

УДК 005:623

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2026.1\(49\).65-75](https://doi.org/1034169/2414-0651.2026.1(49).65-75)**В. І. СЛЮСАР**, доктор технічних наук, професор  
<https://orcid.org/0000-0002-2912-3149>

(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних сил України, м. Київ)

## МУЛЬТИАГЕНТНА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ВИПРОБУВАНЬ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

У статті запропоновано мультиагентну систему підтримки випробувань ОВТ, яка складається з низки спеціалізованих інтелектуальних агентів. Така система дозволяє перевести випробування з повільного послідовного режиму у швидкий ітеративний цикл із автоматизованою генерацією сценаріїв, безперервним збором і аналізом даних, напівавтоматичною звітністю й контрольованою логістикою. В результаті можуть бути створені передумови для скорочення строків впровадження нових зразків ОВТ без компромісів щодо безпеки, відтворюваності та відповідності нормативним вимогам.

**Ключові слова:** штучний інтелект, мультиагентні системи, великі мовні моделі.

### ВСТУП

Зростання обсягів та складності завдань з випробувань озброєння та військової техніки (ОВТ) в умовах обмежених ресурсів призводить до необхідності удосконалення відповідної методології з метою мінімізації витрат та запобігання зниженню якості результатів процесного менеджменту.

Відповідні зусилля завжди були в фокусі діяльності усіх ланок системи розробки ОВТ, особливо задіяних в ній науково-дослідних установ. Головний тренд при цьому полягає в переході до застосування технологій штучного інтелекту, розвиток яких породжує кардинальні трансформації в усіх сферах суспільства [1–4]. Зокрема, згідно з [5] кращі великі мовні моделі (LLM) вже наближаються за якістю виконання робіт до рівнів галузевих експертів. Автори [5] відзначили, що модель Claude Opus 4.1 зайняла перше місце за кількістю переваг або нічиїх у 47,6 % тестів порівняно з роботою, виконаною людиною. За цією LLM слідує GPT-5-high з 38,8 % і o3 high з 34,1 %. Відповідні дані отримані за допомогою розробленого компанією OpenAI бенчмарку GDPval для 1230 реальних задач економіки, сформованих безпосередньо з досвіду кращих фахівців широкого спектра професій і секторів, на долю яких припадає найбільший внесок у ВВП США. Кожне завдання GDPval спиралося на конкретні результати діяльності, наприклад, юридичний сервіс, інженерний проект, бесіду зі службою технічної підтримки. Завдання були ретельно

відпрацьовані та перевірені досвідченими експертами з середнім стажем роботи у відповідній сфері 14 років. При цьому з'ясувалося, що ШІ здатен виконувати роботу в 44 професіях з 9 галузей економіки приблизно у 100 разів швидше і в 100 разів дешевше ніж людина.

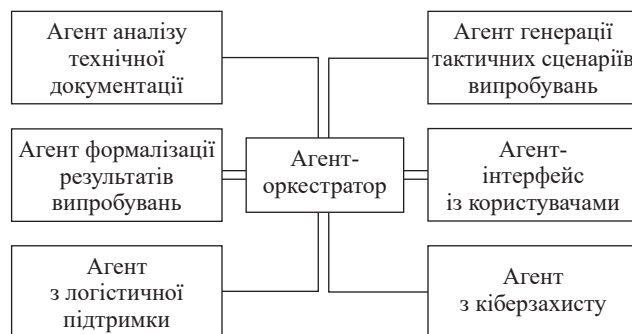
В контексті сучасних тенденцій до автоматизації, цифровізації та скорочення життєвого циклу розробок і впровадження нових зразків ОВТ ідея мультиагентної системи підтримки випробувань озброєння та військової техніки є своєчасною, перспективною. В основі пропозиції лежить концепція розподіленого функціонального навантаження між спеціалізованими інтелектуальними агентами [6–8], кожен з яких виконує чітко окреслений сегмент роботи, дозволяючи таким чином досягати високої ефективності, швидкості реагування та адаптивності до змін у випробувальному процесі. Відповідна ідея була вперше офіційно представлена автором у вересні 2025 року на XXV науково-технічній конференції «Випробування і сертифікація озброєння та військової техніки», що проводилася ДНДІ випробувань і сертифікації ОВТ [9].

**Метою** статті є обґрунтування складу агентів мультиагентної системи підтримки випробувань озброєння та військової техніки та визначення їх функцій і взаємодії.

### РЕЗУЛЬТАТИ

В мінімальному варіанті реалізації запропонована мультиагентна система має налічувати 7 агентів, пов'язаних у єдину структуру, представлену на рис. 1. Розглянемо детально завдання кожного з цих агентів з урахуванням різних аспектів їх функціонування та особливостей практичної реалізації.

Агент аналізу технічної документації в наведеній на рис. 1 структурі виконує первинну експертизу матеріалів, що надходять на випробування, включаючи технічні специфікації, креслення, моделі, сертифікати, програми випробувань, історію модернізацій, протоколи попередніх тестів тощо. Цей агент повинен бути оснащений засобами розпізнавання структурованих і неструктурованих даних, модулем семантичного аналізу, механізмом витягу сутностей і побудови логіко-функціональних моделей виробу ОВТ. Наприклад, він має автоматично формувати ієрархію вузлів і підсистем техніки, виявляти ключові параметри, обмеження, допуски та взаємозв'язки, що критично важливо для наступних етапів планування випробувань. У разі розширення функціоналу цей агент може також формувати запити до виробника або



Р и с . 1. Структура мультиагентної системи підтримки випробувань ОВТ

розробника у випадках виявлення неузгодженостей чи нестачі інформації.

Агент формалізації результатів випробувань відповідає за реєстрацію, структурування та попередню аналітичну обробку даних, які надходять з об'єктивних засобів контролю – відео- і тепловізійних камер, сенсорних платформ, телеметрії, журналів роботи автономних систем, а також із суб'єктивних джерел (протоколи випробувачів). Цей агент повинен забезпечити автоматичне заповнення протоколів згідно з нормативною базою, порівняння результатів із заданими критеріями успішності, виявлення аномалій, узагальнення статистичних закономірностей. За потреби він може генерувати візуальні звіти, графіки, діаграми та здійснювати порівняльний аналіз із попередніми версіями або конкурентними зразками. Такий підхід значно знижує ймовірність людської помилки, усуває рутину та прискорює подальші рішення щодо оцінки придатності.

Агент генерації тактичних сценаріїв випробувань є ключовою інноваційною ланкою системи. Його завдання – створення реалістичних, змістовно обґрунтованих і варіативних сценаріїв застосування техніки у бойових умовах, які мають бути відтворені під час випробувань. Агент використовує знання про поточні та перспективні театри воєнних дій, топографію, моделі поведінки противника, логіку бойових завдань. На основі цього він формує послідовності дій, навантажень і загроз, які повинна витримати техніка, враховуючи її призначення. Наприклад, для безпілотного комплексу сценарій може включати обхід засобів РЕБ, імпровізовані перешкоди, автономну навігацію в умовах відсутності зв'язку тощо. Це забезпечує перевірку не лише технічних, а й тактичних характеристик виробу, наближених до реального бойового застосування.

З досвіду участі у багатьох випробуваннях ОВТ слід зазначити, що логістичне забезпечення є їх ахілесовою п'ятою. Продуманість логістики, її збалансованість та безперервність слід розглядати в якості ключових умов успішної реалізації визначених завдань членами комісії з випробувань, а також стабільного функціонування зразка ОВТ та тестового обладнання. Агент з логістичної підтримки відповідає за планування, забезпечення та моніторинг матеріально-технічних ресурсів, необхідних для підготовки і проведення випробувань ОВТ. Він координує надходження комплектуючих, інструментів, палива, запасних частин, вимірювальної апаратури і технічного персоналу, забезпечує своєчасне розміщення обладнання на полігоні або в лабораторії та контролює повернення і збереження матеріалів після тестів.

Вхідними даними для логістичного агента є заявки на ресурси від інших агентів і користувачів, дані про наявні запаси і терміни поставки, телеметрія від транспортних засобів, розклад випробувань і обмеження середовища. Вихідними продуктами є плани постачання і розміщення, маршрути транспортування, журнали руху матеріалів, повідомлення про відхилення від плану і пропозиції щодо пріоритизації ресурсів. Агент також генерує метадані для звітів і структурує записи для автоматичного занесення в протоколи випробувань. Він реалізує прогнозування попиту на основі історії витрат і поточних

планів випробувань, алгоритми оптимізації розміщення і маршрутизації з урахуванням дорожніх обмежень і погодних умов, механізми динамічного перерозподілу ресурсів у випадку форс-мажору, а також верифікацію і контроль прийому-видачі матеріалів. У випадку пошкодження обладнання агент ініціює процедуру заміни і пропонує альтернативи з найменшою затримкою для продовження випробувань, резервує техніку і персонал.

