

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Дубовика Віталія Валентиновича на тему «Розроблення програмного комплексу навчання роботехнічних систем ліквідації наслідків техногенного походження», представлену на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення

Актуальність теми дисертаційної роботи. Застосування роботехнічних систем під час ліквідації наслідків техногенних аварій, руйнувань об'єктів критичної інфраструктури, пожеж, вибухів, витоків небезпечних речовин та інших кризових подій є одним із важливих напрямів сучасної робототехніки й інженерії програмного забезпечення. Робота в таких середовищах супроводжується високим ризиком для людини, неповнотою сенсорної інформації, динамічною зміною обстановки та жорсткими часовими обмеженнями. За цих умов ефективність роботизованих засобів визначається не лише конструкцією платформи, а й можливістю попередньо відпрацьовувати алгоритми поведінки, адаптувати їх до нових сценаріїв і контролювати безпечність прийнятих рішень.

Дисертаційна робота Дубовика В. В. спрямована на проєктування та розроблення програмного комплексу навчання роботехнічних систем, у якому поєднано засоби імітаційного моделювання, цифровий двійник, механізми обробки сенсорної інформації, класичні алгоритми керування та методи машинного навчання. Така постановка відповідає сучасній тенденції переходу від жорстко заданих сценаріїв роботи робота до циклічної підготовки, перевірки та адаптації його поведінки. Тому актуальність дослідження не викликає сумнівів, а спрямованість на задачі цивільного захисту й аварійно-рятувального реагування надає роботі виразного практичного значення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами.

Дисертаційне дослідження виконувалося відповідно до індивідуального плану підготовки аспіранта кафедри інженерії програмного забезпечення та інформаційних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара. Робота пов'язана з науково-дослідними темами № ФПМ-2-22 «Розроблення програмного забезпечення аналізу та кластеризації часових рядів» (2022–2024 рр., номер державної реєстрації 0122U001465) та № 58-ФПМ-2-25 «Розроблення інформаційної технології обробки статистичних даних» (2025–2027 рр., номер державної реєстрації 0125U002280). Такий зв'язок є логічним, оскільки запропонований комплекс використовує засоби аналізу даних, моделювання динамічних процесів і програмної інтеграції різномірних компонентів.

Формулювання наукової задачі, розв'язання якої одержане в дисертації. У роботі розв'язується актуальна науково-прикладна задача проєктування, розроблення та тестування програмного забезпечення для навчання роботехнічних систем, призначених для ліквідації наслідків техногенного походження. Наукова задача охоплює не лише побудову окремих алгоритмів, а й організацію цілісного програмного контуру, у якому моделювання середовища, цифровий двійник, навчальні модулі, засоби верифікації та керування взаємодіють у межах єдиної архітектури.

Для досягнення поставленої мети автором сформульовано й розв'язано такі завдання:

1. Здійснено класифікацію роботехнічних систем, що використовуються під час ліквідації наслідків техногенного походження.
2. Виконано порівняльний аналіз підходів до автоматизації процесу навчання роботехнічних систем різної конструкції та призначення.
3. Сформульовано постановку технічної задачі для розроблення програмного комплексу.

4. Спроектовано гібридну модульну архітектуру програмного комплексу та визначено місце цифрового двійника в навчальному циклі.
5. Проаналізовано наявні інструменти й сформовано набір технологій для розроблення програмних компонентів.
6. Розроблено програмні модулі, що забезпечують роботу з візуальними, просторовими, мережевими та часовими даними.
7. Здійснено тестування програмних реалізацій і аналіз одержаних результатів.

Наукова новизна одержаних результатів. Вважаю, що до основних положень, які характеризують наукову новизну дисертаційної роботи, належать такі результати:

1. Вперше розроблено концептуальну та програмну модель комплексної системи навчання роботехнічних систем ліквідації наслідків техногенного походження, яка інтегрує засоби імітаційного моделювання, обробки сенсорної інформації, автономної навігації та підтримки прийняття рішень у єдиному програмному середовищі.
2. Вперше запропоновано архітектурний підхід на основі модульної гібридної організації компонентів, що забезпечує можливість поєднання детермінованих алгоритмів керування з адаптивними моделями та допускає інтеграцію з різними типами роботехнічних платформ.
3. Удосконалено організацію симуляційного навчання шляхом формалізації сценаріїв надзвичайних ситуацій із варіюванням параметрів середовища, сенсорних шумів і перешкод.

