

Мовчан К. О.

Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України

МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ СТАНДАРТИЗАЦІЇ РІВНІВ АВТОНОМНОСТІ A-UGV

У статті розглядається питання класифікації рівнів автономності автономних наземних безпілотних транспортних засобів (A-UGV) відповідно до визначення, наданого Комітетом ASTM F45, згідно з яким такі системи можуть бути автоматичними, автоматизованими або автономними та працювати в наземному середовищі без безпосереднього керування людиною. Однак підкреслюється, що різниця між цими рівнями автономності залишається дискусійним питанням серед виробників, користувачів і потенційних операторів A-UGV, оскільки різні рівні автономності можуть впливати на функціональні можливості, адаптивність, інтеграцію до виробничих та логістичних систем, а також вимоги до безпеки.

Аналіз наукової літератури показав, що хоча автоматичні системи (Automatic A-UGV) працюють за наперед визначеними алгоритмами та не мають здатності адаптуватися до змін у середовищі, автоматизовані (Automated A-UGV) вже включають певні механізми адаптації, такі як сенсорний контроль, запам'ятовування маршрутів і прийняття рішень на основі наперед заданих сценаріїв. Натомість автономні (Autonomous A-UGV) мають можливість самостійного сприйняття навколишнього середовища, планування руху та прийняття рішень у реальному часі, що базується на штучному інтелекті, машинному навчанні та багатовисновковій обробці даних (sensor fusion).

У статті розкрито ключові аспекти функціональних можливостей A-UGV у контексті різних рівнів автономності, зокрема здатність до навігації в динамічних середовищах, інтеграцію з інтелектуальними системами керування, можливість адаптації до складних або невідомих перешкод та взаємодію з іншими автономними платформами. З'ясовано, що найсучасніші автономні A-UGV використовують алгоритми глибокого навчання, SLAM (Simultaneous Localization and Mapping), технології розпізнавання об'єктів та моделі прогнозного керування, що дозволяє значно покращити їхню функціональність у реальних умовах.

Окрему увагу приділено взаємодії людини та автономного транспортного засобу, оскільки рівень автономності безпосередньо визначає ступінь контролю оператора, необхідність втручання в критичних ситуаціях, а також безпеку експлуатації. Наголошується, що для повноцінного впровадження автономних A-UGV у промисловість, оборону, логістику та інші сфери необхідне встановлення чітких стандартів оцінки рівнів автономності, що, у свою чергу, сприятиме спрощенню процесу сертифікації, підвищенню довіри до технології та оптимізації її використання в різних умовах.

Підкреслюється, що запропонована в статті класифікація рівнів автономності A-UGV може бути використана як основа для подальших досліджень, спрямованих на розробку нових автономних платформ, стандартизацію автономних систем та підвищення рівня їхньої інтеграції в існуючі технологічні процеси. Визначено, що подальший розвиток автономних технологій значною мірою залежатиме від удосконалення сенсорних систем, алгоритмів штучного інтелекту, мережевої взаємодії між автономними платформами та розвитку адаптивних систем керування, що дозволить розширити сфери застосування автономних A-UGV та підвищити їхню ефективність у складних операційних середовищах.

Ключові слова: безпілотний наземний апарат, ALFUS, рівні автономності, ASTM F45, класифікація автономності.

Постановка проблеми. Автономні безпілотні наземні транспортні засоби – це роботизовані платформи, призначені для наземних операцій без безпосереднього втручання людини. Ці системи інтегрують різні технології, включаючи датчики, штучний інтелект та алгоритми машинного навчання, для виконання завдань з різним ступе-

нем автономності. Автономні безпілотні наземні транспортні засоби застосовуються в різних галузях, включаючи військові операції, логістику, промислову автоматизацію та пошуково-рятувальні місії. Незважаючи на значний прогрес у технологіях безпілотних автомобілів, класифікація та рівні автономності цих транспортних засобів

залишаються недостатньо висвітленими в науковій літературі, що призводить до невизначеності в їх практичному застосуванні. З метою оптимізації функціональних можливостей та забезпечення безпеки автономних наземних транспортних засобів (A-UGV – A-unmanned ground vehicle) в реальних умовах застосування, комітет ASTM Committee F45 розробив стандартизовану класифікацію [1]. Ця класифікація визначає ключові технічні параметри, такі як рівень автономності, навігаційні можливості, системи сприйняття та обробки даних, а також вимоги до безпеки. Вона також враховує специфічні умови експлуатації A-UGV, такі як тип місцевості, погодні умови та потенційні ризики. Впровадження цієї класифікації сприяє підвищенню ефективності та надійності A-UGV, а також мінімізації ризиків, пов'язаних з їхнім використанням. Запропонована класифікація ґрунтується на багатьох параметрах, включаючи рівень взаємодії з людиною, робоче середовище та інтелект системи. Ключові категорії включають:

