

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора, головного наукового співробітника
Боряка Костянтина Федоровича на дисертаційну роботу
ДЕМИДЕНКА ВОЛОДИМИРА ЕДУАРДОВИЧА
«Імітаційна модель пострілу гармати та методи верифікації його життєвого циклу в
комп'ютерно-інтегрованої системі управління», яку представлено на здобуття
наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю
151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування»,
про науковий рівень дисертації і публікацій за темою дисертації.

Актуальність обраної теми.

Дисертаційна робота спрямована на підвищення ефективності та зменшення часу виконання бойової роботи комп'ютерно-інтегрованою системою управління (КІСУ) при впровадженні практичних стрільб гарматою в умовах різних збурень. Це досягається шляхом удосконалення імітаційної моделі пострілу та розробки методів верифікації окремих елементів ланцюга життєвого циклу кожного артилерійського пострілу, які формують зворотний зв'язок. Мета роботи полягає у підвищенні ефективності та зменшенні часу виконання бойового завдання артилерійською гарматою в умовах тривалих динамічних збурень шляхом удосконалення імітаційної моделі артилерійського пострілу, яка дозволяє більш адекватно відтворювати процес рівноважної термодеструкції при різних температурах суміші інертних і порохових газів в зарядній камері та на вході в канал ствола під час артилерійського пострілу, точніше визначати склад піротехнічної суміші, та вдосконалення методів керування станами пострілів із залученням комп'ютерно-інтегрованої системи управління (КІСУ) артилерійською стрільбою.

Для цього потрібно розробити метод верифікації складу піротехнічної суміші за допомогою бібліотечних методів, удосконаливши модель рівноважної термодеструкції при різних температурах суміші інертних та порохових газів. Це забезпечить точніше визначення хімічного складу та його змін, що є критично важливим для стабільності та надійності артилерійських пострілів. Також потрібно вдосконалити методи автоматизованого керування стрільбою причіпних артилерійських установок, використовуючи моделі стохастичних процесів. Це дозволить враховувати можливі зміни в термодеструкції, які можуть відбуватися в бойових умовах під час артилерійського пострілу, щоб своєчасно відреагувати на ці зміни і забезпечити адаптивне та ефективне управління артилерійською стрільбою.

Додатково, розробити адаптивну модель та визначити потрібну мінімальну кількість вимірювачів параметрів реєстрації балістичної та дульної хвиль по лінії стрільби. Оптимізація розташування вимірювачів підвищить точність визначення траєкторії снаряда та його взаємодії з цільовими об'єктами, що збільшить загальну ефективність артилерійських систем. Інтеграція сучасних інформаційних технологій, таких, як алгоритми машинного навчання, дозволить покращити обробку та аналіз даних, отриманих під час стрільб, забезпечуючи швидке адаптування до динамічних змін бойових умов.

Розробка та впровадження запропонованих методів і адекватних імітаційних моделей є надзвичайно актуальними у сучасних умовах розвитку комп'ютерно-

інтегрованої системи управління артилерійською стрільбою. Вони сприяють значному підвищенню бойової ефективності та оперативної спроможності КІСУ, забезпечують надійність та точність виконання бойових завдань навіть у складних та динамічних умовах. Таким чином, результати цієї дисертаційної роботи мають суттєвий практичний потенціал для підвищення ефективності застосування комп'ютерно-інтегрованої системи управління (КІСУ) артилерійським озброєнням, підвищення їхньої конкурентоспроможності на сучасному полі бою при виконанні військових операцій. Актуальність дослідження підтверджується необхідністю постійного вдосконалення бойових систем управління артилерійською стрільбою для забезпечення ефективності застосування артилерійського озброєння в умовах сучасних військових конфліктів, де швидкість реакції та точність виконання завдань є критично важливими факторами успіху.

Новизна представлених теоретичних та експериментальних результатів дослідження.

Зазначена в роботі наукова новизна містить раніше незахищені наукові положення та отримані автором нові науково обґрунтовані результати. А саме:

- Удосконалено метод визначення рівноважного вмісту продуктів горіння порошу стандартного складу. Зокрема, у відповідній моделі для газоподібної та конденсованої фаз горіння, як спосіб визначення поточної брутто-формули артилерійського порошу, використовують їх мольні частки, що утворюються в ємності фіксованого об'єму внаслідок зміни температури порохових газів, що утворились як результат спалювання порцій порошу змінної маси в інертній атмосфері. Це унеможливило догорання порохових газів при негативному кисневому балансі суміші інертних і порохових газів в зарядній камері та на вході в канал ствола під час артилерійського пострілу, що дозволило провести верифікацію складу артилерійських порохових зарядів в будь-якому стані для заповнення бібліотеки засобом чисел–згорток, що складають компонент моделювання зворотного зв'язку в ланцюзі станів життєвого циклу артилерійського пострілу.

