладачів і адміністрації. Використання МАС є новим підходом до управління, який базується на дистрибуції обов'язків між автономними агентами, що можуть взаємодіяти один з одним і приймати рішення в реальному часі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За своєю суттю мультиагентні системи є програмними або апаратно-програмними системами, які складаються з кількох автономних агентів, що можуть взаємодіяти між собою для досягнення спільної мети чи виконання певних завдань [1]. В якості окремих агентів в МАС можуть бути програмні модулі або фізичні пристрої, які здатні сприймати навколишнє середовище, ухвалювати рішення на основі отриманої інформації та виконувати дії в середовищі.

До переліку основних властивостей МАС відносяться: а) *автономність*: агенти здатні працювати незалежно від центрального керування; б) *комунікація*: агенти обмінюються інформацією для досягнення координації; в) *розподіленість*: обчислення та дії виконуються розподілено серед агентів та г) *адаптивність*: система може змінювати свою поведінку залежно від змін у середовищі [2].

Історію появи та еволюцію мультиагентних систем можна представити через ряд ключових етапів (табл. 1).

Проблематика розробки та впровадження мультиагентних систем для управління навчанням в академічних установах була і є предметом досліджень багатьох закордонних і вітчизняних науковців. Так, в роботі Д. Вісенте та ін. [9]

Таблиця 1

Номер етапу	Назва етапу	Проміжні віхи	Стислий опис результатів
1	Виникнення мультиагентних систем	1) 1970-ті та 1980-ті роки – ранні дослідження	а) <i>ранні концепції</i> : ідеї мультиагентних систем почали формуватися в контексті досліджень штучного інтелекту та розподілених систем; б) <i>алгоритми координації</i> : розробка алгоритмів для координації дій між агентами, таких як алгоритми консенсусу та розподіленого планування.
		2) 1990-ті роки – формалізація та розвиток	а) <i>формалізація концепцій</i> : у 1990-х роках були формалізовані основні концепції мультиагентних систем, такі як агенти, їхні ролі та взаємодії; б) <i>платформи та інструменти</i> : розробка перших платформ та інструментів для створення мультиагентних систем, таких як JADE – Java Agent Development Framework [4].
2	Еволюція мультиагентних систем	1) 2000-ні роки – застосування та розширення	а) <i>застосування в різних галузях</i> : мультиагентні системи почали застосовуватися в різних галузях, таких як логістика, фінанси, медицина та соціальні науки; б) <i>розширення функціональності</i> : розробка нових методів та алгоритмів для покращення функціональності мультиагентних систем, таких як методи машинного навчання та оптимізації.
		2) 2010-ні роки – інтеграція з іншими технологіями	а) <i>інтеграція з хмарними технологіями</i> : мультиагентні системи почали інтегруватися з хмарними технологіями для забезпечення масштабованості та надійності; б) <i>інтеграція з IoT</i> : мультиагентні системи почали застосовуватися в контексті Інтернету речей (IoT) для управління великою кількістю пристроїв та датчиків
		3) 2020-ті роки – сучасні тенденції	а) <i>штучний інтелект та машинне навчання</i> : інтеграція мультиагентних систем з сучасними методами штучного інтелекту та машинного навчання для покращення їхньої адаптивності та ефективності; б) <i>блокчейн та децентралізовані системи</i> : використання блокчейн-технологій для забезпечення безпеки та децентралізації мультиагентних систем.

Джерело: сформовано на основі [3; 5–8]

розглядаються питання можливостей застосування мультиагентних технологій для вдосконалення процесу викладання та навчання. Стаття О. Хамалія та ін. [10] висвітлює ряд питань, пов'язаних з проектуванням, розробкою та впровадженням мультиагентних систем в навчальних закладах. Нові технології вплинули на розвиток систем електронного навчання, особливо з точки зору вдосконалення процесу навчання та більш ефективного засвоєння знань шляхом адаптації до ментальної моделі користувача. Одним з рішень складності проектування таких систем є інтеграція мультиагентної технології в системи електронного навчання. Особливостям організації і проведення електронного навчання з використанням МАС присвячена робота М. Надрльянські, Дж. Вукіча та Д. Надрльянські [11].

Дослідження авторів Н. Вісванатана С. Мічем та Ф-Ф. Адедойіні [12] орієнтоване на обґрунтування створення і впровадження мультиагентної системи як дієвого інструменту потенційного рішення для впровадження онлайн-освітньої системи з елементами адаптивності по відношенню до мінливих вимог студентської спільноти. Результатом дослідження стали пропозиції щодо проектування та моделювання зазначеної системи як окремого об'єкта, до якого можна приєднатися віртуальне навчальне середовище (ВЛЕ) з додаванням педагогічних агентів, що виконують різні функціональні ролі для формування адаптивної системи.