Звісно, при такому різноманітті завдань логістичний агент може, в свою чергу, являти собою підсистему спеціалізованих агентів-модулів, кожен з яких виконує окремий набір функцій. Відповідна ієрархічна архітектура представлена на рис. 2. На додаток до агентів-модулів, вона містить головного агента-маршрутизатора, який визначає конкретний сегмент архітектури, що повинен послідовно обробляти запит. Крім того, в ній передбачено агентів-маршрутизаторів нижчого рівня, що обирають агентів-модулів, з числа наявних в активованому сегменті. Така архітектура може бути використана і для інших агентів з числа наведених на рис. 1. В задачах логістики її перевагою є можливість горизонтального масштабування при збільшенні числа випробувальних майданчиків або обсягів матеріалів. Логіку пріоритизації і правила розподілу ресурсів слід робити адаптивними під різні типи випробувань і підходи замовників. Для покращення адаптивності корисно передбачити агент-модулі навчання на виробничих даних, які коригуватимуть прогнози і рекомендації з часом.

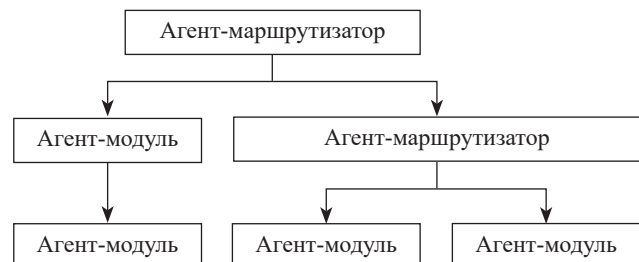


Рис. 2. Приклад ієрархічної архітектури окремих агентів, представлених на рис. 1

При вирішенні логістичних завдань прогнозування і оптимізації можуть застосовуватися нейромережеві методи обробки часових рядів для оцінки потреб, евристичні алгоритми або лінійне програмування – для розв'язання задач маршрутизації і розподілу запасів, а також прості правила пріоритизації – для критичних елементів.

В якості фізичних інтерфейсів рекомендується використовувати стандартизовані API (наприклад REST або gRPC) з чіткою схемою повідомлень для заявок, підтверджень і звітів. На цій основі агент може підключатися до внутрішніх баз даних запасів, систем ERP або простих таблиць інвентаризації і може інформувати зовнішні служби постачання про замовлення. Також можуть бути задіяні спеціалізовані протоколи міжагентського обміну даними [10–14], потреба в яких була обґрунтована автором в [6]. У разі обмеженого зв'язку агент здатен працювати у режимі часткової автономії з локальною чергою завдань і синхронізацією після відновлення каналу зв'язку. При цьому агент з логістики повинен

забезпечувати цілісність даних про запаси і маршрути, автентифікацію запитів і шифрування критичних повідомлень, особливо коли мова йде про координати полігону або маршрути транспортування. Рекомендовано дотримуватися принципів мінімальних привілеїв і документувати всі дії для можливості подальшого проведення аудиту. У критичних сценаріях агент має підтримувати резервні процедури для ручного управління запасами і передачі найважливіших команд через альтернативні канали зв'язку.

Для оцінки якості функціонування логістичного агента доцільно використовувати такі метрики як точність прогнозу попиту, частка своєчасних поставок, середній час реагування на заявку, коефіцієнт використання запасів і кількість інцидентів логістичного характеру на 100 операцій. Також важливими є якість даних у системі інвентаризації і швидкість відновлення працездатності після відмови.

На етапі впровадження агента з логістики рекомендується починати з обмеженого сценарію з залученням однієї або двох локацій, інтегрувавши агента з вже існуючими реєстраційними системами і відпрацювавши сценарії критичних відмов. Тестування працездатності агента має включати ситуації з втратами зв'язку, відмовами постачальників і різкими змінами плану випробувань, щоб перевірити стійкість процедур і коректність алгоритмів перерозподілу ресурсів.

Таким чином, агент з логістичної підтримки є практичною і необхідною складовою мультиагентної системи випробувань, яка істотно підвищує оперативність, передбачуваність і надійність процесу, знижуючи трудовитрати та ризики, пов'язані з матеріально-технічним забезпеченням.

Крім зазначених агентів, до запропонованої архітектури мультиагентної системи доцільно додати також ще три критично важливі компоненти – агента-оркестратора, агента-інтерфейсу з користувачами та агента з кіберзахисту. Їхнє включення не лише підвищує функціональну завершеність системи, а й забезпечує стабільну, безпечну та ефективну взаємодію між усіма учасниками процесу випробувань, як людськими, так і програмними.

Агент-оркестратор є центральною координуючою ланкою мультиагентної системи, що відповідає за управління взаємодією між іншими агентами, розподіл завдань, моніторинг станів і підтримку узгодженого виконання сценаріїв. Його функціональність ґрунтується на принципах оркестрації в розподілених обчислювальних середовищах і базується на онтологічному поданні завдань, чергах повідомлень, механізмах пріоритизації, розкладу та реактивного планування. Агент-оркестратор реагує на зміни контексту. Наприклад, у разі невідомого завантаження технічної документації чи збою у прийомі телеметрії він автоматично перенаправляє потоки даних, активує резервні маршрути або викликає агента відновлення. Тісна взаємодія агента-оркестратора з логістичним агентом синхронізує логістичні події з планом випробувань. Таким чином, забезпечується стійкість системи до відмов і можливість її безперервної роботи в режимі, наближеному до реального часу.

Агент інтерфейсу з користувачами виконує роль інтелектуального посередника між людськими операторами (випробувачами, інженерами, аудиторами, військовими замовниками) та системою. Його завдання – забезпечити багатомодальну, інтуїтивно зрозумілу й адаптивну взаємодію з урахуванням ролей, прав доступу та поточних завдань користувача. Агент повинен підтримувати як текстовий, так і графічний інтерфейс, мати можливість генерації мовних звітів, надання рекомендацій, пояснення результатів випробувань у зрозумілій формі, а також ведення протоколу дій. Особливу цінність матиме інтеграція цього агента з системами розпізнавання мови, жестів, біометричної автентифікації, що дозволяє забезпечити безпечну та зручну експлуатацію системи в умовах мобільних командних пунктів, польових випробувань або бойових ситуацій.

Агент з кіберзахисту виконує функцію постійного моніторингу безпеки мультиагентної системи, виявлення і нейтралізації потенційних кіберзагроз, перевірки цілісності даних, захисту каналів комунікації та керування криптографічними ключами. У разі виявлення аномальної активності (наприклад, несанкціонованого запиту до результатів випробувань, змін конфігураційного файлу, зовнішнього підключення з невідомого вузла) цей агент здатен ініціювати ізоляцію окремих компонентів, блокування доступу, запуск процедури документування подій і генерацію автоматизованого звіту про інцидент. Агент повинен підтримувати сучасні протоколи безпеки, відповідати принципам Zero Trust Architecture, а також взаємодіяти з зовнішніми системами кіберрозвідки для отримання актуальних індикаторів компрометації. Його наявність критично важлива в умовах гібридної війни, коли випробувальна інфраструктура може бути цілком кібератак зі сторони противника або підрядних структур.

Узгоджена робота оркестратора, інтерфейсного агента та агента кіберзахисту забезпечує не лише технологічну завершеність системи, а й її придатність до практичного використання в умовах бойової готовності, гетерогенних середовищ (наприклад, змішаних мереж з елементами військової та цивільної інфраструктури), а також дає змогу масштабувати систему до національного рівня випробувальної мережі.

Синергетичне поєднання усіх зазначених агентів дозволяє реалізувати замкнений цикл експертизи, планування, проведення та аналізу випробувань, який може бути швидко адаптований до нових зразків ОВТ, що надходять на випробування, навіть у межах коротких строків міжетапних оцінок. Такий підхід особливо важливий у період активної фази розробки, коли оновлення можуть відбуватись щотижня або навіть щоденно. У рамках воєнного стану або прискорених програм переозброєння це дає суттєвий вигреш у часі, дозволяючи перейти від традиційних багатомісячних випробувань до циклів тривалістю в кілька тижнів або навіть днів із не меншою валідністю результатів.