- Виявлено доцільність подальшого удосконалення імітаційної моделі пострілу та методу ефективного керування станами бойової роботи причіпної артилерійської гармати за умовами зовнішнього динамічного збурення, які залежать від часу здійснення пострілів при зміні вогневої позиції. Таким чином стало можливим визначення терміну виконання бойового завдання окремих самохідних артилерійських систем за умови втрати боєздатності тільки у разі внутрішніх динамічних збурень під час використання запропонованої чотирьох компонентної моделі керування бойовими діями окремої самохідної артилерійської системи без зміни вогневої позиції, що дозволило провести верифікацію ланки траєкторії руху снаряда в ланцюгу станів життєвого циклу артилерійського пострілу.

- Вперше запропоновано метод визначення мінімально-оптимальної кількості вимірювачів параметрів реєстрації балістичної та дульної хвиль серед існуючої множини, розташованих по лінії стрільби, для найбільш ефективного відслідковування артилерійського пострілу, що дало можливість верифікації ланки точки зустрічі снаряда з поверхнею об'єкту ураження в ланцюгу станів життєвого циклу артилерійського пострілу на основі параболічної апроксимації характеристик траєкторії руху снаряда, що забезпечило КІСУ гарматою сенсорною системою для компенсації випадкових збурень, які діють на снаряд при пострілі.

Слід відмітити, що заявлені пункти наукової новизни теоретичних та експериментальних результатів дослідження опубліковані і відображені в наукових періодичних виданнях та отриманих патентах України на інтелектуальну власність:

– Brunetkin, O., Maksymov, M., Dobrynin, Y., Demydenko, V., Sidelnikov, O. *Development of a process model for determining the composition and energy characteristics of a pyrotechnic mixture using the library method*. EUREKA: Physics and Engineering. 2024. №5, P.99-112.

– Boltenkov V, Brunetkin O, Maksymova O, Kuzmenko V, Gultsov P, Demydenko V., Soloviova O. Devising a method for improving the efficiency of artillery shooting based on the Markov model. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol 6. № 3 (114). P. 6-7.

– Brunetkin O., Beglov K., Brunetkin V. Maksymov O., Maksymova O., Havaliukh O., Demydenko V. Construction of a method for representing an approximation model of an object as a set of linear differential models. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol 6 №2(108). P. 66–73.

– Demydenko V.E., Retsenko S.S., Maksimov M.M. The method of determining three acoustic sensors for registering the ballistic wave of an artillery shot. *Electrical and computer systems*. 2024. No. 41(117). pp. 43-52.

– Butenko O.V., Maksymov M.V., Demydenko V.E., Brunetkin O.I. A method of finding a solution to a complex problem of interpretation for solving the inverse problem of determining the composition of fuel. *Ship power plants*. Scientific and technical collection. Odesa. 2019. No. 39. P. 30–42.

– Maksimov M.V., Demydenko V.E., Butenko O.V., Brunetkin O.I. Model of pyrolysis of organic substances of variable composition. *Integrated technologies and energy saving*. 2020. No. 3. P. 12-24.

– Demydenko V.E., Maksymov M.V., Boltenkov V.O. Combat operations model of a single self-propelled artillery system for the computer game ARMA 3. *Applied Aspects of Information Technology*. 2024. Vol. 7, No. 3: 207–218.

– Maksymov O., Toshev O., Demydenko V., & Maksymov M. Simulation modeling of artillery operations in computer games: approach based on Markov processes. *Technology Audit and Production Reserves*. 2024. №5/2(79). P. 23-28.

– Спосіб визначення координати зустрічі артилерійського снаряда з поверхнею: патент України на винахід. № 127193; заявл. 28.04.21 ; опубл. 31.05.2023. Бюл. №22.

