

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 з
галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 121
Інженерія програмного забезпечення**

Актуальність теми дисертації

Зростання кількості техногенних аварій, руйнувань інфраструктури, пожеж, вибухів і подій воєнного характеру зумовлює потребу в інформаційних технологіях, здатних підтримувати роботу роботехнічних систем у небезпечних та слабко структурованих середовищах. Особливо важливою є можливість попереднього моделювання аварійних сценаріїв, навчання алгоритмів керування без ризику для людей та обладнання, а також повторної перевірки поведінки системи після зміни умов експлуатації.

Робота Дубовика В. В. присвячена програмному середовищу навчання роботехнічних систем на основі гібридної архітектури та цифрового двійника. Позитивною рисою є прагнення автора об'єднати в єдиному циклі модель середовища, сенсорні дані, класичне керування, навчальні алгоритми, оцінювання результатів і операторський контроль. Такий підхід відповідає сучасним тенденціям розвитку кіберфізичних систем і робить тему дисертації актуальною для інженерії програмного забезпечення.

Оцінка змісту та завершеності дисертації

Дисертація має загальний обсяг 166 сторінок, з яких 148 сторінок становить основний текст. Робота містить вступ, чотири розділи, висновки, перелік із 70 використаних джерел і чотири додатки; наведено 29 рисунків та 3 таблиці. Структура загалом відповідає поставленій меті та відображає основні етапи проектування спеціалізованого програмного комплексу.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, визначено мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження, сформульовано положення наукової новизни та практичне значення результатів, наведено відомості про особистий внесок, апробацію та публікації здобувача.

Перший розділ містить аналіз роботехнічних систем, що застосовуються у надзвичайних ситуаціях, сучасних архітектур і програмних платформ, методів навігації, локалізації, машинного навчання та безпечної взаємодії з оператором. На підставі проведеного аналізу визначено обмеження наявних підходів і сформульовано наукову задачу.

У другому розділі розглянуто вимоги до програмного комплексу, концепцію гібридної архітектури, місце цифрового двійника та взаємодію основних модулів. Автор обґрунтовує поєднання класичних алгоритмів керування з навчальними моделями, що має забезпечувати баланс між передбачуваністю поведінки системи та її здатністю до адаптації.

Третій розділ присвячено формалізації адаптивного навчання, моделі навчального циклу Digital Twin, методам машинного навчання, програмним засобам комп'ютерного зору та підходу до багатокритеріального оцінювання ефективності. Суттєвим є подання процесу навчання як послідовності збору даних, оновлення моделі, валідації та прийняття рішення щодо подальшого використання результатів.

У четвертому розділі наведено прикладні програмно-математичні модулі для збору ситуаційної інформації, просторового розподілу ресурсів і прогнозування кризових процесів. Результати розділу демонструють можливість розширення запропонованої архітектури засобами моніторингу, моделювання та підтримки прийняття рішень. У висновках узагальнено основні результати та окреслено напрями подальшого розвитку дослідження.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Наукові положення базуються на аналізі сучасних підходів до робототехніки, цифрових двійників, машинного навчання, комп'ютерного зору та програмної архітектури. Автор використовує методи системного аналізу, моделювання, проектування й тестування програмного забезпечення. Висновки до розділів логічно узгоджені з викладеним матеріалом, а основні результати оприлюднено у наукових працях.

Обґрунтованість архітектурних рішень посилюється модульним поділом відповідальності, використанням цифрового двійника для перевірки стратегій і введенням кількісних критеріїв оцінювання. Прикладні модулі підтверджують можливість програмної реалізації

окремих функцій збору, аналізу й моделювання даних. Одержані результати загалом відповідають заявленій меті дослідження.

Основні наукові результати та їх наукова новизна

Наукова новизна дисертації визначається комплексним підходом до побудови програмного середовища навчання роботехнічних систем для задач техногенного реагування. До основних результатів належать:

1. Вперше розроблено концептуальну та програмну модель системи, що інтегрує імітаційне моделювання, опрацювання сенсорної інформації, автономну навігацію, навчання та підтримку прийняття рішень.
2. Вперше запропоновано модульний архітектурний підхід, орієнтований на масштабування, підключення різномірних алгоритмів і застосування з різними типами роботехнічних платформ.
3. Удосконалено метод організації сценарій-орієнтованого симуляційного навчання за рахунок варіативності параметрів середовища.
4. Удосконалено підхід до поєднання класичного й адаптивного керування з виділенням механізмів безпечної перевірки нових стратегій.
5. Набули подальшого розвитку методи програмної підготовки роботехнічних систем завдяки використанню системи кількісних показників результативності, безпеки, адаптивності, стійкості та ресурсної ефективності навчання.
6. Набули подальшого розвитку підходи до проектування спеціалізованих програмних комплексів для цивільного захисту та аварійно-рятувальних операцій з урахуванням підвищених вимог до надійності й безпеки.