Є.А. Паламарчук та О.І. Денесяк [13] в своїй роботі запропонували ідею створення адаптивних агентів для систем оцінювання знань студентської аудиторії. Проблематиці застосування мультиагентних систем при підготовці фахівців з інформаційних технологій присвячена робота Л.Ф. Панченко та Н.О. Лавриненко [14].

Наведений вище аналіз робіт свідчить про те, що головним чином в них розглядалися питання щодо можливості застосування та сформульовані пропозиції щодо управління дистанційним та онлайн-навчанням. Інші сфери діяльності академічних установ – адміністративна, фінансово-господарська, науково-дослідна тощо – в контексті використання мультиагентних систем для їх управління практично не розглядаються. Це повинно стати предметом подальших досліджень і вироблення пропозицій і рекомендацій. Зокрема, потребують детального розгляду питання моделювання і проектування оптимальних структур мультиагентних систем для управління різними сферами діяльності академічних установ, а також питання ідентифікації бізнес-функціональних і не функціональних вимог до МАС в цілому та призначення окремих агентів і їх функціональних ролей зокрема.

Метою статті є дослідження потенціалу мультиагентних систем у сфері управління академіч-

ними установами. В статті повинні бути проаналізовані переваги, виклики та розглянуті підходи до впровадження МАС, а також перспективи їх розвитку в контексті освітянських інновацій.

Виклад основного матеріалу дослідження. Використання мультиагентних систем надає ряд переваг, які можуть суттєво покращити управлінські процеси в академічних установах: а) *гнучкість* – МАС здатні швидко адаптуватися до змін у середовищі. Це особливо важливо в освітньому контексті, де потреби студентів і викладачів можуть змінюватися; б) *розподіл навантаження* – завдяки дистрибуції завдань між кількома агентами МАС дозволяють зменшити навантаження на окремі елементи системи. Це забезпечує більш ефективне використання ресурсів та часу; в) *автономність агентів* – агенти, які працюють автономно, можуть приймати рішення без необхідності постійного контролю з боку адміністрації. Це знижує ймовірність помилок, пов'язаних з людським фактором; г) *покращення комунікації* – МАС забезпечують більш ефективну комунікацію між агентами, що може привести до кращої координації дій і швидшого реагування на зміни.

Впровадження мультиагентних систем (МАС) в управлінні академічними установами супроводжується певними викликами та обмеженнями, які необхідно враховувати для досягнення успішної реалізації. До їх переліку слід віднести:

1) **складність інтеграції:** а) *технічні бар'єри* – інтеграція МАС в існуючі інформаційні системи може вимагати значних змін у програмному та апаратному забезпеченнях. Це може включати модернізацію серверів, мережевих компонентів і баз даних; б) *необхідність зміни бізнес-процесів* – університетам може знадобитися перегляд своїх управлінських структур і процедур, що може викликати опір з боку персоналу; в) *міждисциплінарні знання* – успішне впровадження МАС вимагає знань у різних галузях, таких як комп'ютерні науки, управлінські науки та психологія, що може бути викликом для команди.

2) **вимоги до ресурсів:** а) *фінансові витрати* – розробка та впровадження МАС може потребувати значних інвестицій. Це включає витрати на програмне забезпечення, апаратуру, навчання персоналу та підтримку системи; б) *часові витрати* – процес впровадження може зайняти багато часу, включаючи етапи проектування, тестування та налаштування системи. Це може відволікати ресурси від інших важливих проектів; в) *підтримка та обслуговування* – після впровадження системи потрібна постійна підтримка, що вимагає додаткових ресурсів і спеціалістів.

3) **етичні питання:** а) *прийняття рішень* – використання автономних агентів для прийняття рішень може викликати занепокоєння щодо спра-

ведливості і прозорості. Чи можуть агенти приймати етичні рішення, і хто несе відповідальність за їхні дії? б) *приватність даних* – МАС можуть збирати та обробляти великі обсяги даних про студентів і викладачів. Існує ризик порушення конфіденційності та безпеки даних, якщо ці дані не будуть належним чином захищені; в) *залежність від технологій* – зростаюча залежність від технологій може призвести до зниження людського контролю над важливими управлінськими процесами

4) *технічні обмеження*: а) *складність моделювання* – розробка моделей для агентів може бути складною, оскільки потрібно враховувати багато факторів, які впливають на їхню поведінку; б) *продуктивність системи* – у великих системах з численними агентами може виникнути проблема продуктивності, що може призвести до затримок у прийнятті рішень і виконанні завдань.

Виклики та обмеження, пов'язані з впровадженням мультиагентних систем, є важливими аспектами, які повинні бути ретельно проаналізовані та враховані. Розуміння цих викликів може

дозволити академічним установам краще підготуватися до їх подолання та забезпечити ефективне використання МАС для покращення управлінських процесів.

Мультиагентні системи в управлінні академічними установами можуть значно покращити ефективність та гнучкість управлінських процесів. Методологія впровадження таких систем включає кілька ключових етапів – їх можливий перелік та опис наведені в табл. 2.