Пропонована мультиагентна система може бути легко масштабована шляхом додавання інших агентів. Зокрема, це може бути агент-моделювальник для симуляції віртуального середовища випробувань, агент ризик-менеджменту для оцінки потенційних техноген-

них загроз, агент з метрологічного забезпечення, агент нормативного аудиту для перевірки відповідності до стандартів НАТО, ISO та ін.

Загалом, запропонована система відповідає критеріям концепцій цифрового інжинірингу, підходів Model-Based Systems Engineering (MBSE) та оперативної сумісності. Вона створює передумови для переходу від лінійного до ітеративного циклу випробувань, у якому результати кожного етапу одразу впливають на планування наступного з них, зменшуючи інерційність системи та посилюючи контроль якості.

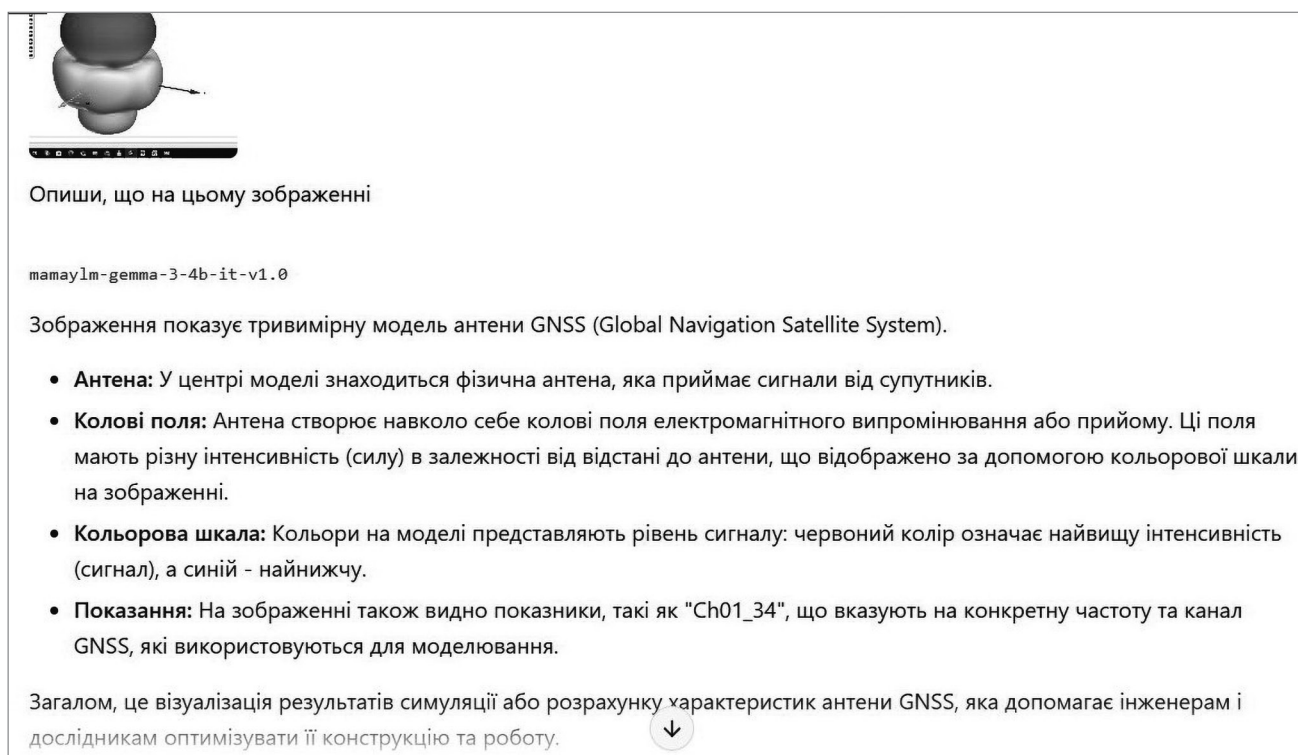
Інтеграція зазначених агентів створює передумови для реалізації повного циклу «Machine-in-the-Loop» у випробуваннях із забезпеченням постійного автоматизованого аналізу, адаптації, перевірки та валідації. Це відповідає новітнім доктринам військово-технічного інжинірингу в умовах динамічного конфлікту. Така мультиагентна система випробувань не лише автоматизує процедури, а й суттєво змінює логіку взаємодії суб'єктів випробувального процесу – від інженерів, що готують техніку, до аналітиків, що ухвалюють рішення про прийнятність виробу до використання. У своїй основі вона є інструментом підвищення темпів інновацій і забезпечення оборонної спроможності шляхом швидкої інтеграції нових технологій у збройні сили.

В основі практичної реалізації запропонованого підходу лежить застосування локальних мовних моделей у різних варіантах, детально розглянутих в [15, 16], а також нових розробок у цій сфері та технології Retrieval Augmented Generation (RAG) [17] для поєднання агентів з базами даних.

В якості можливих кандидатів на роль локальних LLM станом на момент написання статті слід вказати лінійку україномовних моделей MamaLM-Gemma-3-12B [18]

та MamaLM-Gemma-3-4B [19], розроблених Інститутом комп'ютерних наук, штучного інтелекту і технологій (INSAIT, Болгарія) у версіях не тільки для роботи з інструкціями, а й обробки зображень. Ці LLM стали першими україномовними мультимодальними моделями, які до того ж доволі добре орієнтуються в технічному контексті. Для прикладу на рис. 3 приведено результат опису зображення тривимірної діаграми спрямованості антени за допомогою 4-бітної версії LLM MamaLM-Gemma-3-4B-IT-v1.0. Аналогічні мультимодальні результати дає застосування україномовної моделі Lara (lara-v0.1.2-instruct), яка так само базується на Gemma-3-12B [20]. Однак, одним з недоліків родини MamaLM-Gemma-3 та Lara є недостатня підтримка математичних формул, оперування якими вважається невід'ємною частиною аналізу технічної документації та обробки результатів випробувань. Цього недоліка позбавлені моделі gpt-oss-20b та gpt-oss-120b від компанії Open AI [9, 21], які теж добре підтримують україномовний контент, хоча й не є мультимодальними. На рис. 4 представлено фрагмент сумаризації наукової статті, зробленої LLM gpt-oss-120b з відтворенням формул у форматі LaTeX.

Звісно, моделі gpt-oss-20b і gpt-oss-120b є більш вибагливими до ресурсів порівняно з LLM серії MamaLM-Gemma-3 та Lara. Однак, проведені автором дослідження свідчать про можливість їх застосування навіть на доволі типовому ноутбучі з відеокартою (GPU) NVIDIA RTX 3080, що має 16 ГБ відеопам'яті (VRAM) і 32 ГБ оперативної пам'яті. Цьому сприяє багатопарова архітектура LLM, яка дозволяє розподіляти фрагменти моделі між VRAM та вінчестером залежно від розмірів контекстного вікна, розрядності KV-кешу коефіцієнтів уваги та кількості одночасних конвеєрів (B), що підтримують окремий KV-кеш під час інференсу. На рис. 5, 6



Опиши, що на цьому зображенні

mamaim-gemma-3-4b-it-v1.0

Зображення показує тривимірну модель антени GNSS (Global Navigation Satellite System).

- **Антенa:** У центрі моделі знаходиться фізична антенa, яка приймає сигнали від супутників.
- **Колові поля:** Антенa створює навколо себе колові поля електромагнітного випромінювання або прийому. Ці поля мають різну інтенсивність (силу) в залежності від відстані до антени, що відображено за допомогою кольорової шкали на зображенні.
- **Кольорова шкала:** Кольори на моделі представляють рівень сигналу: червоний колір означає найвищу інтенсивність (сигнал), а синій - найнижчу.
- **Показання:** На зображенні також видно показники, такі як "Ch01\_34", що вказують на конкретну частоту та канал GNSS, які використовуються для моделювання.

Загалом, це візуалізація результатів симуляції або розрахунку характеристик антени GNSS, яка допомагає інженерам і дослідникам оптимізувати її конструкцію та роботу.