4. Удосконалено підхід до поєднання алгоритмів машинного навчання з класичними засобами керування, що дає змогу розмежувати функції адаптації та забезпечення гарантовано безпечної поведінки.
5. Набули подальшого розвитку методи програмної підготовки робототехнічних систем за рахунок використання цифрового двійника та системи кількісних показників оцінювання результатів навчання.
6. Набули подальшого розвитку підходи до проєктування спеціалізованих програмних комплексів для задач цивільного захисту й аварійно-рятувальних операцій з урахуванням підвищених вимог до надійності та безпеки.

Найбільш суттєвим результатом роботи вважаю системне поєднання цифрового двійника з гібридним контуром керування. Для задач аварійно-рятувальної робототехніки це важливо, оскільки адаптивні рішення не повинні безпосередньо переноситися на фізичний робот без попередньої перевірки обмежень безпеки, стійкості та працездатності.

Практичне значення одержаних результатів. Запропонований підхід може бути використаний як програмна основа для створення навчальних стендів і засобів тестування мобільних наземних, повітряних та маніпуляційних робототехнічних систем. Симуляційне середовище дає змогу відтворювати небезпечні сценарії без ризику для персоналу й обладнання, а модульна структура створює передумови для підключення нових сенсорів, алгоритмів навігації та засобів підтримки прийняття рішень.

Практичний інтерес становлять також програмний модуль візуальної ідентифікації, альтернативна система оповіщення, засоби просторового розподілу ресурсів і програмні моделі кризових процесів. Результати можуть бути корисними підрозділам цивільного захисту,

аварійно-рятувальним службам, підприємствам критичної інфраструктури, розробникам спеціалізованих роботизованих платформ, а також закладам вищої освіти під час підготовки фахівців з інженерії програмного забезпечення, робототехніки та штучного інтелекту.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій. Обґрунтованість результатів забезпечується застосуванням методів системного аналізу, проєктування програмної архітектури, імітаційного та математичного моделювання, комп'ютерного зору, машинного навчання й програмного тестування. Автор послідовно переходить від аналізу вимог до побудови архітектури та формалізації навчального циклу, а висновки загалом узгоджені з поставленими завданнями. Використані підходи відповідають сучасним напрямам розвитку цифрових двійників, симуляційного навчання та гібридного керування робототехнічними системами.

Достовірність прикладних результатів підтверджується наведеними чисельними й програмними експериментами, а також апробацією у наукових публікаціях. Частина архітектурних і навчальних механізмів подана на концептуальному рівні, що не заперечує цінності запропонованого підходу, але визначає напрями його подальшої деталізації та експериментального розвитку.

Особистий внесок здобувача. Дисертація є самостійною науковою працею. Автором виконано аналіз предметної області, сформовано вимоги до програмного комплексу, спроектовано його архітектуру, розроблено програмні модулі, проведено чисельні та програмні експерименти, а також узагальнено одержані результати. Особистий внесок у спільні публікації конкретизовано та охоплює програмну реалізацію, архітектурні рішення, постановку експериментів і аналіз результатів.

Повнота оприлюднення результатів. Основні положення дисертації опубліковано у 8 наукових працях, серед яких 5 статей у

наукових фахових виданнях України категорії Б та 3 тези доповідей у збірниках матеріалів міжнародних науково-практичних конференцій. Тематика публікацій охоплює програмний комплекс навчання роботехнічних систем, архітектуру комп'ютерного зору, сегментацію зображень, просторове моделювання та програмну реалізацію моделей кризових процесів.