Приклади застосування мультиагентних систем для вирішення управлінських задач в академічних установах. Нижче наведено можливі приклади застосування мультиагентних систем для вирішення управлінських задач в університетах.

Кейс №1. Автоматизація формування розкладу занять в університеті за допомогою мультиагентної системи

Мультиагентна система для автоматичного генерації розкладів занять в університеті може включати кілька типів агентів, кожен з яких виконує специфічні функції. Нижче в табл. 3 наве-

Таблиця 2

Назва етапу	Перелік задач	Суть задач
1. Аналіз потреб і визначення вимог	<i>1.1. Оцінка поточних процесів</i>	Визначення основних проблем в управлінні (наприклад, складність складання розкладу, перевантаження ресурсів).
	<i>1.2. Формулювання цілей</i>	Оптимізація часу, підвищення прозорості, покращення комунікації.
	<i>1.3. Вимоги до системи</i>	Визначення функціональності агентів (моніторинг, планування, підтримка рішень). Необхідність інтеграції з іншими платформами (CRM, LMS, ERP).
2. Проектування системи	<i>2.1. Архітектура системи</i>	Вибір моделі (централізована чи децентралізована). Визначення ролей агентів (планувальники, монітори, виконавці).
	<i>2.2. Розробка сценаріїв взаємодії</i>	Опис сценаріїв роботи системи (створення розкладу, аналіз успішності, автоматичні сповіщення).
	<i>2.3. Вибір технологій</i>	Програмні платформи для розробки МАС (наприклад, JADE, NetLogo [15], AgentTool III [16] тощо).
3. Розробка та тестування	<i>3.1. Моделювання</i>	Побудова прототипу системи з базовою функціональністю.
	<i>3.2. Тестування агентів</i>	Перевірка взаємодії між агентами та точності виконання завдань
	<i>3.3. Налаштування</i>	Адаптація системи під специфіку академічної установи
4. Впровадження	<i>4.1. Пілотний запуск</i>	Тестування системи на одному з підрозділів установи
	<i>4.2. Навчання персоналу</i>	Інструктаж для викладачів, студентів і адміністративного персоналу
	<i>4.3. Оцінка ефективності</i>	Аналіз результатів пілотного впровадження та внесення змін
5. Постійна підтримка та розвиток	<i>5.1. Моніторинг роботи системи</i>	Виявлення помилок, забезпечення безперервної роботи
	<i>5.2. Оновлення</i>	Додавання нових функцій, інтеграція з новими технологіями

Джерело: сформовано автором

Таблиця 3

№ п.п.	Назва агенту	Функції агенту
1	<i>Агент керування (Management Agent)</i>	а) генерація початкового розкладу на основі вхідних даних (наприклад, список курсів, викладачів, аудиторій); б) оптимізація розкладу з урахуванням обмежень (наприклад, доступність викладачів, розмір аудиторій, часові рамки); в) вирішення конфліктів у розкладі (наприклад, перекриття занять, недостатня кількість аудиторій).
2	<i>Агент розкладу (Scheduling Agent)</i>	а) генерація початкового розкладу на основі вхідних даних (наприклад, список курсів, викладачів, аудиторій); б) оптимізація розкладу з урахуванням обмежень (наприклад, доступність викладачів, розмір аудиторій, часові рамки); в) вирішення конфліктів у розкладі (наприклад, перекриття занять, недостатня кількість аудиторій).
3	<i>Агент викладачів (Instructor Agent)</i>	а) управління розкладом викладачів; б) врахування побажань та обмежень викладачів (наприклад, час доступності, переваги щодо аудиторій); в) взаємодія з агентом розкладу для передачі інформації про доступність викладачів.
4	<i>Агент аудиторій (Room Agent)</i>	а) управління розкладом аудиторій; б) врахування обмежень аудиторій (наприклад, розмір, наявність необхідного обладнання); в) взаємодія з агентом розкладу для передачі інформації про доступність аудиторій.
5	<i>Агент студентів (Student Agent)</i>	а) управління розкладом студентів; б) врахування побажань та обмежень студентів (наприклад, час доступності, переваги щодо аудиторій); в) взаємодія з агентом розкладу для передачі інформації про доступність студентів.
6	<i>Агент обмежень (Constraint Agent)</i>	а) відстеження та управління обмеженнями системи (наприклад, часові рамки, доступність ресурсів); б) взаємодія з іншими агентами для передачі інформації про обмеження; в) вирішення конфліктів, пов'язаних з обмеженнями.
7	<i>Агент оптимізації (Optimization Agent)</i>	а) оптимізація розкладу з урахуванням різних критеріїв (наприклад, мінімізація конфліктів, максимізація використання ресурсів); б) використання алгоритмів оптимізації (наприклад, генетичні алгоритми, симуляційне моделювання) для покращення розкладу; в) взаємодія з агентом розкладу для передачі оптимізованого розкладу.
8	<i>Агент звітування (Reporting Agent)</i>	а) генерація звітів про стан системи та розклад; б) взаємодія з користувачами для надання звітів та аналізу; в) виявлення та повідомлення про потенційні проблеми та конфлікти.