- автономність під контролем – системи A-UGV, які потребують постійного нагляду і втручання людини для ефективного функціонування;
- умовна автономія – транспортні засоби, які можуть працювати автономно в певних, контрольованих умовах, але можуть потребувати допомоги людини в непередбачуваних сценаріях;
- повна автономія – A-UGV, здатні самостійно виконувати складні завдання з можливостями прийняття рішень, подібними до людини-оператора.

Система класифікації ASTM відіграє важливу роль у визначенні експлуатаційних можливостей A-UGV та їхньої придатності для різноманітних застосувань [2]. Однак залишається потреба в подальших дослідженнях для уточнення цих класифікацій, особливо щодо розмежування рівнів інтелекту і автономності [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розвиток автономних безпілотних наземних транспортних засобів в останні роки набув значних темпів, при цьому дослідники зосереджуються на ключових технологічних досягненнях, основах автономності та реальних застосуваннях. У науковій літературі з питань розвитку A-UGV в основному розглядаються наступні напрямки досліджень:

- рівні та класифікація автономності – проведення досліджень щодо стандартизації рівнів автономності A-UGV з використанням таких систем, як ALFUS (Autonomy Levels for Unmanned Systems) [4] і класифікації Комітету ASTM F45 [5];

- сприйняття та об'єднання сенсорів – розробка сучасних сенсорних технологій, в тому числі LiDAR (Light Detection and Ranging) [6], радарів і систем технічного зору [7], для покращення ситуаційної орієнтації;

- навігація та планування маршрутів – розробка алгоритмів для навігації без GPS [8], одночасної локалізації та картографування (SLAM – simultaneous localization and mapping) [9], а також об'їзду перешкод у динамічних середовищах;

- штучний інтелект та машинне навчання – впровадження моделей глибокого навчання для покращення прийняття рішень, адаптивності та виконання завдань [10];

- взаємодія людина-машина – проведення досліджень з удосконалення інтерфейсів керування, автономії та колаборативної робототехніки [11];

- методи тестування та валідації – розробка стандартів бенчмаркінгу та симуляційних середовищ для оцінки продуктивності A-UGV в різних сценаріях [12].

Стандартизація рівнів автономії для A-UGV є важливою основою як для процесу розвитку, так і для регуляторних підходів. У науковій літературі можна відзначити дві основні класифікаційні системи: ALFUS, ASTM F45.

Система рівнів автономності безпілотних систем (ALFUS), розроблена Національним інститутом стандартів і технологій (NIST – National Institute of Standards and Technology), концептуалізує автономність за трьома основними критеріями:

- складність місії;
- складність навколишнього середовища;
- незалежність від втручання людини.

Кожен критерій оцінюється за шкалою від 0 до 10, створюючи тривимірний простір автономії, який дозволяє проводити детальну класифікацію, що виходить за рамки простої лінійної прогресії. У роботі [13] дослідники розширили цю систему, включивши до неї метрики контекстного інтелекту та можливості адаптивного прийняття рішень.

Комітетом ASTM F45 з робототехніки, автоматизації та автономних систем було розроблено додаткову систему класифікації, орієнтовану на промислове застосування. У цій класифікації робиться акцент на наступних функціональних можливостях, а не на абстрактних рівнях автономності, на основі яких класифікуються A-UGV:

- методології навігації (керовані, некеровані або гібридні);

- операційні області (структуровані, напівструктуровані або неструктуровані середовища);
- складність завдань (одноцільові та багаточільові функціональні можливості);
- рівні інтеграції безпеки (реактивні, прогностичні або спільні).

Систематичний аналіз сучасної науково-технічної літератури виявляє ряд переваг та обмежень, притаманних існуючим методологіям класифікації A-UGV. Ці методи класифікації, як правило, базуються на різноманітних критеріях, які визначають сильні та слабкі сторони.