Зазначені результати мають значення для розвитку інформаційних технологій моніторингу та керування, оскільки формують програмний контур, у якому дані фізичної системи, цифрова модель і навчальні алгоритми розглядаються як компоненти єдиного життєвого циклу.

Практичне значення одержаних результатів

Практичне значення полягає в можливості використання запропонованої архітектури для побудови спеціалізованих систем підготовки роботизованих платформ. Комплекс дає змогу формувати навчальні сценарії, накопичувати дані, перевіряти стратегії у

симуляційному середовищі та доповнювати базову систему новими аналітичними модулями. Програмні напрацювання з комп'ютерного зору, ситуаційної обізнаності й моделювання можуть використовуватися як окремі компоненти або як джерела даних для цифрової моделі ситуації.

Перспективними напрямками застосування є аварійно-рятувальні служби, цивільний захист, моніторинг критичної інфраструктури, навчальні лабораторії та розроблення програмного забезпечення автономних роботів. Модульність підходу створює передумови для його адаптації до різних типів платформ і обчислювальних середовищ.

Особистий внесок здобувача, апробація та публікації

Основні результати одержано здобувачем особисто або за його безпосередньої участі. Дубовиком В. В. виконано аналіз предметної області, проектування архітектури, розроблення програмних модулів, постановку чисельних експериментів та інтерпретацію результатів. Особистий внесок у спільні праці наведено в дисертації.

Результати апробовано на науковому семінарі та міжнародних науково-практичних конференціях. Опубліковано 8 наукових праць: 5 статей у фахових виданнях України категорії Б і 3 тези доповідей. Публікації охоплюють основні напрями дисертаційної роботи та підтверджують її апробацію.

Зауваження до викладеного у дисертації

Незважаючи на позитивну оцінку одержаних результатів, робота містить окремі положення, які потребують додаткового уточнення:

1. У підрозділах 2.4–2.5 заявлено масштабованість і універсальність запропонованої архітектури. Для кількісного підтвердження цих властивостей доцільно було б навести результати випробувань за різної кількості модулів, потоків сенсорних даних і паралельно виконуваних сценаріїв.
2. Експериментальний опис програмного комплексу варто було б доповнити характеристиками апаратно-програмного середовища, версіями основних бібліотек, параметрами конфігурації та показниками використання процесорного часу й пам'яті. Це підвищило б відтворюваність результатів.

3. У роботі доцільно було б систематизувати стратегію тестування програмного комплексу, розмежувавши модульні, інтеграційні, системні та навантажувальні випробування, а також навести критерії успішності для кожного рівня перевірки.
4. У третьому розділі недостатньо чітко розмежовано програмно реалізовані й експериментально перевірені компоненти та складові перспективної архітектури. Доцільно було б подати зведену таблицю зі статусом модулів, їхніми інтерфейсами, технологіями реалізації та виконаними тестами.
5. Зв'язок системи ситуаційного оповіщення, задачі динамічного розбиття території та моделей поширення інфекційних захворювань з основним циклом навчання роботехнічних систем пояснено переважно на концептуальному рівні. Роботу посилила б єдина схема потоків даних, яка показує місце кожного прикладного модуля в архітектурі комплексу.
6. Для чисельних результатів доцільно було б наводити не лише окремі або середні значення показників, а й оцінки їх варіабельності, довірчі інтервали чи результати повторних запусків за фіксованих умов. Це дало б змогу статистично підтвердити стійкість одержаних висновків.

Висловлені зауваження мають уточнювальний і дискусійний характер, не ставлять під сумнів основні результати та не знижують загальної позитивної оцінки дисертації.

Повнота викладу результатів дисертації в публікаціях

За темою дисертації опубліковано 8 наукових праць, з яких 5 статей у наукових фахових виданнях України категорії Б та 3 тези доповідей у збірниках матеріалів міжнародних науково-практичних конференцій. Публікації загалом відображають основні результати дисертаційного дослідження, а апробація результатів на наукових заходах підтверджує їх обговорення професійною спільнотою.

Загальний висновок

Дисертаційна робота Дубовика Віталія Валентиновича є завершеним науковим дослідженням, у якому одержано результати з проектування програмного комплексу навчання роботехнічних систем на основі цифрового двійника, гібридної архітектури та модульної обробки даних.

Робота має наукову новизну, практичну спрямованість і відповідає 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 змістом, науковим рівнем, новизною, практичним значенням і повнотою оприлюднення результатів 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

завідувач кафедри програмного
забезпечення автоматизованих
систем Черкаського державного
технологічного університету
Міністерства освіти і науки
України, доктор технічних наук,
професор



Сергій ГОЛУБ

*Підпис проф. С. В. Голуба
засвідчую.*

Перший проректор Черкаського
державного технологічного
університету, кандидат технічних
наук, професор




Артем ГОНЧАРОВ