Джерело: сформовано автором

дено можливий склад такої МАС – перелік окремих агентів – та функцій ролей таких агентів у системі.

Агенти можуть взаємодіяти між собою за допомогою повідомлень та протоколів комунікації. Наприклад, агент розкладу може запитувати інформацію про доступність викладачів у агента викладачів, а агент оптимізації може передавати оптимізований розклад агенту розкладу. Процес роботи системи може бути таким:

1. Агент керування отримує вхідні дані від користувачів (наприклад, список курсів, викладачів, аудиторій).

2. Агент розкладу генерує початковий розклад на основі вхідних даних.

3. Агент обмежень передає інформацію про обмеження агенту розкладу.

4. Агент оптимізації оптимізує розклад з урахуванням обмежень.

5. Агент звітування генерує звіт про розклад та передає його користувачам.

Така структура дозволяє ефективно розподіляти задачі між агентами та забезпечує гнучкість та масштабованість системи. Спроекувати та реалізувати мультиагентну систему для автома-

тичного генерації розкладів занять в університеті можна на основі платформи JADE (Java Agent DEvelopment Framework). На рис. 1, а–в, наведено робочі вікна реалізації такого проекту.

Кейс № 2. Автоматизація управління бібліотечними ресурсами в університеті за допомогою мультиагентної системи

Мультиагентна система для управління бібліотечними ресурсами в університеті може включати кілька типів агентів, кожен з яких виконує специфічні функції. Структура такої МАС та функцій окремих її агентів описані в табл. 4.

Агенти взаємодіють між собою за допомогою повідомлень та протоколів комунікації. Наприклад, агент користувачів може запитувати інформацію про наявність ресурсів у агента каталогу, а агент замовлень може передавати інформацію про статус замовлень агенту користувачів. Процес роботи такої МАС може включати такі кроки:

1. Користувач робить запит на пошук книги через агента користувачів.

2. Агент користувачів передає запит агенту каталогу.

3. Агент каталогу шукає книгу та повертає результат агенту користувачів.

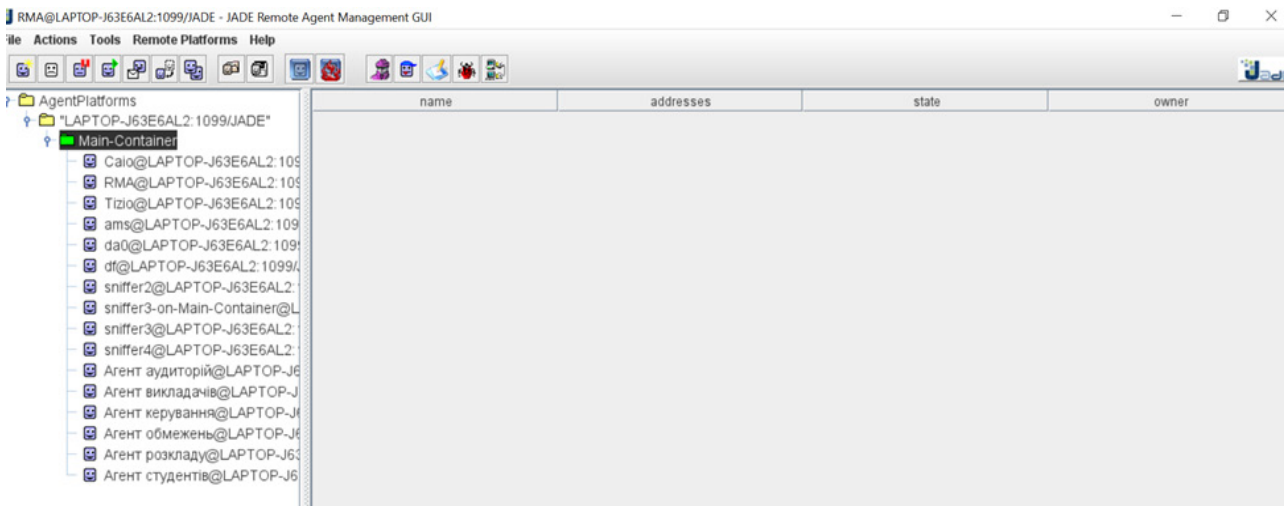
4. Користувач робить замовлення на книгу через агента замовлень.

5. Агент замовлень перевіряє наявність книги через агент каталогу та оновлює статус замовлення.