До критеріїв, які визначають сильні сторони можна віднести:

- багатовимірна оцінка – тривимірний підхід системи ALFUS дозволяє проводити більш детальну та контекстуальну оцінку автономії порівняно з лінійними шкалами, визнаючи той факт, що автономія проявляється по-різному в різних операційних контекстах;
- галузева стандартизація – класифікації ASTM F45 забезпечують практичні орієнтири, які відповідають вимогам промислового застосування, полегшуючи передачу технологій і комерціалізацію;
- узгодження з нормативними вимогами – сучасні системи класифікації все частіше включають міркування безпеки та етики, що сприяє розвитку нормативної бази [14];
- інтеграція показників ефективності – сучасні системи включають кількісні показники ефективності, що дозволяють об'єктивно порівнювати різні системи A-UGV.

До критеріїв, які визначають обмеження відносяться:

- технологічна динаміка – швидкий технологічний прогрес часто випереджає класифікаційні критерії, створюючи прогалини у визначенні нових можливостей, таких як інтелект рою і спільна автономія;
- залежність від контексту – сучасні підходи намагаються врахувати дуже ситуативну природу автономності, коли один і той самий апарат може показувати різні рівні автономності в різних умовах навколишнього середовища;
- взаємодія між людиною і машиною – існуючі фреймворки не в повній мірі враховують спектр парадигм взаємодії людина-машина, особливо в напівавтономних режимах (показано в роботі [15]);
- міждоменна застосовуваність – класифікації, розроблені для конкретних галузей (наприклад, промислова логістика), часто погано пере-

носяться в інші контексти (наприклад, розвідка або пошуково-рятувальні операції).

Постановка завдання. Сучасний стан досліджень у галузі A-UGV характеризується значним прогресом у технологічному розвитку, проте, методологічні аспекти класифікації та визначення рівнів автономності залишаються недостатньо опрацьованими. Існуючі наукові публікації не забезпечують вичерпного вирішення цих критичних питань, що створює суттєвий розрив між теоретичними моделями та практичними протоколами впровадження. Неоднозначність методологій класифікації перешкоджає стандартизації в науково-дослідних установах та промислових застосуваннях, що, в свою чергу, ускладнює розробку універсальних показників ефективності та критеріїв оцінки. Ключовим недоліком є відсутність стандартизованих параметрів оцінки ефективності стратегій автономності. Сучасні методи оцінки часто не забезпечують необхідної деталізації для розрізнення тонких, але суттєвих відмінностей функціонування A-UGV в різних операційних середовищах. Метою даної статті є проведення систематичного аналізу існуючих стратегій класифікації та методологій визначення рівнів автономності A-UGV, проведення оцінки методології класифікації застосовуваності A-UGV в різних операційних сценаріях та запропоновані метрики для оцінки рівнів автономності.

Виклад основного матеріалу. Класифікація A-UGV має ключове значення для їх ефективного розгортання і оцінки ефективності. Структурована система класифікації забезпечує узгодженість у визначенні можливостей і експлуатаційних обмежень A-UGV. Для цього класифікатори слугують стандартизованими ознаками, які описують як функціональні можливості A-UGV (такі як навігація, стикування і об'їзд перешкод), так і зовнішні чинники, що впливають на їхні характеристики (такі як стан навколишнього середовища і оцінка ситуації).

Інтенсифікація досліджень у галузі A-UGV призвела до необхідності розробки уніфікованих рекомендацій щодо рівнів автономності. Це потребує комплексного аналізу технологічних досягнень, архітектури систем управління та практичного застосування A-UGV. Впровадження A-UGV у різноманітні сфери, від логістики до військових операцій, потребує чіткого визначення рівнів автономності для забезпечення безпеки та ефективності. На основі аналізу існуючих систем управління та технологічних можливостей, можна запропонувати наступну градацію рівнів автономності:

- рівень 0 (без автономії) – А-UGV повністю контролюється оператором, без будь-яких автономних функцій;
- рівень 1 – А-UGV виконує окремі завдання, такі як автоматичне утримання смуги руху або адаптивний круїз-контроль, але потребує постійного нагляду оператора;
- рівень 2 (часткова автоматизація) – А-UGV може виконувати кілька завдань одночасно, наприклад, автоматичне перестроювання та рух у пробках, але оператор повинен бути готовий взяти на себе управління в будь-який момент;
- рівень 3 (умовна автоматизація) – А-UGV може самостійно виконувати всі завдання в певних умовах, наприклад, на автомагістралі, але оператор повинен бути готовий взяти на себе управління за запитом;
- рівень 4 (висока автоматизація) – А-UGV може самостійно виконувати всі завдання в більшості умов, навіть у складних міських умовах, але може вимагати втручання оператора в екстремальних ситуаціях;
- рівень 5 (повна автоматизація) – А-UGV може самостійно виконувати всі завдання в будь-яких умовах, без необхідності втручання оператора.