Р и с . 3. Результат використання моделі MamaLM-Gemma-3-4B-IT-v1.0 для опису зображення

Основні ідеї, викладені у статті	
Ключовий аспект	Що розглядається
Динаміка відкритих систем	Описуються за рівнянням Лінблада: $\frac{d\rho_t}{dt} = -i[H, \rho_t] + \mathcal{D}(\rho_t)$
Перетворення у векторний простір	Через векторизацію $\rho_t \rightarrow \vec{\rho}_t \in \mathbb{C}^{d^2}$ отримуємо лінійну систему $\dot{\vec{\rho}}_t = -L\vec{\rho}_t$ .
Embedding-compression	Потрібна ортонормована базис-матриця $V \in \mathbb{C}^{d^2 \times r}$ (зменшена розмірність $r \ll d^2$ ). Вона дозволяє апроксимувати: $\vec{\rho}_t \approx V e^{-V^\dagger L V t} V^\dagger \vec{\rho}_0.$
Використання ядра	Збираємо емпіричну матрицю спостережень $X$ (усі траєкторії), будуємо ядро $K = (X^\dagger X)^+$ . Потім за допомогою Nystrom-методу + SVD отримуємо зменшену базис-матрицю $V$ .
Оцінка похибки	Покладена верхня межа на помилку: $\ \vec{\rho}_t - \vec{\tilde{\rho}}_t\  \leq \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} \frac{\ K - \tilde{K}\ _*}{t}.$ У практиці використовують RMSE та інтегральну похибку.

Рис. 4. Відтворення формул LLM gpt-oss-120b

наведені вимоги для розміру VRAM, який необхідний для повного розміщення gpt-oss-20b та gpt-oss-120b у VRAM при B=1 та B=4, 4- та 8-бітних коефіцієнтах KV-кешу і різних за кількістю токенів контекстних вікнах (4K, 8K, 16K, 32K, 64K та 128K). Дослідження проводилися за допомогою локального середовища для інференсу LLM з відкритим кодом Ollama [15, 16], яке забезпечило запуск і керування LLM без залучення зовнішніх хмарних сервісів. Розглянуті LLM gpt-oss-20b і gpt-oss-120b мали однакову квантизацію вагових коефіцієнтів MXFP4 (4,25 біт).

Окремо на рис. 7, 8 проілюстровано, як залежить від тих же умов необхідний обсяг KV-кешу. Крім того, на рис. 9 відображено залежність кількості шарів LLM, які можуть розміститися в GPU NVIDIA RTX 3080 з VRAM 16 ГБ залежно від розмірів контекстного вікна. При цьому решта моделі монтується на вінчестер або SSD. Таке розподілення шарів зменшує швидкість інференсу, однак не позбавляє LLM працездатності.

Важливо звернути увагу, що в рамках мультиагентної системи окремі агенти можуть виконуватися як на основі згорткових нейромереж (CNN) [22], так і на різних

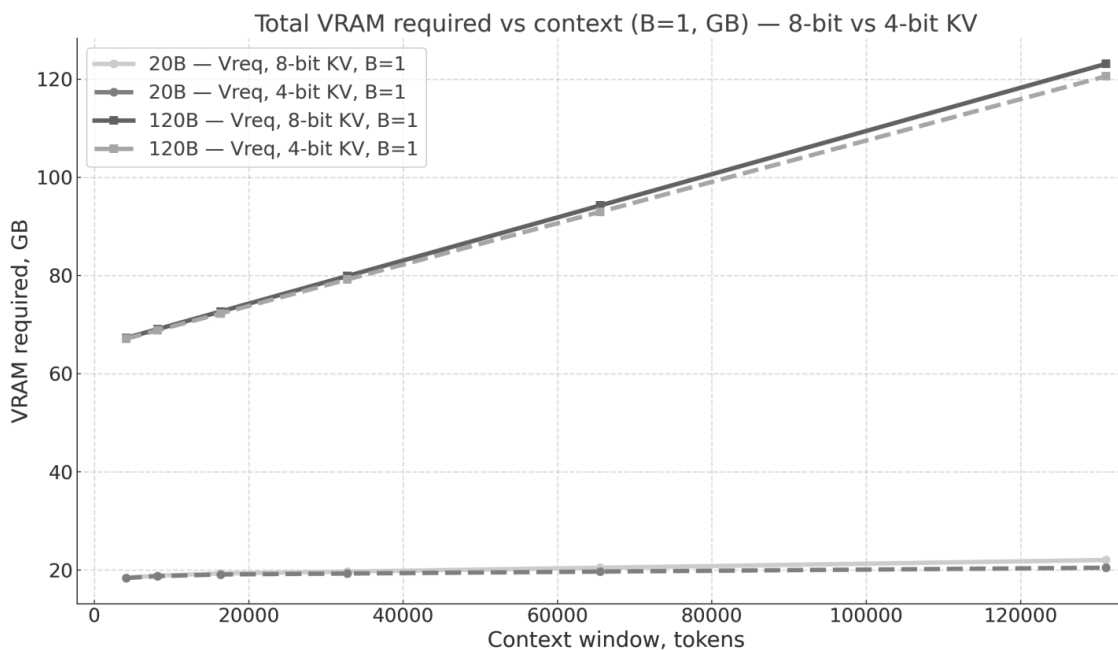
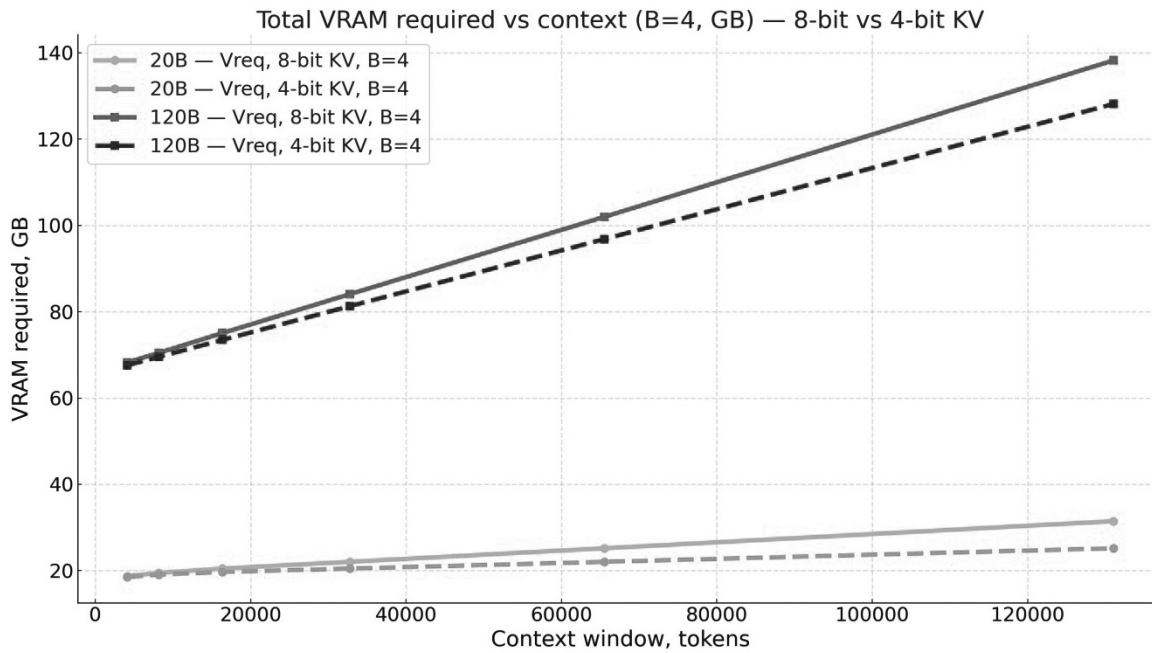
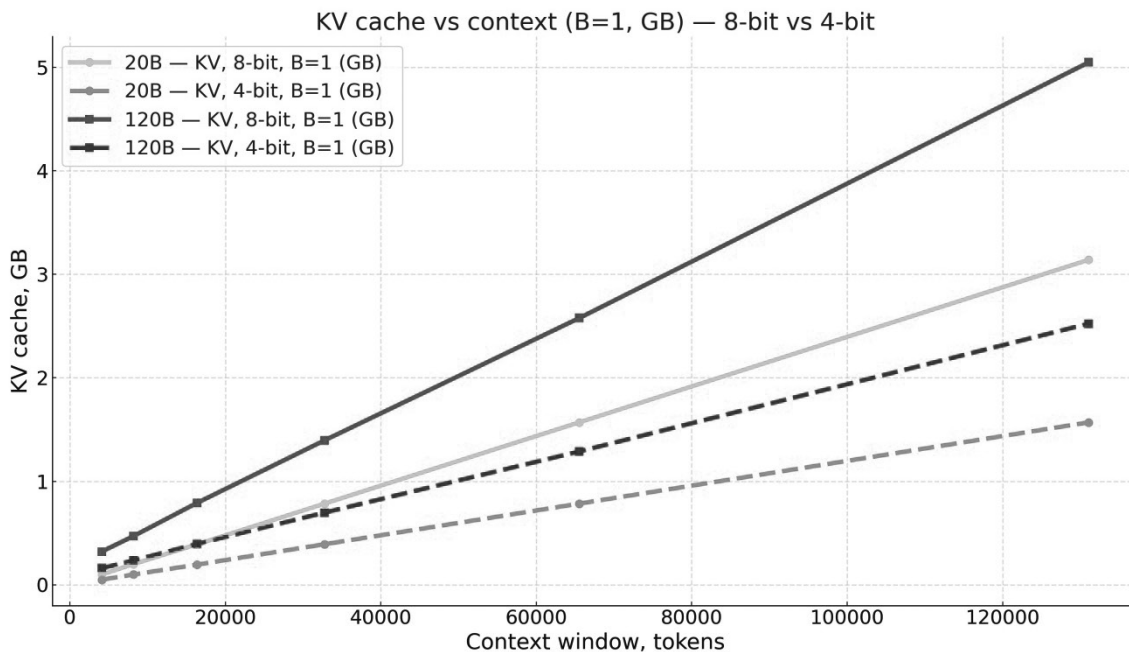