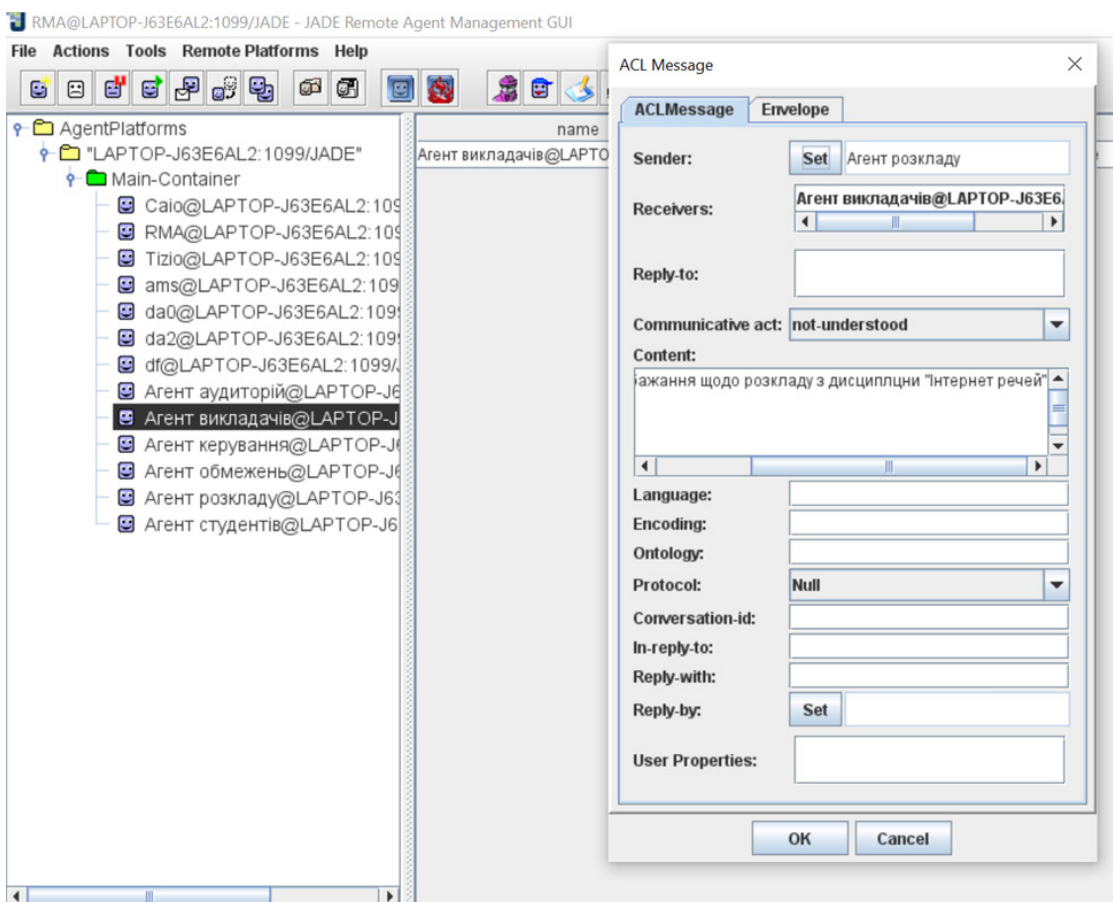
6. Користувач повертає книгу через агента повернень.

7. Агент повернень оновлює статус книги у каталозі.

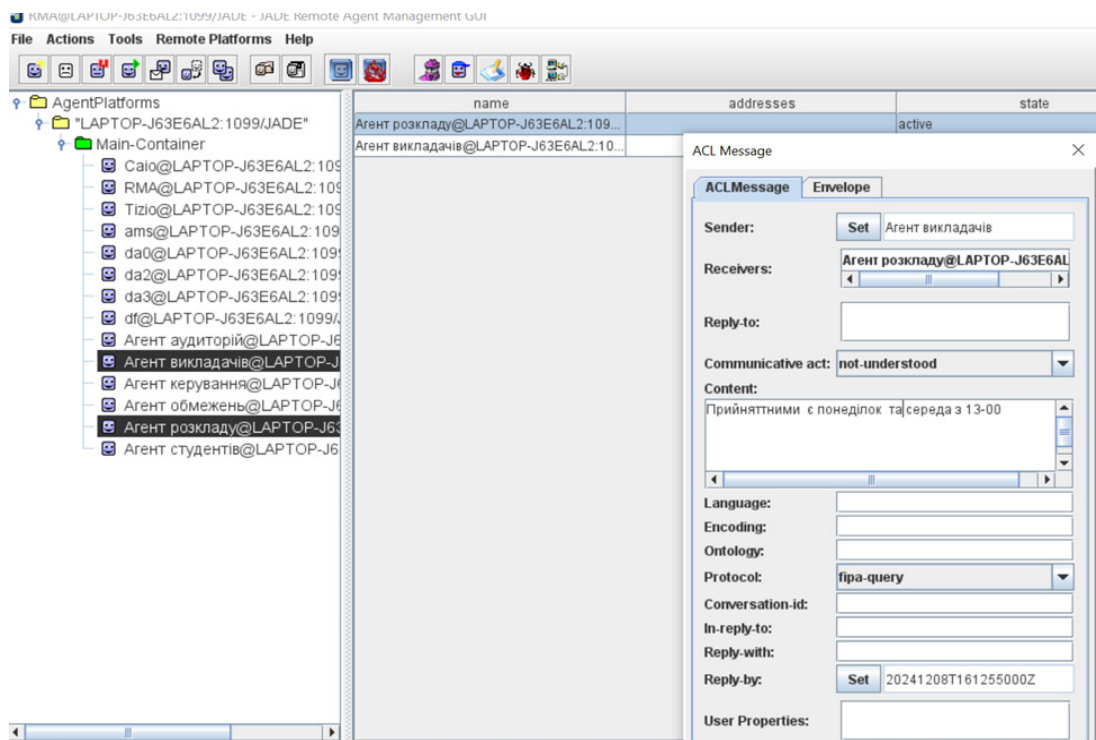
Така структура дозволяє ефективно розподіляти задачі між агентами та забезпечує гнучкість та масштабованість системи. На рис. 2 наведено діаграму агентів цієї MAC, спроектовану за допомогою платформи AgentTool III.