– Спосіб визначення енергетичної ефективності артилерійської гармати: пат. України на винахід. № 155822., заявл. 05.04.21 ; опубл. 24.04.24. Бюл. № 17.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Ступінь обґрунтованості наукових положень є цілком достатнім, підтверджується коректним і логічно-послідовним викладенням матеріалу. Запропоноване удосконалення імітаційних моделей, яке дозволяє більш точно відтворювати реалістичні бойові умови, а розвиток методів керування станами життєвого циклу артилерійського пострілу забезпечує ефективне реагування на випадкові зміни динамічного збурення, що виникають під час виконання бойових завдань. Таким чином, висока ступінь обґрунтованості наукових положень гарантує надійність та достовірність отриманих результатів, що є важливим фактором для подальшого розвитку артилерійського озброєння та їхніх боездатних можливостей.

По-перше ступінь обґрунтованості наукових положень доведено виконанням всіх завдань, які потрібні для досягнення заявленої мети дисертаційного дослідження:

- здійснено аналіз методів і способів верифікації ланок ланцюга станів «заряд – зарядна камера – ствол – траєкторія – ціль» життєвого циклу окремого артилерійського пострілу та постановки завдань дослідження траєкторії руху снаряда;

- запропонована верифікація складу піротехнічної суміші методом бібліотеки на основі удосконалення моделі рівноважної термодеструкції за температурою суміші інертного та порохових газів;

- удосконалено методи і моделі автоматизованого керування бойовою роботою причіпних артилерійських установок у разі використання стохастичних процесів, для подальшої розробки окремо на її основі моделі бойової роботи самохідних артилерійських установок для забезпечення верифікації ефективного пострілу;

- розроблено моделі і метод визначення мінімально-оптимальної кількості вимірювачів параметрів реєстрації балістичної та дульної хвиль серед існуючої множини по лінії стрільби, яких було б достатньо для коректної верифікації пострілів.

По-друге, ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій доведено коректним застосуванням методів та моделей у дослідженні: співвідношення енергетичного балансу для створення одновимірної моделі пострілу; визначення через емпіричну брутто-формулу складу порошу, зазвичай на основі нітроцелюлози (НЦП), для виявлення сили порошу в залежності від його складу; метод бібліотеки для розв’язання оберненої і некоректно поставленої задачі, що дозволило отримати коректні значення ентальпії порохових газів; методи теорії ймовірностей і математичної статистики під час комп’ютерного моделювання та оцінювання характеристик системи; стохастичне моделювання для розробки ефективного методу керування бойовою роботою гармат; нечітка логіка для моделювання придатності сенсорів при реєстрації пострілів; методи регресивного аналізу; обчислювальні методи лінійної алгебри для розробки засобів верифікації параметрів стану життєвого циклу пострілу в КІСУ гарматою.

По дисертаційній роботі є зауваження:

1. Тема дисертації «Імітаційна модель пострілу гармати та методи верифікації його життєвого циклу в комп’ютерно-інтегрованій системі управління» вважаю невдало сформульована по відношенню до заявленої мети, оскільки відображує тільки окремі методи її досягнення. Більш коректним була б назва викласти в такій редакції: «Удосконалення системи ефективного управління артилерійською стрільбою при виконанні бойового завдання».

2. У другому розділі в таблицях 2.2, 2.3, 2.4 наведено отримані результати верифікації запропонованої моделі, що характеризують розподіл мольних часток продуктів згорання. Але для верифікації моделі розрахункові результати порівнюють з результатами спалювання органічної вуглеводно-водневої сполуки, що містять кисень. А чому не наведено порівняння з матеріалом аналогічним НЦП? І як наслідок виникає наступне питання яке потребує уточнення. Яким чином залучення методу використання мольних часток продукту горіння в ємності фіксованого об’єму, що дозволяє уникнути догорання порохових газів при негативному кисневому балансі порохової суміші, впливає на точність отриманих результатів верифікації відповідності складу артилерійських порохових зарядів в моделюванні зворотного зв'язку життєвого циклу артилерійського пострілу?

3. У третьому розділі наведено удосконалення імітаційної моделі пострілу стало можливим для окремих самохідних артилерійських систем за умови втрати боєздатності тільки у разі внутрішніх динамічних збурень під час використання запропонованої чотирьох-компонентної моделі керування бойовими діями. Не зрозуміло про які компоненти в моделі йде мова? Чи пов'язана кількість компонентів з кількістю критеріїв згортки?