Рис. 5. Залежність необхідного обсягу VRAM при B=4 для повного розташування LLM gpt-oss-20b та gpt-oss-120b



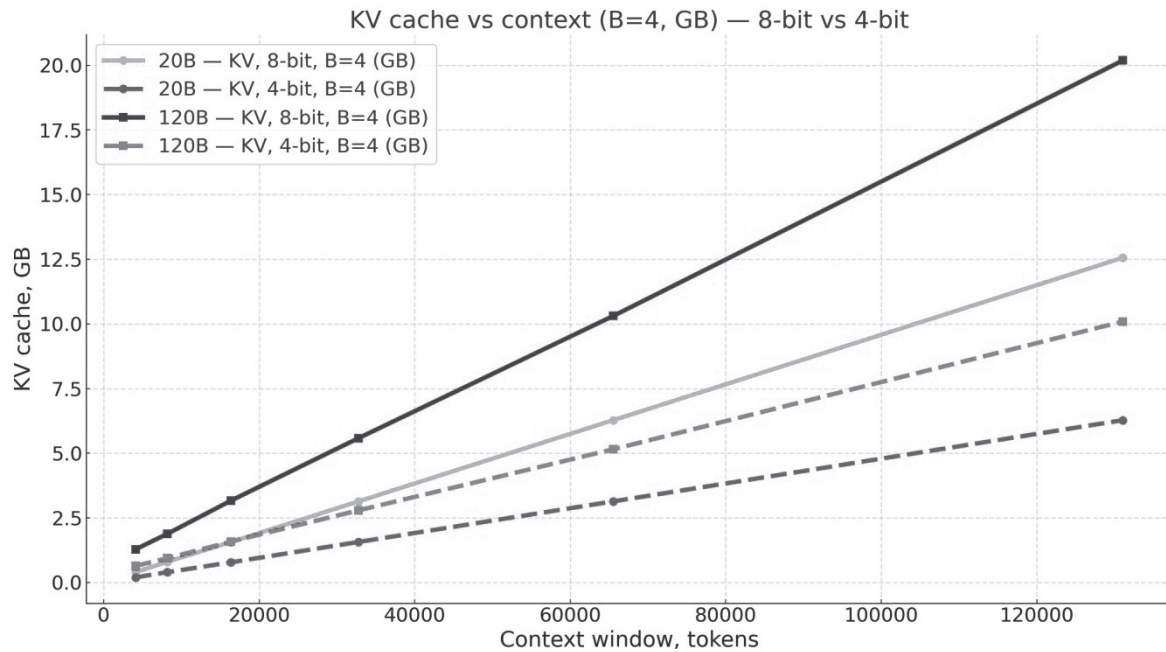
Р и с . 6. Залежність необхідного обсягу VRAM при B=1 для повного розташування LLM gpt-oss-20b та gpt-oss-120b



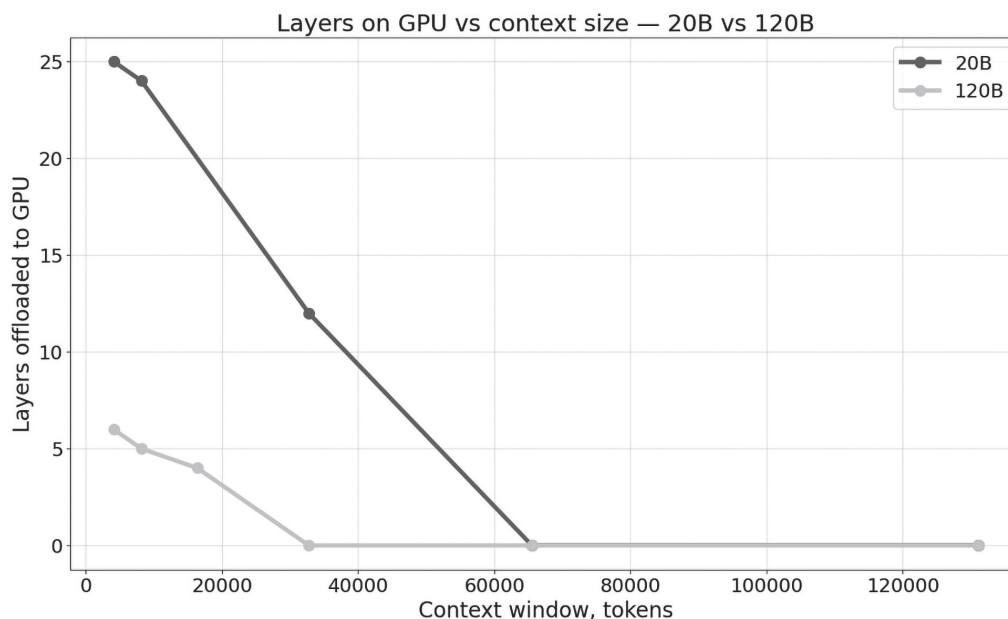
Р и с . 7. Залежність розмірів KV-кешу від його розрядності та контекстного вікна при одному конвеєрі (B=1)

варіантах LLM. За потреби, вказані вище локальні мовні моделі можуть бути піддані фін-тюнінгу [23] з метою налаштування їх вагових коефіцієнтів під специфічні вимоги до агентів. При відсутності конфіденційних даних, частина агентів може бути виконана на основі пропріетарних LLM типу GPT-5 [24], Gemini [25], Claude [26] та ін. В усіх зазначених випадках можливе поєднання кількох агентів на одній LLM з розмежуванням їх функцій на рівні промту. Для побудови робочих процесів множини агентів може використовуватися платформа автоматизації п8n з її локальним розгортанням [27] та аналогічні розробки для створення агентів Microsoft Power Automate [28], Amazon Bedrock AgentCore [29], openEnv [30] тощо.

Ключовою технічною передумовою прискорення циклу випробувань на основі мультиагентності є повний цифровий ланцюг від тактико-технічних вимог до підтвердження їх реалізації у випробуваному зразку. З одного боку, цей ланцюг має спиратися на вказану базу знань типу RAG з графом сутностей, куди потрапляють вимоги, методики, сценарії, сенсори, калібрування, метрики і артефакти. З іншого боку, цифровий остов випробувань передбачає стандартизований обмін даними з полігонним обладнанням, симуляторами і лабораторіями, який забезпечує узгоджені іменовані часові ряди, єдині моделі невизначеності і повторюваність обчислень у контейнерах. Така конструкція дає змогу різко скоротити підготовчі цикли, уникнути ручного переписування



Р и с . 8. Залежність розмірів KV-кешу від його розрядності та контекстного вікна при 4 конвеєрах (B=4)



Р и с . 9. Кількість шарів LLM, що можуть розміститися в GPU з VRAM 16 ГБ залежно від контекстного вікна

даних, уніфікувати обробку і за необхідності повторити будь-який результат незалежно від місця і часу.

Обґрунтування ефекту прискорення полягає у поєднанні кількох узгоджених механізмів. По-перше, автоматизація вилучення вимог і формування матриці трасування процесів випробувань звільняє тижні експертної праці і зменшує помилки інтерпретації, водночас підсилюючи контроль повноти покриття перевітками усіх показників ОВТ. По-друге, сценарний агент на основі принципу цінності інформації скорочує кількість натурних випробувань, зберігаючи їх здатність виявляти дефекти у критичних режимах, і переносить левову частку експериментів на цифрового двійника та апаратно-програмні стенди. Крім того, агент протоколювання переводить довгі ручні цикли звітності в режим напівавтоматичної збірки доказів із перевіреною простежуваністю, що одночасно прискоро-

рює аудити і сертифікацію. В свою чергу, оркестратор із зворотним зв'язком адаптує план у міру надходження даних, закриваючи невизначеності на ранніх етапах і не допускаючи накопичення дорогих проблем у фіналі.