а)



б)



в)

Рисунок 1 – Фрагменти реалізації проекту мультиагентної системи для формування розкладу занять в університеті на основі JADE-платформи

Таблиця 4

№ п.п.	Назва агенту	Функції агенту
1	<i>Агент керування (Management Agent)</i>	а) координація та управління взаємодією між іншими агентами; б) моніторинг стану системи та виявлення проблем; в) прийняття рішень на високому рівні, таких як пріоритетизація задач; г) взаємодія з користувачами для отримання вхідних даних та налаштувань.
2	<i>Агент каталогу (Catalog Agent)</i>	а) управління каталогом бібліотечних ресурсів (книги, журнали, електронні ресурси); б) оновлення інформації про наявність та статус ресурсів; в) пошук ресурсів за запитами користувачів; г) взаємодія з іншими агентами для передачі інформації про ресурси.
3	<i>Агент користувачів (User Agent)</i>	а) управління обліковими записами користувачів (студенти, викладачі, співробітники); б) обробка запитів користувачів на пошук, замовлення та повернення ресурсів; в) відстеження історії запитів та поведінки користувачів; г) взаємодія з агентом каталогу для отримання інформації про ресурси.
4	<i>Агент замовлень (Order Agent)</i>	а) обробка замовлень на ресурси (книги, журнали); б) відстеження статусу замовлень (замовлено, в процесі, виконано); в) взаємодія з агентом каталогу для перевірки наявності ресурсів; г) взаємодія з агентом користувачів для оновлення статусу замовлень.
5	<i>Агент повернень (Return Agent)</i>	а) обробка повернень ресурсів; б) оновлення статусу ресурсів у каталозі; в) відстеження термінів повернення та накладення штрафів за запізнення; г) взаємодія з агентом каталогу для оновлення інформації про ресурси.
6	<i>Агент резервування (Reservation Agent)</i>	а) обробка резервувань ресурсів (наприклад, книги, які зарезервовані для майбутнього використання); б) відстеження статусу резервувань; в) взаємодія з агентом каталогу для перевірки наявності ресурсів; г) взаємодія з агентом користувачів для оновлення статусу резервувань.
7	<i>Агент звітування (Reporting Agent)</i>	а) генерація звітів про стан системи та використання ресурсів; б) взаємодія з користувачами для надання звітів та аналізу; г) виявлення та повідомлення про потенційні проблеми та конфлікти.
8	<i>Агент оптимізації (Optimization Agent)</i>	а) оптимізація розподілу ресурсів з урахуванням різних критеріїв (наприклад, мінімізація часу очікування, максимізація використання ресурсів); б) використання алгоритмів оптимізації для покращення управління ресурсами; в) взаємодія з іншими агентами для передачі оптимізованої інформації.