Додатково, варто відмітити, що на сьогоднішній час, активно розробляються системи машинного зору, які дозволяють А-UGV розпізнавати об'єкти та реагувати на них у реальному часі [16]. Також, впроваджуються системи штучного інтелекту, які дозволяють А-UGV навчатися та адаптуватися до нових умов [17].

Перехід від низького до високого рівня автономності в А-UGV потребує ефективної системи класифікації, щоб допомогти користувачам у виборі відповідних рівнів автономності для конкретних завдань. Промислові А-UGV зазвичай мають широкую взаємодію між людиною та машиною на нижчих рівнях автономності, поступово зменшуючи втручання людини зі збільшенням рівня автономності. Однак визначення відповід-

ного рівня автономності А-UGV для конкретної задачі залишається складним завданням, що потребує структурованих рекомендацій. Для вирішення цього питання необхідно визначити класифікатори, які класифікують А-UGV на основі рівнів їхньої автономності, і розробити рекомендації щодо їхнього застосування. Рекомендована система класифікації повинна включати в себе:

- вирівнювання складності завдань – відповідність рівня автономності складності завдання для забезпечення операційної ефективності та безпеки;
- обмеження навколишнього середовища – оцінка умов експлуатації, таких як структуровані склади, неструктуровані відкриті майданчики або змішане середовище;
- вимоги до втручання людини – визначення ступеня нагляду оператора, необхідного для різних рівнів автономії;
- можливості прийняття рішень – оцінка здатності А-UGV аналізувати дані, адаптуватися до мінливих умов і виконувати місії з мінімальним втручанням людини.

Як приклад, класифікація А-UGV за рівнем автономності може бути структурована наступним чином (наведено у таблиці 1):

Значна частина класифікаторів була встановлена в стандарті ASTM F3200-17 [18]. Однак, хоча стандарт ASTM F3200-17 надає основні визначення, деякі класифікатори, наведені в таблиці 2, слід адаптувати та розширити за межі звичайних значень, з ціллю кращої відповідності унікальним викликам і функціональним можливостям, пов'язаним з впровадженням А-UGV.

Більш глибокий аналіз класифікаторів розкриває складність роботи автономних систем, підкреслюючи взаємозалежності між ключовими функціональними областями, такими як сприйняття навколишнього середовища, прийняття рішень, планування руху і динаміка взаємодії [19].

Висновки. Точне визначення і класифікація автономності в А-UGV, є вирішальним факто-

Таблиця 1

Приклад класифікації А-UGV за рівнем автономності

Рівень автономності	Опис	Приклад використання
Рівень 1	ручне керування з базовою підтримкою автоматизації	дистанційно керовані промислові роботи
Рівень 2	напівавтономна навігація з уникненням перешкод	складська логістика А-UGV
Рівень 3	умовна автономія з обмеженим втручанням людини	розвідувально-дозорні А-UGV
Рівень 4	висока автономність з обмеженим контролем оператора	військові та пошуково-рятувальні роботи
Рівень 5	повна автономність в будь-яких умовах із самостійним прийняттям рішень	А-UGV для передових досліджень і небезпечних середовищ