Архітектурно до описаної системи доцільно закласти декілька горизонтальних сервісів. Наприклад, сервіс управління даними має відповідати за каталогізацію, контроль версій, політики зберігання, анонімізацію, реплікацію і відновлення. Сервіс моделювання і цифрових двійників надає фізичні симуляції і когорту еталонних сценаріїв з відомими параметрами. Сервіс якості моделей включає перевірки упередженості, стійкості до дезінформації і механізми узгодження відповідей агентів із надійними зовнішніми джерелами, щоби мінімізувати ризик хибних висновків. Вказані та інші сервіси теж можуть контролюватися окремими агентами.

Організаційна модель функціонування мультиагентної системи передбачає чіткий розподіл ролей. Керівник випробувань визначає цілі, ризики і критерії прийняття результатів перевірок. Технічні фахівці затверджують матрицю трасування і методики. Офіцер з безпеки контролює політику доступу і відповідність регламентам. Аналітики даних здійснюють вибіркву верифікацію автоматичної обробки, налаштовують пороги і проводять аналіз відхилень. Усі ролі спираються на єдині джерела інформації, а система фіксує кожне рішення, мотив і посилання на артефакти.

З самого початку підготовки до випробувань мають бути формалізовані показники та метрики ефективності мультиагентної системи. Це дозволить уточнити склад агентів та обрати кращі за якістю мовні моделі для їх реалізації. До базових показників належать час від надходження документації до затвердження плану випробувань, час від завершення місії до готового звіту, відсоток вимог із доказами і формальним покриттям. Також доцільно задіяти коефіцієнт повторюваності обробки, середню вартість одного сценарію, показник різноманітності сценаріїв і темп зменшення невизначеності щодо ключових характеристик. На рівні оцінки якості процесів випробувань важливими показниками є частка автоматично виявлених невідповідностей у документації, середній час на аудит і частота відмов через виявлені помилки. Такі метрики дозволяють порівнювати новий підхід із традиційним та об'єктивно демонструвати економію ресурсів.

Оскільки під час випробувань питання безпеки і відповідальності необхідно вирішувати без жодних компромісів, система агентів налаштовується так, щоб навмисно обмежити автономію у випадках, коли існує ризик для персоналу і живучості обладнання або виникає загроза порушення регуляторних вимог. Кожен агент зобов'язаний наводити джерела і межі застосовності своїх висновків, а критичні дії завжди супроводжуються підтвердженням людини. Для зовнішніх інтеграцій запроваджується принцип найменшого привілею і односторонніх каналів передачі даних з полігонів до аналітики. Додатково можуть застосовуватися профілі тестів із штучно внесеними помилками з метою постійної перевірки коректності обробки і стійкості агентів до некоректних вхідних даних.

Практичний робочий процес функціонування мультиагентної системи можна коротко описати наступним чином. На підготовчому етапі на основі наданої технічної документації і обмежень агент вивчення документації формує матрицю вимог до параметрів і пропонує первинний перелік перевірок. Агент сценаріїв доповнює його генерацією мінімального набору тактичних сценаріїв. Оркестратор ранжує їх за цінністю інформації, яку вони можуть надати, і узгоджує з ресурсами, після чого формує проект програми випробувань, перелік необхідних методик. Перед натурними перевірками проводяться прогони методик для верифікації на цифровому двійнику і стендах з уточненням спроможностей наявних сенсорів та їх достатності для досягнення мети випробувань. На полігоні агент протоколювання веде збір і контроль даних у реальному часі, після чого

автоматично формується звітний пакет із прив'язкою до вимог тактико-технічного завдання. Оркестратор періодично переглядає залишкову невизначеність даних за поточними результатами, коригує план і готує наступний цикл перевірок, поки критерії відповідності зразка ОБТ не будуть виконані, або поки не буде доведена необхідність внесення конструктивних змін.

## ВИСНОВКИ

Впровадження запропонованої системи доцільно здійснювати поетапно. Відповідна дорожня карта починається з пілотного ядра для досягнення мінімально достатнього функціоналу в межах одного класу виробів. Це дозволяє відпрацювати типові конвеєри даних і шаблони звітності. Далі залучається цифровий двійник і сценарний агент для типових режимів. На наступному етапі масштабуються RAG-сховища, вводиться формальна валідація моделей і повний набір метрик процесу випробувань. Фінальний етап включає сертифікаційні інтеграції, створення міжвідомчих шаблонів і розширення застосування на нові домени озброєння з повторним використанням напрацьованих компонентів.

В цілому така мультиагентна система переводить випробування у прозорий і керований інженерний процес. Вона не підміняє судження фахівців, а знімає рутину, зменшує помилки, гарантує простежуваність і дає можливість розумніше експериментувати в межах затверджених методик випробувань. Поява мультиагентних систем випробувань ОБТ дозволяє досягти прискорення циклів впровадження нових розробок за рахунок скорочення часових і ресурсних витрат на процедури випробувань. Подальший розвиток даного підходу дозволить максимально автоматизувати випробування з залученням в цілодобовому режимі роботизованих платформ, у тому числі андроїдного типу.

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Kondratenko, Y., Kondratenko, G., Shevchenko, A., Slyusar, V., Zhukov, Y. & Vakulenko, M. (2023). Towards Implementing the Strategy of Artificial Intelligence Development: Ukraine Peculiarities. *CEUR Workshop Proc.* Vol. 3513. Pp. 106—117. Available at: [https://ceur-ws.org/Vol-3513/paper\\_09.pdf](https://ceur-ws.org/Vol-3513/paper_09.pdf).
2. Kondratenko, Y., Shevchenko, A., Zhukov, Y., Klymenko, M., Slyusar, V., Kondratenko, G. & Striuk, O. (2023). Analysis of the Priorities and Perspectives in Artificial Intelligence Implementation. 13<sup>th</sup> Intern. IEEE Conf. «Dependable Systems, Services and Technologies» (DESSERT'2023). Greece. Athens. 8 p. October 13—15. <https://doi.org/10.1109/DESSERT61349.2023.10416432>.
3. Kondratenko, Y.P., Slyusar, V.I., Solesvik, M.B., Kondratenko, N.Y. & Gomolka, Z. (2024). Interrelation and inter-influence of artificial intelligence and higher education systems. *Research Tendencies and Prospect Domains for AI Development and Implementation.* Pp. 31—58.
4. Slyusar, V.I., Kondratenko, Y.P., Shevchenko, A.I. & Yeroshenko, T.V. (2024). Some Aspects of Artificial Intelligence Development Strategy for Mobile Technologies. *J. of Mobile Multimedia.* Vol. 20\_3. Pp. 525—554. Available at: [10.13052/jmm1550-4646.2031](https://doi.org/10.13052/jmm1550-4646.2031).