Джерело: сформовано автором

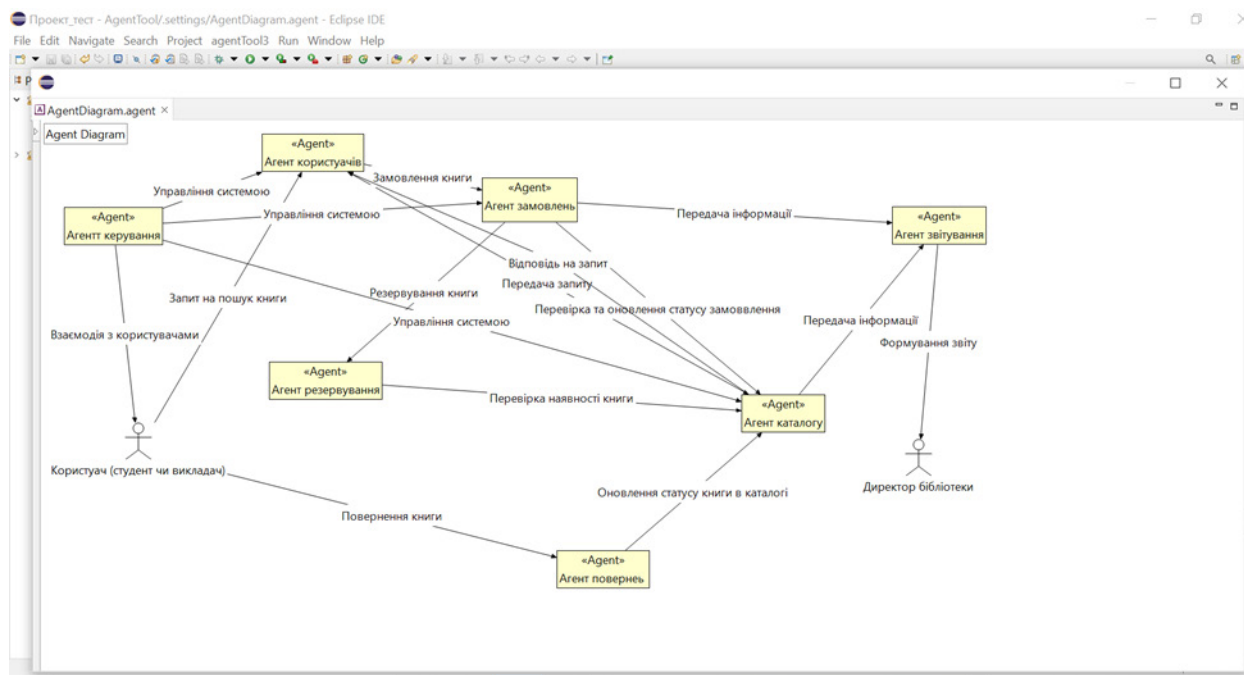


Рисунок 2 – Діаграма агентів МАС для управління бібліотечними ресурсами в університеті

Висновки. Мультиагентні системи представляють собою інноваційний інструмент, який може радикально змінити підхід до управління академічними установами. Вони сприяють підвищенню ефективності, зменшенню витрат і створенню

персоналізованого освітнього досвіду. Однак для їх успішного впровадження необхідно врахувати технічні, організаційні та фінансові аспекти, а також розвивати міжнародну співпрацю та стандартизацію.

Список використаних джерел:

1. Gerhard Weiss. Multiagent Systems, second edition. Intelligent Robotics and Autonomous Agents series. MIT Press, 2013. 920p.
2. Ferber, Jacques. Multi-agent systems: an introduction to distributed artificial intelligence. – Harlow : Addison-Wesley, 1999. 509p.
3. Michael Wooldridge. An Introduction to MultiAgent Systems. Second Edition, Publisher Wiley, 2013. 488 p.
4. Agent DEvelopment Framework (JADE). URL: <https://jade.tilab.com/>
5. A Multi-Agent based Architecture for Cloud Infrastructure Auto-adaptation. Topics: Cloud Computing Architecture; Cloud Delivery Models; Cloud Optimization and Automation; Cloud Risk, Challenges, and Governance; Collective Intelligence/Crowd Computing. In Proceedings of the 3rd International Conference on Cloud Computing and Services Science CLOSER. Aachen, Germany. 2013. Volume 1. P. 90–95.
6. Toward a Methodology of IoT-a: Embedded Agents for the Internet of Things – Nasreddine Bouhaï, Imad Saleh. Internet of Things: Evolutions and Innovations First published: John Wiley & Sons, Inc, 30 October 2017. 246 p. Toward a Methodology of IoT-a: Embedded Agents for the Internet of Things/ Valérie Renault, Florent Carlier. P. 97–115.
7. Wenhui Fan; Peiyu Chen; Daiming Shi; Xudong Guo; Li Kou.] Multi-agent modeling and simulation in the AI age. Published in: Tsinghua Science and Technology. Volume 26. Issue 5. October 2021. Pp. 608–624.
8. Davide Calvaresi, Alevtina Dubovitskaya, Jean Paul Calbimonte. Kuldar Taveter and Michael Schumacher. Multi-Agent Systems and Blockchain: Results from a Systematic Literature Review In book: Advances in Practical Applications of Agents, Multi-Agent Systems, and Complexity: The PAAMS Collection. Pp. 110–126.
9. Vicente D., Vasconcelos J. and Restivo F. Multi-agent systems in education. 6th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI 2011). Chaves, Portugal, 2011. Pp. 1–6.
10. Hamal, O., El Faddouli, N.E., & Harouni, M.H.A. Design and implementation of the multi-agent system in education. *World Journal on Educational Technology: Current*. 2021. Issues 13(4). Pp. 775–793. DOI: <https://doi.org/10.18844/wjet.v13i4.6264>
11. Nadrljanski M., Vukić Đ. and Nadrljanski D. Multi-agent systems in e-learning. 41st International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO). Opatija, Croatia, 2018. Pp. 990–995. DOI: <https://doi.org/10.23919/MIPRO.2018.840018>
12. Nethra Viswanathan, Sofia Meacham, Festus Fatai Adedoyin. Enhancement of online education system by using a multi-agent approach. *Computers and Education: Artificial Intelligence*. 2022. Volume 3. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100057>