4. Незрозуміло навіщо автору знадобилося додатково вводити у третьому розділі новий технічний термін (САС) «Самохідна Артилерійська Система» замість вже існуючого технічного терміну (САУ) «Самохідна Артилерійська Установа» — це артилерійська система на саморухомій базі.

5. У четвертому розділі представлено метод визначення мінімально-оптимальної кількості вимірювачів параметрів реєстрації балістичної та дульної хвиль серед існуючої множини по лінії стрільби на основі нечіткої логіки для моделювання працездатності сенсорів для реєстрації пострілів. Потребує пояснення чому саме такий метод було взято за основу? Існують різні методи, наприклад, оптимізаційні методи на основі математичного моделювання, методи машинного навчання та штучного інтелекту, а також геоінформаційні системи та просторовий аналіз. Ці методи також пропонують комплексний підхід до розв'язання подібної задачі верифікації артилерійських пострілів. Кожен з цих методів має свої переваги та обмеження, що дозволяє адаптувати підхід до конкретних умов та обмежень дослідження. Використання комбінації з декількох цих методів також підвищить точність отриманих результатів верифікації пострілів, забезпечуючи цілком високий рівень достовірності результати в різних бойових умовах.

6. До технічних недоліків представленої роботи варто віднести наявні порушення вимог діючого стандарту ДСТУ 1.5:2015 «Національна стандартизація. Правила розроблення, викладання та оформлення національних нормативних документів (ISO/IEC Directives Part 2:2011, NEQ)», щодо:

- оформлення надписів до рисунків, наприклад, в розділі 1 це стосується рис. 1.1, 1.2, 1.3, 1.4 та 1.5 і т.п.;
- відсутності нумерації формул в першому розділі, наприклад, енергетичної ефективності артилерійської гармати (eff) на стор. 53 і т.п.;
- розмірності параметрів вимірювання фізичних величин відповідно до міжнародної системи SI у більшості наведених формул не вказано.

Наведені зауваження ніяким чином не знижують високий науковий рівень роботи, її наукову та практичну цінність і носять рекомендаційний характер для подальшого дослідження.

Рівень виконання поставленого наукового завдання.

Наукове завдання полягає у визначенні ключових елементів ланцюга станів життєвого циклу окремого артилерійського пострілу «заряд – зарядна камера – ствол – траєкторія снаряда – ціль». Імітаційні моделі та методи автоматизованого діагностування технічного стану каналів стволів гармат за ступенем зношеності базуються на поточному аналізі та класифікації акустичних полів пострілів у формі дульної та балістичної хвиль. Розроблена імітаційна модель та метод автоматизованої параметричної діагностики технічного стану пострілу ґрунтуються на ідентифікації незалежних параметрів під час розширення порохових газів та догоряння вільного вуглецю в атмосфері в процесі пострілу. Запропонований метод відстеження руху

артилерійського снаряду під впливом динамічних збурень побудовано на реєстрації балістичної та дульної хвиль на відстанях, що формуються в процесі його переміщення по балістичній траєкторії. Запропоновані методи та удосконалені імітаційні моделі дозволяють частково здійснити верифікацію окремих елементів пострілу артилерійської гармати, що не знижує науково новизну і практичну цінність дисертаційної роботи.

Зв'язком проведених здобувачем досліджень з планами, затвердженими Міністерством освіти і науки України в:

– Інституті військово-морських сил НУ «Одеська морська академія» на 2020 рік, і є складником д/б НДР (реєстр. № 0120ZS002970, шифр «Рапан-Б»);

– Національному університеті «Одеська політехніка» за темою «Підвищення ефективності АСК спеціального призначення за рахунок моделювання нелінійних високоенергетичних динамічних процесів», (№ ДР 0122U200907).

Відсутністю порушення академічної доброчесності.

Доказом відсутності порушення академічної доброчесності є відкриті публікації Демиденка Володимира Едуардовича в рецензованих журналах, редакції яких ретельно перевіряють подані до публікації рукописи на відсутність запозичень та плагіату. Іншим підтвердженням дотримання автором дисертаційної роботи вимог академічної доброчесності є протокол програми StrikePlagiarism від 08.11.2024 року. Представлений протокол опрацьовано фахівцями кафедри програмних і комп'ютерно-інтегрованих технологій та членами групи забезпечення підготовки докторів філософії по ОНП за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», які зробили висновок, що дисертаційна робота відповідає нормам академічної доброчесності. При ознайомленні з дисертацією мною не було виявлено ознак порушень академічної доброчесності.