5. Patwardhan, T. et al. GDPval: Evaluating AI Model Performance on Real-World Economically Valuable Tasks. OpenAI. Oct. 2025. Available at: <https://cdn.openai.com/pdf/d5eb7428-c4e9-4a33-bd86-86dd4bcf12ce/GDPval.pdf>. [Accessed: Oct. 25, 2025].
6. Slyusar, V. (2025). Distributed Multi-agent Systems Based on the Mixture of Experts Architecture in the Context of 6G Wireless Technologies. In: Dovgyi, S., et al. (eds). Applied Innovations in Information and Communication Technology. ICAIT 2024. Lecture Notes in Networks and Systems. Vol. 1338. Springer. Pp. 81—110. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-89296-7\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-031-89296-7_6).
7. Zhang, D., Li, Z., Wang, P., Zhang, X., Zhou, Y. & Qiu, X. (2024). SpeechAgents: Human-Communication Simulation with Multi-Modal Multi-Agent Systems. arXiv. Available at: <https://arxiv.org/abs/2401.03945>.
8. Baier, T., Baez Santamaria, S. & Vossen, P. (2022). A modular architecture for creating multimodal agents. arXiv. Available at: <https://arxiv.org/abs/2206.00636>.
9. Слюсар В.І. Результати тестування локальної мовної моделі gpt-oss-20b. XXV Наук.-техн. конф. «Випробування і сертифікація озброєння та військової техніки». 25 вересня 2025 р. Черкаси: ДНДІ випробувань і сертифікації ОВТ.
10. Bhardwaj, D., Beniwal, A., Chaudhari, S., Kalyan, A., Rajpurohit, T., Narasimhan, K.R., Deshpande, A., & Murahari, V. (2025). Agent context protocols enhance collective inference. arXiv. at: <https://arxiv.org/abs/2505.14569>.
11. Habler, I., Huang, K., Narajala, V. S., & Kulkarni, P. (2025). Building a secure agentic AI application leveraging A2A protocol. arXiv. at: <https://arxiv.org/abs/2504.16902>.
12. Jeong, C. (2025). A study on the MCP × A2A framework for enhancing interoperability of LLM-based autonomous agents. arXiv. at: <https://arxiv.org/abs/2506.01804>.
13. Liu, J., Yu, K., Chen, K., Li, K., Qian, Y., Guo, X., Song, H., & Li, Y. (2025). ACPs: Agent collaboration protocols for the Internet of Agents. arXiv. at: <https://arxiv.org/abs/2505.13523>.
14. Martineau, K. (2025, May 28). The simplest protocol for AI agents to work together. IBM Research. at: <https://research.ibm.com/blog/agent-communication-protocol-ai>.
15. Слюсар В.І. Локальні великі мовні моделі для обробки конфіденційної інформації. Озброєння та військова техніка. 2024. № 4(44). С. 79—91. [https://doi.org/1034169/2414-0651.2024.4\(44\).79-91](https://doi.org/1034169/2414-0651.2024.4(44).79-91).
16. Слюсар В.І., Гусаковський І.П. Практичні аспекти розгортання великих мовних моделей в локальних мережах. Озброєння та військова техніка. 2025. № 1(45). С. 84—96.
17. Lewis, P., Perez, E., Piktus, A., Petroni, F., Karpukhin, V., Goyal, N., Küttler, H., Lewis, M., Yih, W.-t., Rocktäschel, T. et al. (2020). Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks. Advances in Neural Information Processing Systems. Vol. 33. Pp. 9459—9474. Available at: <https://arxiv.org/abs/2005.11401>.
18. INSAIT-Institute/MamayLM-Gemma-3-4B-IT-v1.0. Available at: <https://huggingface.co/mradermacher/MamayLM-Gemma-3-4B-IT-v1.0-GGUF>.
19. INSAIT-Institute/MamayLM-Gemma-3-12B-IT-v1.0. Available at: <https://huggingface.co/mradermacher/MamayLM-Gemma-3-12B-IT-v1.0-GGUF>.
20. Lapa LLM. Available: <https://huggingface.co/lapa-llm>. Accessed: Oct. 25, 2025.
21. Agarwal, S. et al. (2025). GPT-OSS-120B & GPT-OSS-20B model card. arXiv. Available at: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2508.10925>.
22. Нос І.А. Особливості формування загальних вимог та технічних умов ОВТ при використанні інформаційних технологій підтримки випробувань в умовах правового режиму воєнного часу. XXV Наук.-техн. конф. «Випробування і сертифікація озброєння та військової техніки». 25 вересня 2025 р. Черкаси: ДНДІ випробувань і сертифікації ОВТ.
23. Parthasarathy, V. B., Zafar, A., Khan, A. & Shahid, A. The Ultimate Guide to Fine-Tuning LLMs from Basics to Breakthroughs: An Exhaustive Review of Technologies, Research, Best Practices, Applied Research Challenges and Opportunities. arXiv. Available at: <https://arxiv.org/abs/2408.13296>.
24. OpenAI, GPT-5 System Card, Aug. 7, 2025. Available at: <https://cdn.openai.com/gpt-5-system-card.pdf>. Accessed: Oct. 25, 2025.
25. Google DeepMind, Gemini 2.5 Deep Think Model Card, Aug. 1, 2025. Available at: <https://storage.googleapis.com/deepmind-media/Model-Cards/Gemini-2-5-Deep-Think-Model-Card.pdf>. Accessed: Oct. 25, 2025.
26. Anthropic, Claude Sonnet 4.5 System Card, Oct. 10, 2025. Available at: <https://www.anthropic.com/claude-sonnet-4-5-system-card>. Accessed: Oct. 25, 2025.
27. n8n – Workflow Automation, GitHub, n8n-io (verified organization). 2025. Available at: <https://github.com/n8n-io>. Accessed: Oct. 25, 2025.
28. Гусаковський І.П., Слюсар В.І., Чепков І.Б. Трансформація робочих процесів: практичне застосування Microsoft Power Automate та Google Gemini для автоматизації аналітики та звітності. Міжнар. наук.-практ. семінар «Проблематика, тенденції та перспективи розвитку воєнної науки та освіти в умовах сучасних глобальних викликів та конфліктів». 26 листопада 2025 р. Київ: Центральний наук.-досл. інст. Збройних Сил України.
29. Amazon Web Services. What is Amazon Bedrock AgentCore? Jul. 16, 2025. Available at: <https://docs.aws.amazon.com/bedrock-agentcore/latest/devguide/what-is-bedrock-agentcore.html>. Accessed: Oct. 25, 2025.
30. OpenEnv: Agentic Execution Environments, Hugging Face organization page. Oct. 22, 2025. Available at: <https://huggingface.co/openenv>. Accessed: Oct. 25, 2025.

## REFERENCES

1. Kondratenko, Y., Kondratenko, G., Shevchenko, A., Slyusar, V., Zhukov, Y. & Vakulenko, M. (2023). Towards Implementing the Strategy of Artificial Intelligence Development: Ukraine Peculiarities. CEUR Workshop Proc. Vol. 3513. Pp. 106—117. Available at: [https://ceur-ws.org/Vol-3513/paper\\_09.pdf](https://ceur-ws.org/Vol-3513/paper_09.pdf).
2. Kondratenko, Y., Shevchenko, A., Zhukov, Y., Klymenko, M., Slyusar, V., Kondratenko, G. & Striuk, O. (2023). Analysis of the Priorities and Perspectives in Artificial Intelligence Implementation. 13<sup>th</sup> Intern. IEEE Conf. «Dependable Systems, Services and Technologies»