Оцінка структури дисертації, мови та стилю викладення. Дисертаційну роботу викладено на 166 сторінках, з яких 148 сторінок становить основний текст. Вона містить вступ, чотири розділи, висновки, перелік із 70 використаних джерел і чотири додатки; ілюстративний матеріал включає 29 рисунків та 3 таблиці. У першому розділі проаналізовано роботехнічні системи аварійно-рятувального призначення, програмні платформи, методи навігації й локалізації, машинне навчання та людино-роботну взаємодію. У другому розділі визначено вимоги до комплексу, запропоновано гібридну архітектуру й обґрунтовано цифровий двійник як центральний компонент навчального процесу. Третій розділ містить формалізацію адаптивного навчання, опис програмних засобів комп'ютерного зору та підхід до оцінювання ефективності. У четвертому розділі розглянуто прикладні програмно-математичні модулі ситуаційної обізнаності, просторового моделювання й прогнозування кризових процесів.

Матеріал викладено українською мовою із застосуванням сучасної наукової термінології. Структура роботи загалом відповідає логіці поставленої науково-прикладної задачі, а висновки до розділів відображають основні результати проведених досліджень.

Зауваження до роботи

Незважаючи на загальний позитивний рівень дисертації, до роботи є окремі зауваження дискусійного характеру:

1. У роботі детально описано роль цифрового двійника, однак доцільно було б конкретизувати технічний механізм його двосторонньої взаємодії з фізичною роботехнічною платформою: протокол обміну, структуру повідомлень, частоту синхронізації, часові затримки та порядок корекції розбіжностей між віртуальним і реальним станами.
2. Для підвищення відтворюваності результатів третій розділ варто було б доповнити наскрізним прикладом навчання для конкретної мобільної платформи із визначенням простору станів і дій, функції винагороди, критеріїв завершення навчання та обмежень безпеки.
3. Проблему перенесення результатів із симуляції у фізичне середовище розглянуто переважно концептуально. Роботу посилило б наведення кількісних показників *sim-to-real transfer* або результатів *hardware-in-the-loop* випробувань для одного репрезентативного сценарію.
4. Підтримку багатороботних сценаріїв і розподіленого навчання сформульовано як вимогу до комплексу. Доцільно було б детальніше охарактеризувати механізми координації агентів, поведінку системи за втрати зв'язку та експериментальну оцінку масштабування зі збільшенням кількості роботів.
5. У гібридному контурі керування важливим є формальний пріоритет захисних детермінованих механізмів над рішеннями навченої моделі. Бажано було б чіткіше описати умови переходу до резервного режиму, процедури аварійної зупинки та критерії допуску оновленої політики до фізичної системи.

Наведені зауваження визначають можливі напрями подальшого розвитку дослідження та не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи.

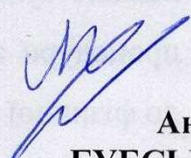
Загальний висновок. Дисертаційна робота Дубовика Віталія Валентиновича на тему «Розроблення програмного комплексу навчання роботехнічних систем ліквідації наслідків техногенного походження» є завершеною самостійною науковою працею, у якій розв'язано актуальну науково-прикладну задачу проєктування та розроблення програмного комплексу для підготовки роботехнічних систем до дій у небезпечних і невизначених умовах. Одержані результати характеризуються науковою новизною, мають практичне значення та відповідають предметній області спеціальності 121 Інженерія програмного забезпечення.

Оформлення дисертації відповідає Вимогам до оформлення дисертації, затвердженим наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 № 40 (зі змінами). За актуальністю, науковим рівнем, обґрунтованістю результатів, практичним значенням і повнотою їх оприлюднення дисертаційна робота відповідає вимогам Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 № 44 (зі змінами), а її автор Дубовик Віталій Валентинович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення.

Офіційний опонент

доцент кафедри інформатики та програмної інженерії
факультету інформатики та обчислювальної техніки
Національного технічного університету України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», кандидат
технічних наук

Підпис Губського А. М. засвідчую. Вчений секретар КПП ім.
Ігоря Сікорського


**Андрій
ГУБСЬКИЙ**


**Валерія
ХОЛЯВКО**
Тамара Вовня