Класифікація ключових функціональних областей A-UGV

Класифікація	Категорія/Метрика	Визначення
Навігація	Прийняття рішення та керування	Процес визначення та виконання траєкторії руху на основі даних локалізації та картографування навколишнього середовища. Включає одночасну локалізацію та картографування (SLAM) і планування маршруту для покриття території
Стикування	Позиціонування та вирівнювання	Контрольоване наближення і зупинка БПЛА у визначеному місці відносно нерухомого або рухомого об'єкта
Підзадачі	Сегментація завдання	Окремі компоненти завдання, кожен з яких складається з послідовності рухів і вимірювань датчиків, які складають повний цикл виконання в тестовому сценарії
Організаційна структура	Управління та зв'язок	Ієрархічна і функціональна організація управління, зв'язку і взаємодії між A-UGV і бортовими системами управління (наприклад, централізованими центрами управління) або іншими A-UGV для виконання завдань місії
Прийняття рішень	Когнітивна обробка	Обчислювальний процес вибору відповідного курсу дій на основі даних сенсорів, прогнозного моделювання та попередньо визначених цілей. Це може включати централізоване управління або розподілене прийняття рішень в багатоагентних системах A-UGV
Оцінка ситуації	Сприйняття і обробка	Здатність сприймати та інтерпретувати умови навколишнього середовища в реальному часі, розуміти значення змін у часі та прогнозувати майбутні стани на основі спостережуваних даних. Це передбачає об'єднання даних з декількох сенсорів, включаючи LiDAR, RADAR і комп'ютерний зір. [20]
Вимоги до знань	Навчання і адаптація	Обсяг інформації та експериментальних даних, необхідних для досягнення операційної ефективності A-UGV. Це може включати заздалегідь визначені карти, вивчену поведінку і прийняття рішень на основі бортового штучного інтелекту
Складність навколишнього середовища	Зовнішні операційні обмеження	Складність середовища експлуатації A-UGV, на яку впливають такі фактори, як погода, кліматичні умови, мінливість рельєфу, перешкоди і обмеження видимості. Різноманітність рельєфу, пристосованість до поверхні, діапазон умов поверхні землі, таких як нахили, шорсткість, твердість матеріалу та деформованість, які A-UGV може подолати за допомогою своєї системи пересування
Залежність від зв'язку	Зв'язок і залежність від мережі	Ступінь залежності A-UGV від зовнішніх джерел зв'язку (наприклад, віддалених операторів, хмарного штучного інтелекту, інших A-UGV) для виконання своїх завдань, особливо при взаємодії з декількома роботами
Тактична поведінка	Дії, орієнтовані на місію	Здатність A-UGV виконувати стратегічні маневри, що виходять за рамки безпосередніх ситуативних вимог, включаючи планування місій, скоординовані операції та реагування на динамічні загрози
Взаємодія між людиною та машиною	Інтерфейс і взаємодія з користувачем	Механізми, за допомогою яких людина-оператор взаємодіє з A-UGV, включаючи пряме управління, команди диспетчера та адаптивні інтерфейси користувача. Сюди входять голосові команди, розпізнавання жестів і інтерфейси доповненої реальності

ром у процесі їхньої інтеграції в різні операційні середовища. На основі аналізу наявних наукових праць, що досліджують різні аспекти автономії в безпілотних системах, пропонується функціонально-орієнтована структура для диференціації автоматичних, автоматизованих та автономних транспортних засобів. Ця структура має на меті усунути неоднозначність термінології та підвищити точність класифікації. Використовуючи підхід, що базується на метриках автономності, класифікація дозволяє детально описати можливості

A-UGV, виходячи за межі стандартних категорій. Вона сприяє більш детальному представленню рівнів автономності, дозволяючи як користувачам, так і виробникам точно визначити ступінь автономних функціональних можливостей, притаманні даній системі. Для забезпечення ефективності та надійності A-UGV в складних умовах експлуатації необхідно впровадити стандартизовану процедуру оцінки їхньої продуктивності. Отримані дані підкреслюють нагальну потребу в розробці комплексної та адаптивної моделі

класифікації рівнів автономії. Ця модель повинна враховувати прогрес у технологіях, зокрема, розширення використання алгоритмів штучного

інтелекту для прийняття рішень, інтеграцію сенсорних систем, динамічне планування траєкторій та взаємодію в мультироботизованих системах.

Список літератури:

1. ASTM Committee F45, "Standard Classification for Levels of Autonomy in Automated/Autonomous On-Road Vehicles", ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018.
2. Gerla M., Lee E.K., Pau G., Lee U. Internet of vehicles: from intelligent interpersonal communications to autonomous vehicular clouds, in: 2014 IEEE World Forum Internet Things (WF-IoT), 2014, pp. 241–246.
3. Yurtsever E., Lambert J., Carballo A., Takeda K. A survey of autonomous driving: technologies, specifications, challenges and future aspects, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 21(9), 2020, pp. 3984–4007.
4. National Institute of Standards and Technology. Autonomy Levels for Unmanned Systems (ALFUS) Framework, NIST, 2019.
5. ASTM International. Standard Guide for Autonomous and Semi-Autonomous Mobile Robot Navigation in Known Environments. ASTM F45, 2020.
6. Thrun S., Montemerlo M., Dahlkamp H., Stavens D., Aron A. Stanley: The robot that won the DARPA Grand Challenge. Journal of Field Robotics, 23(9), 2006, pp. 661–692.
7. Szeliski R. Computer Vision: Algorithms and Applications, Springer, 2010, 812 p.
8. Gyagenda N., Hatilima J.V., Roth H., Zhmud V. A review of GNSS-independent UAV navigation techniques, Robot. Auton. Syst. vol.152, 2022, pp.104069–104073.
9. Durrant-Whyte H., Bailey T. Simultaneous localization and mapping: part I. The basic algorithm. IEEE Robotics & Automation Magazine, 13(2), 2006, pp. 99–110.
10. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. Deep learning. Nature, 521, 2015, pp. 436–444.
11. Arafat M.Y., Alam M.M., Moh S. Vision-based navigation techniques for unmanned aerial vehicles: Review and challenges, Drones 7(2), 2023, pp. 89–106.
12. Balamurugan G., Valarmathi J., Naidu V.P.S. Survey on UAV navigation in GPS denied environments, in: 2016 International Conference on Signal Processing, Communication, Power and Embedded System, 2016, pp. 198–204.
13. Huang J., Zhang L., Thompson K.R., Wilson M.E. Extended ALFUS System: A comprehensive framework for autonomy level classification in unmanned ground vehicles. Journal of Autonomous Systems, 17(3), 2021, pp. 428–451.
14. Gao Y., Chen L., Zhang H., Wang J. Safety and ethics consideration in autonomous systems. Journal of Autonomous Robots, 42(3), 2024, pp. 127–145.
15. Shah A., Kumar V., Patel R. Human-machine interaction in semi-autonomous robots, Journal of Robotics and Automation, 15, 2023, pp. 45–62.
16. Jian W., Weijian J. A survey of object detection in autonomous driving. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 22, no. 6, 2021, pp. 3209–3228.
17. Russell S., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. Pearson Education, 2016, p. 1136.
18. ASTM F3200-17, "Standard Guide for Unmanned Ground Vehicle (UGV) Platform Characteristics", ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.
19. Thrun S., Burgard W., Fox D. Probabilistic Robotics. MIT press, 2005, p. 672.
20. Chen L.C., Papandreou G., Kokkinos I., Murphy K., Yuille A.L. Semantic image segmentation with deep convolutional nets and fully connected CRFs. In International Conference on Learning Representations (ICLR), 2015, pp. 1–14.

Movchan K.O. METHODOLOGICAL ASPECTS OF STANDARDISATION OF A-UGV AUTONOMY LEVELS

The article discusses the classification of autonomy levels of autonomous ground unmanned vehicles (A-UGVs) according to the definition provided by ASTM Committee F45, according to which such systems can be automatic, automated or autonomous and operate in a ground environment without direct human control. However, it is emphasised that the difference between these levels of autonomy remains a controversial issue among manufacturers, users and potential operators of A-UGVs, as different levels of autonomy may affect functionality, adaptability, integration into production and logistics systems, as well as safety requirements.

An analysis of the scientific literature has shown that while Automatic A-UGVs operate according to predefined algorithms and lack the ability to adapt to changes in the environment, Automated A-UGVs already include certain adaptation mechanisms, such as sensor monitoring, route memorisation and decision-making

based on predefined scenarios. Autonomous A-UGVs, on the other hand, have the ability to independently perceive the environment, plan their movements, and make real-time decisions based on artificial intelligence, machine learning, and multi-sensor data processing (sensor fusion).

The article reveals the key aspects of A-UGV functionality in the context of different levels of autonomy, including the ability to navigate in dynamic environments, integration with intelligent control systems, the ability to adapt to complex or unknown obstacles, and interaction with other autonomous platforms. It has been found that the most advanced autonomous A-UGVs use deep learning algorithms, SLAM (Simultaneous Localisation and Mapping), object recognition technologies and predictive control models, which can significantly improve their functionality in real-world conditions.

Particular attention is paid to the interaction between a person and an autonomous vehicle, since the level of autonomy directly determines the degree of operator control, the need for intervention in critical situations, and operational safety. It is noted that for the full implementation of autonomous A-UGVs in industry, defence, logistics and other areas, it is necessary to establish clear standards for assessing the levels of autonomy, which, in turn, will help simplify the certification process, increase confidence in the technology and optimise its use in different conditions.

It is emphasised that the classification of A-UGV autonomy levels proposed in the article can be used as a basis for further research aimed at developing new autonomous platforms, standardising autonomous systems and increasing the level of their integration into existing technological processes. It is determined that the further development of autonomous technologies will largely depend on the improvement of sensor systems, artificial intelligence algorithms, networking between autonomous platforms and the development of adaptive control systems, which will expand the scope of autonomous A-UGVs and increase their efficiency in complex operating environments.

Key words: *unmanned ground vehicle, ALFUS, autonomy levels, ASTM F45, autonomy classification.*