Повнотою викладення результатів досліджень в наукових публікаціях за темою дисертації.

Наукові результати дисертації, викладені у публікаціях і у повній мірі відображають основні результати наукового дослідження. Результати наукових досягнень викладено у 8 надрукованих працях у спеціалізованих наукових виданнях, рекомендованих МОН України, у 2 патентах України на інтелектуальну власність, також у 7 опублікованих тезах та участі у міжнародних конференціях. У наведених роботах достатньо повно відображені основні наукові здобутки та положення дисертації. Кількість оприлюднених наукових праць з науковими результатами відповідають вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», згідно з Постановою КМ України №44 від 12.01.2022, зі змінами, внесеними відповідно до Постанови КМ України № 341 від 21.03.2022, Постановою КМ України № 502 від 19.05.2023, та Постановою КМ України № 507 від 03.05.2024.

Значимістю отриманих результатів для практичного використання.

Практичні положення дисертаційного дослідження у вигляді патенту України на інтелектуальну власність за № 127193. «Спосіб визначення координати зустрічі артилерійського снаряда з поверхнею» на національному конкурсі Міністерства оборони України «Кращий винахід 2023 року» отримали визнання у Сухопутних і Десантно-штурмових військах.

Практичні положення дисертаційного дослідження впроваджено в Національному університеті «Одеська політехніка» при підготовці бакалаврів та магістрів за напрямом «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» в Інституті штучного інтелекту та робототехніки на кафедрі «Програмних і комп'ютерно-інтегрованих технологій».

Оволодіння здобувачем методологією наукової діяльності.

Автор дисертаційної роботи на тему «Імітаційна модель пострілу гармати та методи верифікації його життєвого циклу в комп'ютерно-інтегрованій системі управління» Демиденко Володимир Едуардович оволодів методологією наукової діяльності, яка відповідає ОНП 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», що доведено отриманими науковими результатами, які викладено у науковій новизні. Методологія наукового пізнання, яку застосовано при розв'язанні основних задач у відповідності до мети роботи, узгоджується з ціллю освітньо-наукової програми ОНП 3-го рівня за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Отримані наукові результати дисертаційної роботи відповідають програмним, предметним, фаховим і інноваційним компетентностям ОНП спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Оцінка дисертації в цілому.

Вважаю, що дисертаційна робота Демиденка Володимира Едуардовича «Імітаційна модель пострілу гармати та методи верифікації його життєвого циклу в комп'ютерно-інтегрованій системі управління» та наукові публікації, в яких викладено її основні результати, мають високий науковий рівень. Робота за своїм змістом та оформленням задовольняє чинним вимогам і є завершеним самостійним науковим дослідженням, в якому є нові науково-обґрунтовані результати, що в сукупності вирішують складну актуальну науково-технічну задачу, яка полягає у підвищенні ефективності та зменшенні часу виконання бойової роботи КІСУ практичними стрільбами гарматою при виникненні різних збурень шляхом удосконалення імітаційної моделі артилерійського пострілу і методів верифікації ланок ланцюга станів життєвого циклу кожного артилерійського пострілу, що утворюють зворотний зв'язок із залученням комп'ютерно-інтегрованої системи управління (КІСУ) артилерійською стрільбою.

Дисертаційна робота відповідає ОНП «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» за спеціальністю 151.

Науковий рівень дисертаційної роботи та наукових публікацій здобувача відповідають вимогам п.п. 5–9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», згідно з Постановою КМ України №44 від 12.01.2022, зі змінами, внесеними відповідно до Постанови КМ України № 341 від 21.03.2022, Постановою КМ України № 502 від 19.05.2023, та Постановою КМ України № 507 від 03.05.2024, оскільки наведені в роботі науково обґрунтовані результати у сукупності вирішують актуальну наукову задачу.

Вважаю, що Демиденко Володимир Едуардович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 «Автоматизація та

комп'ютерно-інтегровані технології», галузь знань: 15 «Автоматизація та приладобудування».

Офіційний опонент

Головний науковий співробітник
науково-дослідного управління
розвитку озброєння та військової техніки
науково-дослідного центру
Збройних Сил України «Державний океанаріум»
Інституту Військово–Морських Сил
НУ «Одеська морська академія»
доктор технічних наук, професор,
працівник ЗС України,
кавалер ордена «За заслуги» III ступеня

Костянтин БОРЯК