- (DESSERT'2023). Greece. Athens. 8 p. October 13–15. <https://doi.org/10.1109/DESSERT61349.2023.10416432>.
3. Kondratenko, Y.P., Slyusar, V.I., Solesvik, M.B., Kondratenko, N.Y. & Gomolka, Z. (2024). Interrelation and inter-influence of artificial intelligence and higher education systems. *Research Tendencies and Prospect Domains for AI Development and Implementation*. Pp. 31—58.
  4. Slyusar, V.I., Kondratenko, Y.P., Shevchenko, A.I. & Yeroshenko, T.V. (2024). Some Aspects of Artificial Intelligence Development Strategy for Mobile Technologies. *J. of Mobile Multimedia*. Vol. 20\_3. Pp. 525—554. Available at: [10.13052/jmm1550-4646.2031](https://doi.org/10.13052/jmm1550-4646.2031).
  5. Patwardhan, T. et al. GDPval: Evaluating AI Model Performance on Real-World Economically Valuable Tasks. *OpenAI*. Oct. 2025. Available at: <https://cdn.openai.com/pdf/d5eb7428-c4e9-4a33-bd86-86dd4bcf12ce/GDPval.pdf>. [Accessed: Oct. 25, 2025].
  6. Slyusar, V. (2025). Distributed Multi-agent Systems Based on the Mixture of Experts Architecture in the Context of 6G Wireless Technologies. In: Dovgyi, S., et al. (eds) *Applied Innovations in Information and Communication Technology. ICAIIT 2024. Lecture Notes in Networks and Systems*. Vol. 1338. Springer. Pp. 81—110. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-89296-7\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-031-89296-7_6).
  7. Zhang, D., Li, Z., Wang, P., Zhang, X., Zhou, Y. & Qiu, X. (2024). *SpeechAgents: Human-Communication Simulation with Multi-Modal Multi-Agent Systems*. arXiv. Available at: <https://arxiv.org/abs/2401.03945>.
  8. Baier, T., Baez Santamaria, S. & Vossen, P. (2022). A modular architecture for creating multimodal agents. arXiv. Available at: <https://arxiv.org/abs/2206.00636>.
  9. Slyusar, V.I. “Rezultaty testuvannya lokalnoi movnoi modeli gpt-oss-20b” [Results of testing the local language model gpt-oss-20b], XXV Nauk.-tekhn. Konf. «Vyprobuvannya i sertyfikatsiia ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki». 25 Sept., 2025. Cherkasy: DNDI vyprobuvan i sertyfikatsii OVT.
  10. Bhardwaj, D., Beniwal, A., Chaudhari, S., Kalyan, A., Rajpurohit, T., Narasimhan, K.R., Deshpande, A., & Murahari, V. (2025). Agent context protocols enhance collective inference. arXiv. Available at: <https://arxiv.org/abs/2505.14569>.
  11. Habler, I., Huang, K., Narajala, V. S., & Kulkarni, P. (2025). Building a secure agentic AI application leveraging A2A protocol. arXiv. Available at: <https://arxiv.org/abs/2504.16902>.
  12. Jeong, C. (2025). A study on the MCP × A2A framework for enhancing interoperability of LLM-based autonomous agents. arXiv. Available at: <https://arxiv.org/abs/2506.01804>.
  13. Liu, J., Yu, K., Chen, K., Li, K., Qian, Y., Guo, X., Song, H., & Li, Y. (2025). ACPs: Agent collaboration protocols for the Internet of Agents. arXiv. Available at: <https://arxiv.org/abs/2505.13523>.
  14. Martineau, K. (2025, May 28). The simplest protocol for AI agents to work together. IBM Research. Available at: <https://research.ibm.com/blog/agent-communication-protocol-ai>.
  15. Slyusar, V.I. (2024). “Lokalni velyki movni modeli dlia obrobky konfidentsiinoi informatsii” [Local large language models for confidential information processing]. *Weapons and Military Equipment*. № 4(44). Pp. 79—91. [https://doi.org/1034169/2414-0651.2024.4\(44\).79-91](https://doi.org/1034169/2414-0651.2024.4(44).79-91).
  16. Slyusar, V.I. & Husakovskiy, I.P. (2025). “Praktychni aspekty rozgortannia velykykh movnykh modelei v lokalnykh merezhakh” [Practical aspects of deploying large language models in local networks]. *Weapons and Military Equipment*. № 1(45). Pp. 84—96. [https://doi.org/1034169/2414-0651.2024.1\(46\).84-96](https://doi.org/1034169/2414-0651.2024.1(46).84-96).
  17. Lewis, P., Perez, E., Piktus, A., Petroni, F., Karpukhin, V., Goyal, N., Küttler, H., Lewis, M., Yih, W.-t., Rocktäschel, T. et al. (2020). Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks. *Advances in Neural Information Processing Systems*. Vol. 33. Pp. 9459—9474. Available at: <https://arxiv.org/abs/2005.11401>.
  18. INSAIT-Institute/MamayLM-Gemma-3-4B-IT-v1.0. Available at: <https://huggingface.co/mradermacher/MamayLM-Gemma-3-4B-IT-v1.0-GGUF>.
  19. INSAIT-Institute/MamayLM-Gemma-3-12B-IT-v1.0. Available at: <https://huggingface.co/mradermacher/MamayLM-Gemma-3-12B-IT-v1.0-GGUF>.
  20. Lapa LLM. Available at: <https://huggingface.co/lapa-llm>. Accessed: Oct. 25, 2025.
  21. Agarwal, S. et al. (2025). GPT-OSS-120B & GPT-OSS-20B model card. arXiv. Available at: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2508.10925>.
  22. Nos, I.A. “Osoblyvosti formuvannya zahalnykh vymoh ta tekhnichnykh umov OVT pry vykorystanni informatsiinykh tekhnolohii pidtrymky vyprobuvan v umovakh pravovoho rezhymu voiennoho chasu” [Peculiarities of formulating general requirements and technical specifications for armaments and military equipment when using information technologies for test support under the legal regime of martial law]. XXV Nauk.-tekhn. konf. «Vyprobuvannya i sertyfikatsiia ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki». 25 Sept., 2025. Cherkasy: DNDI vyprobuvan i sertyfikatsii OVT.
  23. Parthasarathy, V. B., Zafar, A., Khan, A. & Shahid, A. *The Ultimate Guide to Fine-Tuning LLMs from Basics to Breakthroughs: An Exhaustive Review of Technologies, Research, Best Practices, Applied Research Challenges and Opportunities*. arXiv. Available at: <https://arxiv.org/abs/2408.13296>.
  24. OpenAI, GPT-5 System Card, Aug. 7, 2025. Available at: <https://cdn.openai.com/gpt-5-system-card.pdf>. Accessed: Oct. 25, 2025.
  25. Google DeepMind, Gemini 2.5 Deep Think Model Card, Aug. 1, 2025. Available at: <https://storage.googleapis.com/deepmind-media/Model-Cards/Gemini-2-5-Deep-Think-Model-Card.pdf>. Accessed: Oct. 25, 2025.
  26. Anthropic, Claude Sonnet 4.5 System Card, Oct. 10, 2025. Available at: <https://www.anthropic.com/claude-sonnet-4-5-system-card>. Accessed at: Oct. 25, 2025.
  27. n8n – Workflow Automation, GitHub, n8n-io (verified organization). 2025. Available at: <https://github.com/n8n-io>. Accessed at: Oct. 25, 2025.
  28. Husakovskiy, I.P., Slyusar, V.I. & Chepkov, I.B. “Transformatsiia robochykh protsesiv: praktychne zastosuvannya Microsoft Power Automate ta Google Gemini dlia avtomatyzatsii analityky ta zvitnosti. Mizhnarodnyi naukovo-praktychnyi seminar «Problematyka, tendentsii ta perspektyvy rozvytku voiennoi nauky ta osvity v

- umovakh suchasnykh hlobalnykh vyklykiv ta konfliktiv»” [Transformation of workflows: practical application of Microsoft Power Automate and Google Gemini for the automation of analytics and reporting]. 26 Nov., 2025. K.: Tsentralnyi nauk.-dosli. inst. Zbroinykh Syl Ukrainy.
29. Amazon Web Services. What is Amazon Bedrock AgentCore? Jul. 16, 2025. Available at: <https://docs.aws.amazon.com/bedrock-agentcore/latest/devguide/what-is-bedrock-agentcore.html>. Accessed: Oct. 25, 2025.
30. OpenEnv: Agentic Execution Environments, Hugging Face organization page. Oct. 22, 2025. Available at: <https://huggingface.co/openenv>. Accessed: Oct. 25, 2025.

**Slyusar V.I.**

### **MULTI-AGENT SYSTEM FOR SUPPORTING THE TESTING OF WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT**

*The article proposes a multi-agent system for supporting the testing of weapons and military equipment, which consists of a set of specialized intelligent agents with clearly defined functions. The basic ones are the agents for technical documentation analysis, test result formalization, tactical scenario generation, and the logistics support agent. Separate attention is paid to the role of the orchestrator, the user interaction agent, and the cybersecurity agent. Such a combination creates an end-to-end Machine-in-the-Loop cycle in which the planning, execution, and analysis of tests take place as a controlled engineering process with transparent traceability and the possibility of rapid repetition. The article also considers the practical feasibility of the proposed architecture thanks to modern language models. On the one hand, the infrastructure of the n8n automation platform and of industrial-class platforms such as Amazon Bedrock AgentCore already provide a managed environment for deploying agents. On the other hand, local Ukrainian-language multimodal models MamayLM-Gemma-3 and Lapa already support working with text and images, large context windows, and are capable of processing technical materials in Ukrainian.*

*This makes it possible to perform analysis of documentation and visual data without moving sensitive information outside the controlled environment. The article concludes that the multi-agent system for testing weapons and military equipment can transform testing from a slow sequential mode into a fast iterative cycle with digital tracing of requirements, automated scenario generation, continuous data collection and analysis, semi-automated reporting, and controlled logistics. This creates the preconditions for a significant reduction of the time required to introduce new samples of weapons and military equipment down to the level of weeks or even days without compromises in safety, reproducibility, and compliance with regulatory requirements.*

**Keywords:** artificial intelligence, multi-agent systems, large language models.

#### **Відомості про автора:**

**Слюсар Вадим Іванович**

доктор технічних наук, професор  
начальник групи головних наукових співробітників  
Центральний науково-дослідний інститут озброєння  
та військової техніки Збройних Сил України  
м. Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-2912-3149>  
e-mail: swadim@ukr.net

#### **Information about the author:**

**Slyusar Vadym**

Doctor of Technical Sciences, Professor  
Group of Chief Research Scientists for Scientific Research  
Management of Central Scientific Research Institute of  
Armament and Military Equipment of Armed Forces of  
Ukraine  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-2912-3149>  
email: swadim@ukr.net

*Стаття надійшла до редколегії 27.10.2025.*

*Стаття прийнята до друку після рецензування 13.02.2026.*

*Стаття опублікована 30.03.2026.*