13. Паламарчук С.А., Денесяк О.І. Побудова агентної моделі з адаптаційними властивостями в інформаційних технологіях аналізу контексту в системах оцінювання знань. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2023. № 5. С. 32–40.
14. Панченко Л.Ф. та Лавриненко Н.О. Проблеми застосування мультиагентних систем у підготовці майбутніх фахівців з інформаційних технологій. *Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету*. 2015. Випуск 3. С. 230–234.
15. NetLogo Home Page – Northwestern University. URL: <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>
16. AgentTool III Homepage. URL: <https://agenttool.cs.ksu.edu/>

References:

1. Gerhard Weiss (2013) Multiagent Systems, second edition. Intelligent Robotics and Autonomous Agents series. MIT Press, 920 p.
2. Ferber, Jacques (1999) Multi-agent systems: an introduction to distributed artificial intelligence. Harlow Addison-Wesley, 509 p.
3. Michael Wooldridge (2013) An Introduction to MultiAgent Systems. Second Edition, Publisher Wiley, 488 p.
4. Agent DEvelopment Framework (JADE). Available at: <https://jade.tilab.com/>
5. A Multi-Agent based Architecture for Cloud Infrastructure Auto-adaptation. Topics: Cloud Computing Architecture; Cloud Delivery Models; Cloud Optimization and Automation; Cloud Risk, Challenges, and Governance; Collective Intelligence. Crowd Computing. In Proceedings of the 3rd International Conference on Cloud Computing and Services Science CLOSER. (2013) Aachen, Germany. Volume 1. P. 90–95.
6. Toward a Methodology of IoT-a: Embedded Agents for the Internet of Things – Nasreddine Bouhaï, Imad Saleh. Internet of Things: Evolutions and Innovations First published: John Wiley & Sons, Inc. (October 30, 2017). 246 p. Toward a Methodology of IoT-a: Embedded Agents for the Internet of Things. Valérie Renault, Florent Carlier. pp. 97–115.
7. Wenhui Fan, Peiyu Chen, Daiming Shi, Xudong Guo, Li Kou (October 5, 2021) Multi-agent modeling and simulation in the AI age. Published in: Tsinghua Science and Technology. volume 26, pp. 608–624.
8. Davide Calvaresi, Alevtina Dubovitskaya, Jean Paul Calbimonte, Kuldar Taveter and Michael Schumacher. Multi-Agent Systems and Blockchain: Results from a Systematic Literature Review In book: Advances in Practical Applications of Agents, Multi-Agent Systems, and Complexity: The PAAMS Collection, pp. 110–126.
9. Vicente D., Vasconcelos J. and Restivo F. (2011) Multi-agent systems in education. 6th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI 2011), Chaves, Portugal, pp. 1–6.
10. Hamal, O., El Faddouli, N. E., & Harouni, M. H. A., (2021) Design and implementation of the multi-agent system in education. World Journal on Educational Technology: Current, issues 13(4), pp. 775–793. DOI: <https://doi.org/10.18844/wjet.v13i4.6264>
11. Nadrljanski M., Vukić Đ. and Nadrljanski D. (2018) Multi-agent systems in e-learning. 41st International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO). Opatija, Croatia, pp. 990–995. DOI: <https://doi.org/10.23919/MIPRO.2018.840018>
12. Nethra Viswanathan, Sofia Meacham, Festus Fatai Adedoyin (2022) Enhancement of online education system by using a multi-agent approach. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, volume 3. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100057>
13. Palamarchuk Y. A., Denesiak O. I. (2023) Pobudova ahentnoi modeli z adaptatsiinymy vlastyivostiamy v informatsiinnykh tekhnolohiiakh analizu kontekstu v systemakh otsiniuvannia znan. *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*. no. 5 pp. 32–40.
14. Panchenko L. F. ta Lavrynenko N. O. (2015) Problemy zastosuvannia multyahentnykh system u pidhotovtsi maibutnykh fakhivtsiv z informatsiinnykh tekhnolohii. *Naukovi zapysky Berdianskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu*. is. 3, pp. 230–234.
15. NetLogo Home Page – Northwestern University. Available at: <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>
16. AgentTool III Homepage. Available at: <https://agenttool.cs.ksu.edu/>

Стаття надійшла до редакції 13.12.2024